

621.78

A 90

А. Д. Ассонов

**ТЕРМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА
ДЕТАЛЕЙ
АВТОМОБИЛЯ**



МАШГИЗ • 1948

6П4.51+6Т2.1

621.78

A 90

A 90

А. Д. АССОНОВ
КАНД. ТЕХН. НАУК,
ЛАУРЕАТ СТАЛИНСКОЙ ПРЕМИИ



✓
ч

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ

82457
17789

С. БЕЙСЕМБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҒЫЛЫМИ КІТАПХАНА
СИРЕК КІТАПТАР ҚОРЫ
ФОНД РЕДКИХ КНИГ
НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА ИМ. С. БЕЙСЕМБАЕВА

Библиотека
Павлодарский индустриальный институт

~~БИБЛИОТЕКА
Московский Механический
института~~

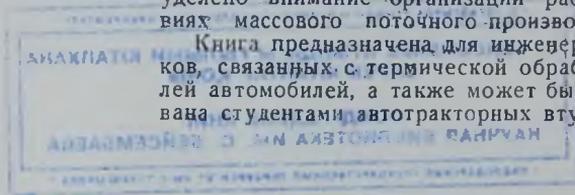


Проверено
в 1948 г.

1584

Книга содержит подробные сведения по технологии термообработки деталей легковых и грузовых автомобилей на основе последних достижений техники. Изложение технологии базируется на применении высокочастотного нагрева, поверхностного упрочнения деталей с помощью газовой цементации и нитроцементации, нагрева деталей в безокислительной атмосфере, применении метода непосредственной закалки, применении процесса упрочнения дробью, обработки холодом, магнитного контроля качества и др. В книге уделено внимание организации работы в условиях массового поточного производства.

Книга предназначена для инженеров и техников, связанных с термической обработкой деталей автомобилей, а также может быть использована студентами автотракторных вузов.



Рецензенты: доктор техн. наук **А. П. Гуляев**
и канд. техн. наук **М. Н. Кунявский**

Редактор канд. техн. наук **М. Н. Кунявский**

Главная редакция
литературы по авто-тракторной промышленности
Главный редактор инж. **В. В. БРОКШ**

Техн. редактор **М. П. Косолапова**
Обложка художника **А. Е. Гребенщикова**

Корректор **Ц. И. Будницкая**

Сдано в произв. 16/X 1947 г. Подп. к печати 27/VII 1948 г. Тираж 5500 экз. А 07126 Печ. л. 13¹/₄
Уч.-изд. л. 16 Бумага 60×92¹/₁₆ Заказ 2266

1-я типография Машгиза, Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

ВВЕДЕНИЕ

В 1924 г. были выпущены московским автомобильным заводом, бывшим АМО, ныне автозавод имени Сталина, первые советские автомобили АМО-Ф15. Автомобили прошли путь от Москвы до Тбилиси и обратно по непригодным дорогам без поломок, износ деталей был нормальный.

Это испытание автомобилей было проверкой не только их транспортных характеристик и экономичности, но и прочности материалов и надежности методов термической обработки.

Сталь для первых советских автомобилей была применена высококачественная, преимущественно хромоникелевая, но термическая обработка деталей производилась кустарно.

При изготовлении автомобильных деталей был использован небольшой опыт в области термической обработки, перенесенный с Русско-Балтийского машиностроительного завода.

С развитием производства методы термической обработки обобщались, изучались и фиксировались в технологических документах, вместе с этим в производство влились кадры специалистов инженеров и рабочих новой школы, в результате чего была разработана и освоена более совершенная технология термической обработки автомобильных деталей. Это позволило при проектировании гигантов советского автомобильного производства ЗИС и ГАЗ создать в термических цехах массовопоточное производство.

Внедрение механизированного и автоматизированного оборудования преобразило вид термических цехов и дало возможность включить их в общезаводский технологический поток.

Внедрение газовой цементации, высокочастотного нагрева и других новейших видов термической обработки изменило характер производства, и термическая обработка перестала быть искусством, которым обладали немногие мастера старой школы.

Благодаря открытиям великого русского металловеда профессора Д. К. Чернова, термическая обработка и металловедение получили прочную научную основу. Труды Д. К. Чернова обеспечили создание науки металловедения и современный прогресс в машиностроении. Ряд новейших процессов термической обработки, способствовавших техническому прогрессу: газовая цементация, основанная на применении газа, получаемого из керосина (проф., доктор Н. А. Минкевич, проф. С. К. Ильинский), применение температур ниже нуля для обработки сталей

(проф., доктор А. П. Гуляев), высокочастотный нагрев деталей в автоматических установках (член-корреспондент Академии наук проф. В. П. Вологдин) впервые были разработаны в Советском Союзе. Это указывает на высокую степень развития советской науки и техники в области металловедения и термической обработки.

Массовый выпуск советскими машиностроительными заводами автомобилей, самолетов, танков, тракторов, станков и других машин тесно связан с достижениями в области металлургии специальных сталей и термической обработки, обеспечивающих возможность получения прочных изделий высшего класса точности изготовления.

Рост выпуска автомобилей, совершенствование конструкции их увеличили применение специальных легированных сталей, и с другой стороны, успехи металлургии и технологии термической обработки конструкционных сталей способствовали улучшению транспортных качеств автомобиля, так как благодаря повышению прочности металла явилась возможность уменьшить вес деталей.

Требования к качеству деталей в отношении динамической прочности непрерывно возрастают и базируются уже не только на химических анализах и обычных показателях механических свойств.

Как известно, характеристики статических испытаний — предел прочности при растяжении стали, предел текучести, относительное удлинение, поперечное сжатие — дают известное представление о качестве металла, но не характеризуют полностью прочности и эксплуатационной стойкости деталей, изготовленных из стали.

При знакопеременных или повторных нагрузках происходит разрушение изделий при напряжениях, не превосходящих предела упругости, поэтому в свете современного учения о прочности усталостные характеристики являются основными, определяющими надежность металла в конструкции.

Дальнейшее развитие методов механических испытаний и глубокое изучение природы характеристик механических свойств показывают, что и усталостные характеристики, на которых базируются современные принципы расчета и назначения стали в конструкции, также не полностью характеризуют свойства и поведение стали в эксплуатации. При оценке свойств стали должна учитываться еще одна характеристика — циклическая вязкость, или способность металла к гашению колебаний.

Многие металлы с высоким пределом усталости имеют незначительную величину циклической вязкости. Эта новая характеристика (циклическая вязкость) заставляет пересматривать прежние оценки некоторых материалов, например, высокая циклическая вязкость простой углеродистой стали марок 40, 45 позволяет применять ее для ряда конструкций, особенно со значительной концентрацией напряжений, взамен некоторых легированных сталей.

Предел усталости и циклическая вязкость должны стать основными показателями при решении задач, связанных с прочностью металла.

Практическое сочетание этих свойств с прокаливаемостью, которая является важнейшей характеристикой стали (требование глубокой прокаливаемости предопределяет применение специальных легированных сталей), позволит применить менее дефицитные материалы и широко внедрить стали с малыми добавками редких специальных элементов.

Поскольку прокаливаемость является одним из основных свойств, определяющих качество стали в отношении усталостной прочности, то при назначении режимов термической обработки весьма важно иметь полное представление о способности стали принимать закалку, так как в соответствии с этим выбираются температура нагрева под закалку и среда для охлаждения.

Установлено, что пониженная степень прокаливаемости зависит от мелкозернистого природного зерна аустенита, наличия карбидов, неметаллических включений и неоднородности аустенита.

Повышенная степень прокаливаемости находится в зависимости от наличия легирующих элементов, растворенных в аустените (за исключением кобальта), крупнозернистого строения природного зерна аустенита и однородности аустенита.

Стремление обеспечить благоприятное сочетание высокой прочности и высокой вязкости по всему сечению детали вызывает необходимость применять стали с высокой прокаливаемостью. Это в первую очередь достигается за счет увеличения природного зерна аустенита, но более надежным все же является изменение состава аустенита путем введения в сталь в процессе плавки легирующих элементов.

В практике находят распространение стали с специальной присадкой, в состав которой входят цирконий, бор, ниобий и другие элементы в тысячных долях процента. Добавка этой присадки при раскислении стали в некоторых случаях чрезвычайно повышает прочность. Достаточно указать на следующий пример: сталь марки 40, выплавленная с присадкой, имеет после закалки в масле и отпуска при 200° ¹ следующие свойства: $\sigma_b = 192 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_s = 156 \text{ кг/мм}^2$; $\delta = 8,3\%$; $\psi = 42,7\%$.

Более полная оценка прочности стали, учитывающая циклическую вязкость, предел усталости, а также прокаливаемость и роль малых добавок, должна привести во многих случаях к замене легированных конструкционных сталей углеродистыми, возможно даже в литом состоянии.

Но все же термическая обработка и в этом случае будет занимать ведущее место. Только рациональная термическая обработка позволяет получить максимальные показатели механиче-

¹ „Автомобильная промышленность“ № 7 — 8, 1946 г. „Углеродистые конструкционные стали с присадкой бора“.

ских, прочностных и эксплуатационных свойств сталей. Эффективность легирования, рационального металлургического процесса (раскисление, модификация, малые добавки и пр.) может быть также реализована только при наличии оптимальной технологии термической обработки. Не будет преувеличением утверждение о том, что долговечность автомобиля (как и других машин) определяется в основном качеством термической обработки. В связи с этим возрастают значение обмена опытом в области термической обработки и дальнейшее развитие и совершенствование самих методов термической обработки.

Законом о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства на 1946—1950 гг. ставятся перед советскими инженерами и техниками задачи, вытекающие из перспектив развития советского машиностроения. Закон гласит: „Широко использовать передовые методы производства в машиностроении, особенно методы массовопоточного производства“.

Для этого необходимо прежде всего использовать имеющийся опыт. Такой опыт накоплен автомобильной промышленностью и, в частности, в области технологии термической обработки.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ

Техника современного машиностроения требует большого количества материалов, обладающих разнообразными свойствами, в соответствии с чем сталь, являющаяся основным материалом машиностроения, выпускается различных марок, характеризующихся весьма многочисленными признаками, относящимися к физической природе металла, химическому составу, способу получения и назначению.

В сплавах железа с углеродом обыкновенными примесями являются кремний, марганец, фосфор, сера и кислород, присутствие которых неизбежно, благодаря условиям получения этих сплавов.

В отдельных случаях допускается иметь в конструкционных сталях в повышенном количестве металлические включения, как, например, в автоматных сталях допускается содержание серы до $0,32\%$, так как равномерно распределенные включения сернистого марганца способствуют повышению обрабатываемости.

Кроме обыкновенных компонентов, в стали присутствуют многие другие или как случайные, присутствие которых вызвано засорением шихты, или как специально вводимые.

Специально вводимые элементы весьма разнообразны: к ним относятся: Ni, Cr, V, W, Ti, Mo, Cu, Co, Zr, Be, Ta, Al, Pb, B, Si и Mn (Si и Mn — если они введены в повышенном содержании против обычных норм для примесей).

Конструкционные или машиноподелочные стали отличаются от других сталей (инструментальных и особого назначения) тем, что при надлежащих показателях механической прочности они достаточно легко обрабатываются. Это свойство имеет исключительное значение при массовом производстве.

По содержанию углерода конструкционные стали делятся на три основные группы: цементируемые (малоуглеродистые), улучшаемые (среднеуглеродистые) и специальные (высокоуглеродистые).

По количеству легирующих элементов специальные конструкционные стали могут быть подразделены на простые и сложные.

Преимущественно среди специальных сталей встречаются тройные стали, содержащие, кроме углерода, один специальный элемент; более сложные стали содержат два и более специальных элементов.

Присадка легирующих элементов влияет на положение критических точек при нагреве и охлаждении.

Снижение критической точки A_{r1} в легированных сталях при охлаждении на воздухе позволяет получить структуры: троостит, мартенсит, аустенит.

На этом свойстве легирующих элементов основывается подразделение конструкционных сталей на классы: перлитовый, мартенситовый, аустенитовый.

Существующие структурные диаграммы специальных сталей показывают, что при небольших добавках специальных элементов получаются стали перлитового класса, при увеличенных — мартенситового класса. Одновременно могут существовать промежуточные классы: мартенситотрооститовый или мартенситоаустенитовый.

Специальные стали перлитового класса ближе по структуре к углеродистым сталям. От углеродистых конструкционных сталей они главным образом отличаются тем, что, благодаря снижению точки A_{r1} , облегчается закалка их, т. е. получается мартенсит при гораздо меньших скоростях охлаждения, чем в углеродистых сталях.

Феррит в специальных сталях представляет собой твердый раствор в α -железе соответствующего элемента, что повышает их механические качества.

Многие стали перлитового класса характеризуются хорошей прокаливаемостью.

Стали мартенситового класса характеризуются тем, что при охлаждении их на воздухе получается „самозакалка“, т. е. образуется мартенситовая структура.

Мартенсит в некоторых специальных сталях менее хрупок, чем в углеродистых сталях, так как в твердом растворе вместе с атомами углерода присутствуют и специальные элементы, понижающие хрупкость.

Несмотря на повышенную твердость, стали мартенситового класса все же применяются в машиностроении.

Стали аустенитового класса находят все более широкое применение в машиностроении.

В настоящей работе нет необходимости рассматривать многие существующие марки конструкционных углеродистых и легированных сталей, не употребляемых в автомобильной промышленности. Число марок стали, практически широко применяемых для производства автомобилей, ограничено.

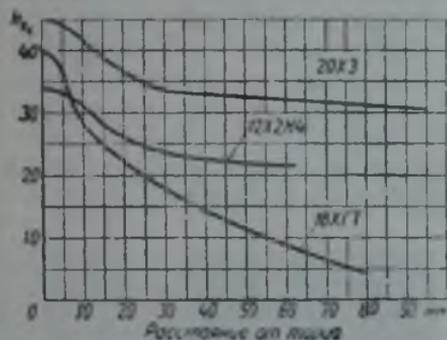
Нами будут рассмотрены лишь некоторые марки стали, главным образом в отношении некоторых свойств и их поведения при термической обработке. К числу наиболее применяемых в автомобилестроении марок сталей относятся: 18ХГТ, 18ХНМА, 40ХНМА, 12Х2Н4А, 20ХЗ, 20Х, 40Х, 20, 35, 45, сталь для кла-

панов, (ЭИ-107, ЭСХ8, ЭИ72), сталь для рам (25,1330), сталь для рессор и пружин (55С2, 60С2, 50Г и т. д.).

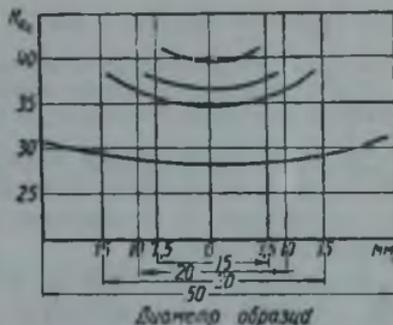
Сталь марки 18ХГТ. Цементируемая сталь марки 18ХГТ хромомарганцевитановая имеет следующий состав: 0,17—24⁰/₁₀₀ С; 0,90—1,30⁰/₁₀₀ Mn; 0,15—0,30⁰/₁₀₀ Si; не более 0,035⁰/₁₀₀ S; не более 0,035⁰/₁₀₀ P; 1,00—1,40⁰/₁₀₀ Cr; 0,05—0,15⁰/₁₀₀ Ti.

Сталь мелкозернистая, не склонная к перегреву, и выплавляется преимущественно с зерном № 6—8. Выдержка стали при температуре 920—960° в течение 5—8 час. не приводит к заметному росту зерна.

Прокаливаемость стали 18ХГТ ниже прокаливаемости сталей 20Х3 и 12Х2Н4А (фиг. 1). Прокаливаемость стали 18ХГТ в различных сечениях показана на фиг. 2.



Фиг. 1. Прокаливаемость по Джомини стали марок 20Х3, 12Х2Н4А, 18ХГТ.



Фиг. 2. Твердость по сечению образцов из стали 18ХГТ после закалки (закалка в масло при температуре 880° С).

Объясняется это влиянием мелкодисперсных карбидов титана, задерживающих рост зерна.

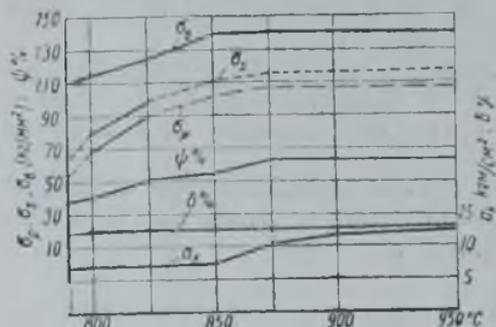
Таблица 1

Механические свойства стали марки 18ХГТ после термической обработки

Режим термической обработки						Механические свойства						
закалка			отпуск			σ_r кг/мм ²	σ_s кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ %	ψ %	a_k кг·м/см ²	НВ
Температура в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Охлаждающая среда	Температура в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Охлаждающая среда							
780	15	Масло	200	60	Масло	40,33	47	88	16,7	37,5	5,9	197
800	15	•••••	200	60	•••••	78,3	82	106	13,0	40,8	7,15	269
825	15	•••••	200	60	•••••	89,5	95,7	121	13,3	54,6	6,6	311
850	15	•••••	200	60	•••••	94	111	139,2	13,3	54,6	7,1	375
875	15	•••••	200	60	•••••	113	119	143	13,0	63,5	10,25	388
900	15	•••••	200	60	•••••	108	116	142	13,0	63,5	12,25	388
950	15	•••••	200	60	•••••	105,2	117	142	15,0	62,8	13,3	388

В табл. 1 приводятся механические свойства стали 18ХГТ, подвергнутой различным режимам термической обработки.

Исследованная сталь имела следующий химический состав: 0,18% С; 1,02% Мп; 0,39% Si; 0,012% S; 0,016% Р; 1,2% Cr; 0,18% Ni.



Фиг. 3. Механические свойства стали 18ХГТ в зависимости от температуры закалки (отпуск при температуре 200° С).

При подстуживании перед закалкой до температуры ниже 825°, как и следовало ожидать, в структуре появляется феррит, что приводит к снижению механических свойств.

Выдержка при температуре 920° продолжительностью от 15 мин. до 8 час. не влияет на механические свойства, что указывает на отсутствие склонности стали к перегреву, а следовательно, возможно производить закалку непосредственно после цементации.

В табл. 2 приводятся механические свойства стали марки 18ХГТ, полученные на образцах после выдержки при 920° в течение 8 час. и подстуживания до различных температур.

Сталь марки 18ХГТ по сравнению со сталями 20Х3 и 12Х2Н4А обрабатывается лучше и дает чистую поверхность, особенно в нормализованном состоянии. При механической обработке деталей из стали 18ХГТ производительность выше на 20—25%, а расход инструмента ниже на 10—12%, нежели при обработке деталей из стали 20Х3.

Сталь марки 18ХГТ дает хорошие результаты при цементации. В отличие от сталей 20Х3 и 12Х2Н4А она при непосредственной закалке дает в цементированном слое значительно меньшее количество аустенита, и поэтому твердость поверхности получается в пределах 58—64 Н_{RC}.

Сталь марки 18ХНМА. Сталь марки 18ХНМА нашла широкое применение в конструкциях легковых автомобилей высшего класса.

Необходимо отметить, что сталь марки 18ХГТ после цементации и подстуживания до температуры 875° имеет оптимальные механические свойства (фиг. 3).

После цементации при температуре 920° в течение 8 час. и подстуживания перед закалкой до температуры 825° в сердцевине образца получается троостосорбитовая структура (фиг. 4).



Фиг. 4. Структура сердцевины цементированной стали 18ХГТ.

Механические свойства стали марки 18ХГТ после подстуживания

Режим термической обработки	Механические свойства						
	σ_p кг/мм ²	σ_s кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ 0/0	ψ 0/0	a_k кг.м/см ²	НВ
Без подстуживания	108,4	118,8	143,3	14,1	61,7	12,2	388
При подстуживании до температуры 875°	105,2	117,0	143,3	12,7	61,4	11,7	401
То же до 850°	105,1	115,6	142,2	12,1	63,5	12,0	405
" " " 825°	104,5	116,2	142,2	12,8	61,6	12,3	401
" " " 800°	94,0	103,1	131,9	11,1	51,4	11,58	401
" " " 775°	76,0	85,6	113,3	10,4	39,8	10,36	375
" " " 750°	66,6	74,1	103,3	10,7	34	7,29	311
Без подстуживания с выдержкой при 920° в течение 15 мин.	108,5	119,1	143,7	12,8	63,7	12,3	388

Из стали 18ХНМА изготавливаются, главным образом, шестерни заднего моста и коробки скоростей. Эти высоконагруженные шестерни должны обладать большой динамической и усталостной прочностью.

Таблица 3

Напряжения в зубьях шестерен

Наименование шестерен	Напряжение по Льюису в кг/мм ²		Удельное давление на зуб по Герцу в кг/см ²		Напряжение на изгиб в зубьях шестерен в кг/см ²	
	Класс автомобиля		Класс автомобиля		Класс автомобиля	
	А	Б	А	Б	А	Б
Постоянного зацепления	29,61	47,40	12 000	27 000	28	72
1-й передачи	50,48	64,30	11 000	22 000	34	78
2-й "	34,29	51,70	19 000	27 000	50	62
Заднего хода	62,93	64,40	36 000	85 500	62	97

Примечание. Основные данные автомобилей:
 класса А — мощность двигателя 90 л. с., вес автомобиля 2600 кг, максимальная скорость 110 км/час;
 класса Б — мощность двигателя 145 л. с., вес автомобиля 2500 кг, максимальная скорость 145 км/час.

Для оценки условий работы шестерен коробки передач в автомобиле приводим в таблице 3 данные, характеризующие напряжение в зубьях шестерен автомобилей классов А и Б.

В связи с высокими напряжениями в зубьях шестерен малых габаритов требуется обеспечить повышенную твер-

дость и сопротивление изгибу сердцевины при минимальном короблении во время термической обработки.

Этим требованиям в достаточной степени отвечает хромоникельмолибденовая сталь марки 18ХНМА.

Сталь марки 18ХНМА имеет следующий средний анализ: 0,16 — 0,22% С; 0,25 — 0,55% Мп; 0,15 — 0,30% Si; 1,35 — 1,65% Cr; 4,1 — 4,5% Ni; 0,25 — 0,45 Мо; не более 0,04% S; не более 0,04% Р. Критические точки A_{c1} — 700°; A_{c2} — 800°; A_{r1} — 400°.

После термической обработки, состоящей из цементации, при температуре 900°, заковки в масле или на воздухе при температуре 790° и отпуска при температуре 200° сталь марки 18ХНМА приобретает следующие механические свойства: $\sigma_b = 148$ кг/мм², $\sigma_s = 135$ кг/мм²; $\delta = 12,8\%$; $\psi = 48\%$; $a_k = 9$ кгм/см², $H_B = 418$.

Отличительной особенностью этой стали является высокая усталостная прочность, которая характеризуется следующими данными:

Характер нагрузки	Изгиб	Кручение
Предел усталости	$\sigma'_q = 54$ кг/мм ²	$\tau' = 23,5$ кг/мм ²
	$\sigma''_q = 44,5$ "	

Эти данные относятся к состоянию стали: $\sigma'_b = 136$ кг/мм²; $\sigma'_s = 107$ кг/мм² и $\sigma''_b = 95$ кг/мм²; $\sigma''_s = 84$ кг/мм². Сталь марки 18ХНМА характеризуется сочетанием высокого предела усталости и ударной вязкости.

Например, сталь марки 18ХНМА, подвергнутая закалке в масле при температуре 950° и вторично при температуре 850° и отпущенная затем при температуре 170°, обладает следующим и механическими свойствами: $\sigma_s = 77$ кг/мм²; $\sigma_b = 116$ кг/мм²; $\delta = 11,5\%$; $\psi = 64,5\%$; $H_B = 330$; $a_k = 14$ кгм/см², $\sigma_{\omega} = 56$ кг/мм².

Обработанная по тому же режиму сталь марки ЭИ-274 (с титаном), имея очень хорошие механические свойства: $\sigma_s = 100$ кг/мм²; $\sigma_b = 115$ кг/мм²; $\delta = 12\%$; $\psi = 64,5\%$; $H_B = 418$, $a_k = 11$ кгм/см²; обладает таким же пределом усталости, а сталь марки 18ХГМ при $\sigma_b = 119$ кг/мм² имеет предел усталости всего 44 кг/мм².

Сталь 18ХНМА в шестернях, подвергнутых газовой цементации с непосредственной закалкой и отпущенных при температуре 180—200°, имела следующие средние значения механических свойств: $\sigma_s = 92$ кг/мм²; $\sigma_b = 135$ кг/мм²; $\delta = 15\%$; $\psi = 64\%$; $a_k = 12$ кгм/см² (образец изготовлен из хвостовой части шестерни).

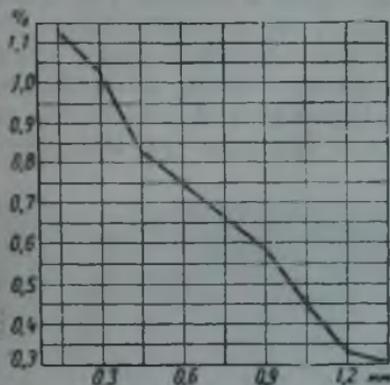
Особенностью этой стали являются также высокие механические свойства при температурах ниже 0°. Например, при температуре —70° механические свойства ее следующие: $\sigma_s = 100$ кг/мм²; $\sigma_b = 105$ кг/мм²; $\delta = 18\%$; $\psi = 63\%$; $a_k = 8$ кгм/см².

При понижении температуры до —183° (жидкий кислород) высокая ударная вязкость сохраняется, как показано ниже.

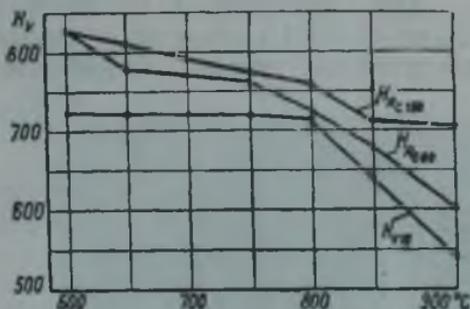
Температура в °С	—40	—70	—100	—140	—183
a_k кгм/см ²	9	8	6	5	4

18ХНМА отличается высокой прочностью и пластичностью вследствие присутствия в структуре твердого раствора и дисперсных карбидов молибдена.

Такое же влияние оказывает вольфрам, поэтому стали 18ХНМА и 18ХНВА равнозначны, но дисперсность карбидов вольфрама мельче, чем дисперсность карбидов молибдена, поэтому действие его эффективнее.



Фиг. 5. Изменение содержания углерода в % в стали 18ХНМА по глубине цементированного слоя (температура цементации 920°, выдержка 8 час.).



Фиг. 6. Изменение твердости цементированного слоя стали 18ХНМА в зависимости от температуры подстуживания (твердость замерена по Роквеллу при нагрузках 150 и 60 кг и переведена по таблицам на числа твердости по Виккерсу).

Наличие молибдена в стали 18ХНМА обеспечивает повышенную глубину закалки, а следовательно, равномерность структуры и механических свойств по сечению; кроме того, молибден тормозит рост зерен аустенита, что позволяет применять высокие температуры закалки без заметного перегрева.

Молибден способствует увеличению глубины цементации и значительно повышает концентрацию углерода в цементированном слое. Это обстоятельство приводит к образованию остаточного аустенита при закалке. Степень насыщения углеродом при цементации стали 18ХНМА характеризуется кривой, изображенной на фиг. 5.

На фиг. 6 приведены данные, характеризующие твердость после закалки с подстуживанием до различных температур. С повышением температуры закалки твердость уменьшается вследствие увеличения количества остаточного аустенита.



Фиг. 7. Структура стали 18ХНМА, полученная после непосредственной закалки при температуре 920°, глубина расположения аустенита 0,85 м.м.

На фиг. 7 и 8, а, б показаны структуры остаточного аустенита в цементированном слое после различных режимов закалки.

Оптимальной температурой подстуживания является 700—750°, обеспечивающая наряду с высокой поверхностной твердостью большую прочность зуба при твердости сердцевины $H_{R_{C150}} > 35$.

Весьма эффективным методом уменьшения количества остаточного аустенита и увеличения твердости цементированного слоя является обработка холодом при температурах ниже нуля.

Для обеспечения хорошей обрабатываемости поковки из стали 18ХНМА должны подвергаться термической обработке по следующему режиму: нормализация при температуре 950—960°



а)



б)

Фиг. 8. Структура стали 18ХНМА, полученная после закалки с подстуживанием:

а — температура подстуживания 700° при 10 мин., глубина расположения аустенита 0,40 мм;
б — температура подстуживания 850° при 10 мин., глубина расположения аустенита 0,65 мм.

после выдержки в течение 2 час., отпуск при температуре 610—630° в течение 12 час. (охлаждение в воде или масле). Твердость при этом получается $H_V < 255$.

Сталь легко принимает закалку на воздухе, что подтверждается данными табл. 4.

Таблица 4
Механические свойства стали марки 18ХНМА после термической обработки

Режим термической обработки	Механические свойства				
	σ_s кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ %	ψ %	α_k кг м/см ²
Закалка при температуре 840° в масле, отпуск при температуре 200°	110,4	128	12	59	9,4
Закалка при температуре 840° на воздухе, отпуск при температуре 200°	98,3	119	13,3	61,8	11,5

Сталь марки 40ХНМА. Сталь 40ХНМА применяется в улучшенном состоянии для сильно нагруженных и испытывающих при

работе переменные нагрузки изделий сечением до 100—120 мм.

Средний химический состав этой стали: 0,35—0,45% С; 0,40—0,80% Мп; 0,17—0,37% Si; 0,60—0,90% Cr; 1,25—1,75% Ni; 0,15—0,30% Mo; не более 0,035% S; не более 0,035% P. Критические точки: $A_{c1}=730^{\circ}$; $A_{c2}=810^{\circ}$; $A_{r1}=680^{\circ}$.

Сталь 40ХНМА не склонна к перегреву; рост зерен аустенита заторможен. В улучшенном состоянии (после закалки с высоким отпуском) сталь обладает высокими механическими свойствами. Например, образцы после нормализации при температуре 850° , закалки в масле при температуре 850° и отпуска при температуре 680° (3 часа), изготовленные из стали состава: 0,42% С; 0,24% Si; 0,56% Мп; 0,016% P; 0,009% S; 0,76% Cr; 1,3% Ni; 0,15% Mo при испытании дали следующие результаты: $\sigma_r=66$ кг/мм²; $\sigma_s=69$ кг/мм²; $\sigma_b=83$ кг/мм², $\delta=22\%$; $\psi=65\%$; $a_k=16,2$ кгм/см²; $H_B=229$.

Снижение температуры отпуска до 610° изменяет механические свойства, но все же ударная вязкость остается высокой: $\sigma_s=85$ кг/мм²; $\sigma_b=100$ кг/мм²; $\delta=12\%$; $\psi=50\%$; $a_k=10$ кгм/см²; $H_B=285$.

Сталь 40ХНМА склонна к отпускной хрупкости, поэтому после отпуска необходимо ее охлаждать в масле или воде, хотя явление хрупкости проявляется в значительно меньшей степени, чем у других хромоникелевых сталей.

На величину ударной вязкости влияет продолжительность отпуска. Исследованием установлено, что увеличение времени выдержки при отпуске повышает ударную вязкость при неизменной твердости.

Испытание на удар, разрыв и твердость образцов из стали приведенного выше состава после закалки при температуре 850° и отпуска с различной длительностью выдержки при температуре 680° С дало результаты, приведенные в табл. 5. Из таблицы видно, что при отпуске с увеличением выдержки δ , ψ остаются постоянными, а σ_s и σ_b незначительно снижаются, в то время как a_k повысилось после четырехчасовой выдержки.

Таблица 5
Механические свойства стали марки 40ХНМА при различной выдержке при отпуске

Время выдержки в час.	Механические свойства					
	σ_s кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ %	ψ %	a_k кгм/см ²	H_B
1	69,4	83,2	22,2	65,4	16,2	229
2	66,2	79,4	22,7	66,0	16,3	229
3	63,5	78,5	22,7	64,4	16,5	229
4	66,4	79,1	23,9	65,6	17,8	229

В связи с этим для автомобильных поковок (поворотные кулаки, рулевые рычаги, стойки передней подвески и др.) можно рекомендовать выдержку при отпуске не менее 4 час. Ме-

ханические свойства определяются на образцах, вырезанных из центральной части поковок, прошедших термическую обработку.

Механические свойства металла поковок после термической обработки для примера приводятся в табл. 6.

Таблица 6

Механические свойства металла поковок после термической обработки

Наименование поковок	Механические свойства						
	σ_p кг/мм ²	σ_s кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ %	ψ %	a_k кгм/см ²	НВ
Стойка передней подвески . . .	47,8	50,7	66	25	65,8	13,3	197
Шатун	57,5	57,7	71,2	26,7	74,7	18,8	187
Вал вторичный . . .	51,6	52,6	68,2	26,7	73,3	18,7	207
Рычаг поворотного кулака	62	62	74	25	65,5	18,6	241

Обработка поковок производилась по режиму: закалка при температуре 850° С в масле, отпуск при температуре 680°, выдержка 4 часа.

Повышение ударной вязкости при удлинении времени отпуска объясняется дисперсионным твердением.

Необходимо отметить исключительно хорошую прокаливаемость стали 40ХНМА и высокую усталостную прочность.

Данные, помещенные ниже, характеризуют прокаливаемость различных сталей ¹.

Марка стали 40ХНМА 30ХГС 30ХНЗ 40Х 40

Твердость Н_{RC150} 54 37 30 17 14

Сопротивление усталости при испытании на изгиб у стали 40ХНМА в сравнении со сталями 40ХА и 45 также значительно выше, что видно из табл. 7.

Таблица 7

Марка стали	σ_w кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ %	ψ %
40ХНМА	55	114	13	58
40ХА	38	86	12	59
45	43	90	14	54

Необходимо отметить высокое сопротивление удару стали 40ХНМА при пониженных температурах. Например, сталь состава: 0,30—0,38% С; 0,8—1,1% Cr; 1,25—1,75% Ni; 0,25—0,40% Мо в улучшенном состоянии при пониженных температурах имеет следующие значения:

Температура в °С +20 -20 -40 -80
 a_k 100 95 90 70

Значение $a_k = 12,5$ кгм/см² при температуре +20° принято за 100%.

¹ Твердость определялась методом торцевой закалки на образце диаметром 25 мм, цифры характеризуют твердость на расстоянии 50 мм от торца.

Сталь марки 12Х2Н4А. Хромоникелевая сталь марки 12Х2Н4А весьма высокой прочности и вязкости применяется для изготовления наиболее нагруженных цементированных деталей—шестерни коробки скоростей и заднего моста, шкворни и др.

Средний химический состав ее следующий: 0,10—0,17% С; 0,30—0,60% Мп; 0,17—0,37% Si; 1,25—1,55% Cr; 3,25—3,75% Ni; не более 0,04% S; не более 0,045% P. Критические точки: A_{c1} —710°; A_{c2} —820°; A_{r1} —660°.

В термически обработанном состоянии образцы из стали 12Х2Н4А, прошедшие нагрев до температуры 900° с последующим медленным охлаждением, закалку в масле при температуре 780° и отпуск при температуре 180°, имеют следующие средние механические свойства: $\sigma_s=115$ кг/мм²; $\sigma_b=120$ кг/мм²; $\delta=10\%$; $\psi=55\%$; $a_k=8$ кгм/см²; $H_B=305$.

Низкое содержание углерода при наличии никеля и хрома, способствующих повышению прочности, обеспечивает вязкость стали 12Х2Н4А. При наличии природного зерна не ниже зернистости №6 сталь 12Х2Н4А имеет стабильные механические свойства и мало чувствительна к перегреву. Оптимальной температурой закалки можно считать 850°, но, учитывая то обстоятельство, что сталь 12Х2Н4А применяется исключительно в цементированном состоянии, необходимо снижать температуру закалки до 750—780°.

Сталь 12Х2Н4А склонна к образованию остаточного аустенита в меньшей степени, чем сталь 18ХНМА, поэтому цементированные изделия могут подвергаться непосредственной закалке с большим эффектом. Необходимо учитывать, что сталь 12Х2Н4А обладает пониженной теплопроводностью, поэтому следует избегать резкого нагрева и охлаждения во избежание образования трещин.

Так же, как хромоникельмолибденовая сталь, хромоникелевая сталь требует по сравнению с тройными сталями более длительного времени для нагрева вследствие пониженной диффузии сложных карбидов в γ -растворе.

При правильно выбранной температуре закалки вследствие значительной устойчивости аустенита и достаточно низкой критической скорости охлаждения закалка в масле вполне обеспечивает получение мартенситовой структуры.

Сталь 20ХЗ. Сталь марки 20ХЗ применяется для изготовления цементруемых деталей. Она служит заменителем ряда легированных сталей: 12Х2Н4А, 12ХНЗ, 18ХГМ и др. Средний химический состав 0,17—0,24% С; 0,46—0,60% Мп; 0,17—0,35% Si; 2,7—3,2% Cr; до 0,3% Ni; до 0,04% S; до 0,04% P. Критические точки 20ХЗ A_{c1} —790°; A_{c2} —850°; A_{r1} —650°; A_{r2} —770°.

Сталь 20ХЗ, будучи подвергнута цементации при 930°, закалке при 800° в масле и отпуску при 200°, имеет механические свойства, отвечающие следующим средним данным: $\sigma_s=127$ кг/мм²; $\sigma_b=145$ кг/мм²; $\delta=10\%$; $\psi=52\%$; $a_k=10$ кгм/см²;

Эти данные характеризуют сталь 20ХЗ как равноценный заменитель хромоникелевой стали марки 12Х2Н4А.

При испытании на удар при температурах ниже 0° сталь 20X3 дает вполне удовлетворительные результаты, которые несколько ниже показателей стали 18ХГТ. Образцы обеих сталей были закалены при 860° в масле и отпущены при 200° (табл. 8). Наряду с хорошими механическими свойствами сталь 20X3 имеет ряд недостатков технологического характера.

Таблица 8

Марка стали	Ударная вязкость в кгм/см ² при различных температурах			H _{RC150}
	+20°	-35°	-65°	
	20X3	11,6	9,65	
18ХГТ	12,4	11,6	10,1	41-42

Главным недостатком стали 20X3 является трудность выплавки, так как плавка ведется при высокой температуре, что приводит к быстрому прогоранию сводов мартеновских печей. При прокатке сталь склонна к образованию поверхностных дефектов: волосовин, трещин, рисок. Вместе с этим после прокатки необходимо подвергать сталь отжигу для смягчения структуры во избежание образования трещин при рубке заготовок.

В нормализованном состоянии сталь имеет широкий диапазон твердости и неоднородную структуру, поэтому необходимо дополнительно подвергать штамповки высокотемпературному отпуску, что часто приводит к сфероидизации цементита и создает высокую вязкость, являющуюся причиной плохой обрабатываемости стали. Сталь склонна к перегреву и к короблению при закалке.

Необходимо отметить, что сталь 20X3 менее склонна к образованию остаточного аустенита, чем 12X2H4A и 12ХНЗ, вследствие чего цементированные изделия из нее могут подвергаться непосредственной закалке с подстуживанием.

В эксплуатации детали, изготовленные из стали 20X3, ведут себя вполне хорошо, цементированный слой износоустойчив и прочен, как у изделий, изготовленных из стали марок 12X2H4A и 12ХНЗ.

Сталь марки 20X. Сталь марки 20X является наиболее распространенной цементруемой сталью, применяемой для изготовления большого числа средненагруженных автомобильных деталей.

Сталь 20X имеет следующий химический состав: 0,15—0,25% С; 0,30—0,55% Mn; 0,17—0,37% Si; 0,7—1,0% Cr; не более 0,30% Ni; не более 0,04% S; не более 0,04% P.

Механические свойства этой стали после термической обработки (нагрев до температуры 900° С с последующим медленным охлаждением, закалка при температуре 820° в масле, отпуск 180°) следующие: $\sigma_s = 40 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_b = 65 \text{ кг/мм}^2$; $\delta = 12\%$; $\psi = 40\%$; $a_k = 6 \text{ кгм/см}^2$; $H_B = 207$.

При интенсивной цементации сталь склонна к образованию цементитной сетки и большого количества карбидов.

Наличие хрома повышает степень дисперсности в структуре, твердость и прочность мартенсита. Хром снижает теплопровод-

ность стали, вследствие чего недопустима резкая закалка, особенно для цементированных деталей.

Так как хром уменьшает время, необходимое для полного распада аустенита, и увеличивает скорость превращения, то практически исключается получение большого количества остаточного аустенита при непосредственной закалке цементированных деталей.

Хром способствует росту зерна при длительных выдержках при температуре цементации, что необходимо учитывать при обработке деталей, работающих на удар, и применять для таких деталей двойную закалку.

Сталь марки 40X. Среднеуглеродистая улучшаемая сталь марки 40X широко применяется в автомобилестроении для поковок и для изготовления деталей и нормалей из штангового и бунтового металла.

Широкое применение стали 40X объясняется более глубокой прокаливаемостью в средних сечениях по сравнению с углеродистой сталью марок 40 и 45.

Состав стали 40X следующий: 0,35—0,45% С; 0,45—0,70% Mn; 0,17—0,37% Si; 0,8—1,1% Cr; не более 0,30% Ni; не более 0,04% S; не более 0,04% P. Критические точки: A_{c1} —735°; A_{c3} —810°; A_{r1} —670°.

В улучшенном состоянии образцы из стали 40X после закалки в масле при температуре 850° и отпуска при температуре 520° с охлаждением в масле имеют следующие механические свойства: $\sigma_s=80$ кг/мм²; $\sigma_b=100$ кг/мм²; $\delta=30\%$; $\psi=45\%$; $a_k=4,5$ кгм/см²; $H_V=285$. При малых сечениях сталь отпускной хрупкости подвержена слабо.

Снижение a_k при температурах ниже 0° (для стали, прошедшей закалку и имеющей $\sigma_b=70$ кг/мм²) характеризуется следующими данными:

Температура в °С	+ 20	- 20	- 40	- 50	- 80
a_k кг/см ²	100	90	80	70	40

Значение a_k принято при температуре + 20° за 100%.

Характеристика усталостной прочности при изгибе приводится ниже:

Число циклов	10^5	$5 \cdot 10^5$	10^6	$5 \cdot 10^6$
σ_d кг/мм ²	45,5	39,0	37,0	34,0

В готовых деталях, подвергнутых улучшению, сталь 40X имеет механические свойства, приведенные в табл. 9.

Таблица 9
Механические свойства стали марки 40X, подвергнутой улучшению

Наименование деталей	Механические свойства						
	σ_p кг/мм ²	σ_s кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ %	ψ %	a_k кгм/см ²	H_V
Вал сошки руля . . .	59,0	63	84,0	17,7	65,0	7,0	241
Рычаг руля	65,4	69	87,7	15,0	55,7	5,4	241

Сталь марок 20, 35, 45. Углеродистая конструкционная сталь, цементируемая и улучшаемая, находит широкое применение для изготовления большого количества деталей автомобиля. Из числа углеродистых марок сталей следует отметить сталь 20 цементируемую, стали 35 и 45 улучшаемые.

Из стали марки 20 изготавливаются цементируемые детали, работающие на трение и не испытывающие больших напряжений, а также детали, к которым, учитывая условия эксплуатации, не предъявляются высокие требования в отношении прочности.

Химический состав стали 20 следующий: 0,15—0,20% С; 0,35—0,60% Мп; 0,17—0,37% Si; не более 0,3% Ni; не более 0,3% Cr; не более 0,045% S и P каждого. Критические точки: $A_{c1}=720^{\circ}$; $A_{c3}=810^{\circ}$; $A_{r1}=690^{\circ}$; $A_{r3}=840^{\circ}$.

Сталь марки 20, закаленная в воде при температуре 830—850° и отпущенная при температуре 200°, в сечениях до 50 мм имеет следующие механические свойства: $\sigma_s=42\div 53$ кг/мм²; $\sigma_b=63\div 77$ кг/мм²; $\delta=17\div 12^{\circ}/_0$; $\psi=30\div 15^{\circ}/_0$.

Сталь склонна к перегреву и короблению, поэтому рекомендуется цементацию производить при температурах, не превышающих 900°. Закалка может быть дана непосредственно после цементации.

В тех случаях, когда требуется максимальная прочность сердцевины и цементированного слоя, рекомендуется делать двойную закалку в воде: первую при температуре 870—900°, вторую при температуре 760—790° и отпуск при температуре 180—200°.

Сталь марки 35 применяется для изготовления улучшаемых и цианируемых деталей. При средних и мелких сечениях (до 25 мм) она закаливается в масле, при более крупных — в воде.

Химический состав стали следующий: 0,30—0,40% С; 0,45—0,70% Мп; 0,17—0,37% Si; не более 0,3% Cr; не более 0,3% Ni; не более 0,045% S; не более 0,045% P. Критические точки: $A_{c1}=720^{\circ}$; $A_{c3}=775^{\circ}$; $A_{r1}=690^{\circ}$; $A_{r3}=795^{\circ}$.

После закалки образцов в воде при температуре 830° и в зависимости от температуры отпуска сталь имеет следующие механические свойства:

Температура отпуска в °С	400	500	600
σ_b кг/мм ²	80	76	70
$\psi^{\circ}/_0$	50	55	60
H_B	210	190	180

При улучшении должно быть обращено особое внимание на полноту прогрева стали и условия охлаждения, так как неполная закалка после отпуска будет маскироваться твердостью, которая может отвечать техническим условиям, но, вследствие наличия свободного феррита в структуре, пределы текучести и пропорциональности будут занижены.

Сталь марки 45 находит весьма широкое применение в автомобилестроении в связи с применением поверхностного нагрева под закалку токами высокой частоты.

Химический состав стали 45 следующий: 0,40—0,50% С; 0,45—0,70% Мп; 0,17—0,37% Si; не более 0,3% Cr; не более 0,3% Ni; не более 0,045% S; не более 0,045% P. Критические точки: $A_{c1} = 725^{\circ}$; $A_{c3} = 770^{\circ}$.

Механические свойства после закалки при температуре 850° и отпуска при температуре 530° следующие: $\sigma_s = 55 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_b = 80 \text{ кг/мм}^2$; $\delta = 10\%$; $\psi = 40\%$; $a_k = 3,5 \text{ кгм/см}^2$; $H_B = 241$.

В изделиях, подвергающихся поверхностной закалке, для обеспечения однородной твердости закаленного слоя рекомендуется суживать (селектировать) пределы по содержанию до 0,43—0,48 или 0,45—0,50%.

Для максимального упрочнения металла по всему сечению рекомендуется поковки из стали марки 45 подвергать до механической обработки улучшению.

Поковки, от которых требуется максимальная прочность, подвергаются термической обработке по следующему режиму: нормализация при температуре $870\text{—}925^{\circ}$; закалка при температуре $800\text{—}830^{\circ}$ в масле или воде; отпуск на требуемую твердость при температуре $550\text{—}650^{\circ}$.

При закалке массивных деталей, например коленчатых валов, шейки диаметром 70 мм прокаливаются на глубину 5—7 мм, а далее на глубину 4—5 мм распространяется переходная структура.

При изготовлении деталей из гладкотянутого материала необходимо предусматривать припуск на предварительную шлифовку материала ввиду возможного поверхностного обезуглероживания при промежуточных отжигах для волочения.

Сталь для клапанов. Для впускных клапанов применяют чаще всего сталь марки 40X.

Для выпускных клапанов, работающих при высокой температуре и повторных ударах, сталь должна быть прочной и вязкой, обладать жаростойкостью и теплоустойчивостью, износоустойчивостью и хорошей теплопроводностью и в то же время должна хорошо обрабатываться.

Существует большая группа клапанных сталей, отвечающих в той или иной степени перечисленным выше требованиям: хромовольфрамовые, хромистые, хромокремнистые, хромоникелевые и др.

Для автомобильных двигателей применяют хромокремнистые (сильхром) и хромоникелевые стали. Наиболее употребительны стали: ЭИ-107, ЭСХ8, ЭИ-72 (табл. 10).

Таблица 10

Химический анализ клапанных сталей

Марки стали	C	Si	Mn	S ≤	P ≤	Cr	Ni	Mo
ЭИ-107	0,35—0,45	1,9—2,6	0,3—0,7	0,03	0,03	9—10,5	0,5	0,7—0,9
ЭИ-72	0,35—0,50	2,2—3,2	0,3—0,7	0,03	0,02	8—9,5	—	—
ЭСХ8	0,25—0,37	2—3	0,65	0,03	0,03	11,5—14,0	6,5—7,5	—

Сталь ЭИ-107 имеет критические точки: $A_{c1} = 850^\circ$, $A_{c3} = 950^\circ$. В термически обработанном состоянии (нагрев до температуры 1100° , охлаждение в масле, отпуск при температуре 800° , охлаждение на воздухе) образцы из этой стали обладают следующими механическими свойствами: $\sigma_s = 75 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_b = 95 \text{ кг/мм}^2$; $\delta = 10\%$; $\psi = 35\%$; $a_k = 2,5 \text{ кгм/см}^2$; $H_B = 255$.

При повышенных температурах механические свойства стали ЭИ-107 следующие:

Температура испытаний в $^\circ\text{C}$	$\sigma_b \text{ кг/мм}^2$	$\delta\%$	$\psi\%$	$a_k \text{ кгм/см}^2$
600	50	15,8	80,8	17,5
700	18	27,8	96,6	—
800	11,6	31,2	98,2	—

Сталь ЭИ-72 после термической обработки по режиму: заковка при температуре 1050° в воде, отжиг при температуре 870° в течение 5 час., нормализация при температуре 670° на воздухе и заковка при температуре 710° в масле, имеет следующие механические свойства: $\sigma_s = 80 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_b = 120 \text{ кг/мм}^2$; $\delta = 10\%$; $\psi = 25\%$; $a_k = 3 \text{ кгм/см}^2$; $H_B = 341$.

Сталь марки ЭСХ8 после заковки при температуре 1100° в масле и отпуска при температуре 800° (в зависимости от температуры испытания) имеет следующие механические свойства.

Температура испытаний в $^\circ\text{C}$	$\sigma_s \text{ кг/мм}^2$	$\sigma_b \text{ кг/мм}^2$	$\delta\%$	$\psi\%$	$a_k \text{ кгм/см}^2$
15	65	85	16	40	7
800	7,7	—	74	66	—

Такая сталь обладает хорошей сопротивляемостью коррозии при высоких температурах, например, при 900° ЭСХ8 и ЭИ-107 имеют коэффициент окалинообразования 0,22; в то время как нержавеющая сталь состава: 0,3—0,5% С; 0,3—0,8% Мп; 0,2—1,0% Si; до 1% Ni; 10—14% Cr, при 900° имеет коэффициент окалинообразования 32,0 (по Гатфильду).

Сталь для рам Для лонжеронов и поперечин автомобильной рамы применяются или малоуглеродистая сталь марки 25, или среднеуглеродистая марганцовая сталь марки 1330. Листовой материал в том и другом случае поставляется отожженный и подвергается штамповке в холодном состоянии. Углеродистая сталь применяется без последующей термической обработки, а лонжероны из марганцовой стали подвергаются улучшению.

Сталь марки 25 имеет следующий химический состав: 0,2—0,3% С; 0,45—0,70% Мп; 0,17—0,37% Si; $S \leq 0,045\%$; $P \leq 0,045\%$; $Cr \leq 0,3\%$; $Ni \leq 0,3\%$.

Состав стали марки 1330: 0,25—0,35% С; 1,3—1,6% Мп; Cr — не более 0,25%; $S \leq 0,040\%$; $P \leq 0,045\%$.

Сталь марки 25, нормализованная при 850° , имеет следующие механические свойства: $\sigma_b = 43 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_s = 26 \text{ кг/мм}^2$; $\delta = 22\%$; $\psi = 0,50\%$; $H_B = 170 \div 131$.

Сталь марки 1330 в улучшенном состоянии имеет следующие механические свойства: $\sigma_b \geq 80 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_s \geq 70 \text{ кг/мм}^2$; $\delta \geq 45\%$; $\psi \geq 50\%$; $H_B = 255$.

Марганцовая сталь обладает при высокой твердости хорошими показателями предела прочности и упругости, что обеспечивает надежную эксплуатацию в тяжелых условиях работы рам на грузовых машинах и автобусах.

Сталь для рессор и пружин. Работа рессор и пружин носит циклический характер, и в соответствии с этим материал, употребляемый для изготовления их, должен характеризоваться высоким пределом упругости.

Вместе с этим необходимо учитывать, что рессоры и пружины в эксплуатации испытывают сложные напряжения, возникающие как вследствие статических, так и динамических нагрузок.

Циклическая работа рессор и пружин требует особенного внимания к способности материала противостоять знакопеременным нагрузкам, т. е. материал должен иметь высокое сопротивление усталости.

Рессоры и пружины изготавливаются из углеродистых и легированных сталей. Основным технологическим требованием, предъявляемым к рессорно-пружинным сталям, является большая прокаливаемость, так как она обеспечивает однородность свойств по всему сечению изделия. Чтобы избежать возникновения больших внутренних напряжений при резкой закалке, при изготовлении рессор и пружин применяют легированные стали, позволяющие получить требуемую твердость при закалке в масле.

В соответствии с требованиями технологического процесса изготовления рессор и пружин сталь поставляется или в отожженном состоянии, или термически обработанной.

По данным практических исследований, для марок сталей, обычно применяемых для изготовления рессор и пружин, предел усталости принимается равным $50-55 \text{ кг/мм}^2$.

Рессорная сталь должна после термической обработки иметь предел текучести $110-125 \text{ кг/мм}^2$; предел прочности при растяжении $120-140 \text{ кг/мм}^2$; удлинение $8-6\%$; сжатие $40-30\%$.

Наибольшее распространение для изготовления рессор и пружин получили следующие марки стали: кремнистая сталь 55С2, 60С2, марганцовая сталь 50Г, 60Г, 65Г, кремнемарганцовая сталь 55ГС; хромованадиевая сталь 50ХФА, хромомарганцовая сталь 50ХГ, хромомарганцово-ванадиевая сталь 50ХГФ.

Углеродистая сталь марок У7, У8, У9 для изготовления пружин применяется или в отожженном состоянии, или в предварительно подготовленном:

- а) холоднотянутая сталь,
- б) калиброванная,
- в) термически обработанная.

Кремнистая сталь марок 55С2, 60С2— наиболее распространенная сталь для изготовления рессор и пружин передней подвески. Сталь склонна к обезуглероживанию и к графитизации, обладает повышенной прокаливаемостью.

Марганцовая сталь марок 50Г, 60Г, 65Г прокаливается лучше кремнистых сталей и менее склонна к обезуглероживанию, но отличается склонностью к перегреву и к образованию закалочных трещин.

Кремнемарганцовая сталь 55ГС и хромомарганцовая сталь 50ХГ являются сталями повышенного качества, обладают меньшей склонностью к перегреву, но чувствительны к отпусковой хрупкости.

Хромованадиевая сталь 50ХФА и хромомарганцовованадиевая сталь 50ХГФ являются наилучшими сталями, обеспечивающими, благодаря хорошей прокаливаемости, высокую усталостную прочность материала.

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ТЕРМИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ

Термическая обработка деталей автомобиля в заготовительных цехах имеет назначение или подготовить структуру поковок к последующим операциям механической обработки, либо к последующей термической обработке, или повысить механические свойства стали.

Наиболее распространенными подготовительными операциями для стальных деталей являются отжиг и нормализация.

Поковки и заготовки из среднеуглеродистых сталей подвергаются улучшению.

Отжиг. Отжиг состоит из трех последовательных стадий: нагрев, выдержка и охлаждение.

Различают три вида отжига деталей: полный отжиг с нагревом выше A_{c3} , неполный с нагревом до температуры в пределах A_{c1} — A_{c3} и низкотемпературный—с нагревом ниже A_{c1} .

Основное назначение полного и неполного отжига заключается в подготовке структуры к последующим операциям механической и термической обработки, в изменении размера зерен, коагуляции карбидов и стабилизации структуры.

Низкотемпературный отжиг применяется для получения зернистого перлита и снятия внутренних напряжений; фазовых превращений при этом отжиге не происходит.

Кроме этих видов отжига, для легированных сталей в некоторых случаях применяется изотермический отжиг, заключающийся в медленном охлаждении при прохождении критической температуры или переохлаждении до подкритической температуры (область наименьшей устойчивости переохлажденного аустенита). Окончательное охлаждение ведется ускоренно или замедленно в зависимости от марки стали.

Примером такого отжига может служить изотермический отжиг поковок шестерен из стали марки 18ХНМА, который ведется по следующему режиму: нагрев до температуры 950—960°, выдержка в течение 2 час., затем ускоренное охлаждение вместе с печью (при открытой дверце) до температуры 610—630°, выдержка при этой температуре в течение 12 час., окончательное охлаждение на воздухе или в воде при температуре 50—60°. При этом получается твердость $H_B < 255$.

Примером низкотемпературного отжига может служить процесс отжига заготовок из листовой стали марки 35 для глубокой штамповки деталей.

Нарезанные заготовки укладываются в железные ящики и пересыпаются чугушной стружкой; ящик покрывается крышкой (железным листом), края которой промазываются глиной. В таком состоянии ящик с заготовками постепенно прогревается до

Таблица 11

Содержание углерода в %	Пластинчатый перлит		Зернистый перлит	
	σ_b кг/мм ²	δ %	σ_b кг/мм ²	δ %
0,2	40	30	40	33
0,5	60	20	56	30
0,8	80	14	89	29

температуры ниже A_{c1} , выдерживается в течение 2 час. при этой температуре и медленно охлаждается затем до температуры 400°. После этого ящик может быть вынут из печи и охлажден на воздухе.

В результате такого отжига получается зернистый перлит, обеспечивающий высокий предел прочности

при растяжении и высокие показатели удлинения стали, значения которых приведены в табл. 11¹.

Известно, что для обеспечения хорошей обрабатываемости сталь в поковках должна иметь структуру, состоящую из равно-



Фиг. 9. Структура стали — сорбитообразный перлит и феррит.



Фиг. 10. Структура стали сорбитоферритовая.

осных зерен сорбитообразного перлита и феррита (фиг. 9). Твердость металла при наличии такой структуры находится в пределах 207—170 Нв.

Эти условия могут быть выдержаны при проведении режима, отжига, обеспечивающего полный переход в твердый раствор сорбитообразного перлита.

Наличие крупных включений сорбитообразного перлита в структуре объясняется недогревом поковок или быстрым прохо-

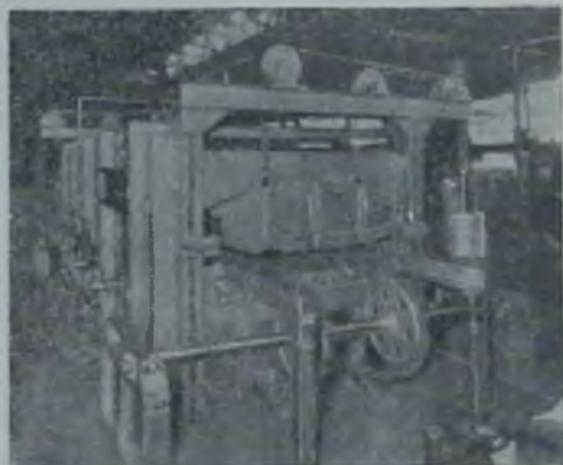
¹ Бочвар А. А., Металловедение, 1937 г.

ждением через критический интервал при охлаждении. Последнее наблюдается при нормализации поковок, поэтому замедленное охлаждение при переходе точки A_{r_1} является решающим моментом для получения хорошей структуры.

При отпуске после нормализации получается смешанная сорбитоферритовая структура (фиг. 10). Несмотря на хорошую твердость (207—170 H_V), поковки с такой структурой обрабатываются плохо, так как сталь, вследствие сфероидизации цементита и тонкодисперсного состояния, вязка, благодаря чему происходят затупление и поломка тонких граней режущего инструмента.

Нормализация. Наиболее распространенная и дешевая подготовительная операция термической обработки—нормализация—заключается в нагреве, выдержке при температуре A_{c_3} и последующем охлаждении на воздухе.

В результате нормализации уничтожается строчечная структура и получается мелкозернистая, что повышает прочность стали. Ускоренное охлаждение от температуры нормализации путем погружения в расплавленную соль или свинец, а также опрыскивание водой или кратковременное погружение в воду приводит к образованию сорбитовой структуры. Этот процесс называется сорбитизацией. Сорбитизация по сравнению с нормализацией обеспечивает более высокую прочность и твердость стали.



Фиг. 11. Механизированная печь для нормализации.

Процесс нормализации производится в механизированных печах различных типов. На фиг. 11 изображена нормализационная печь.

При нормализации легированных сталей, особенно хромоникелевых, получается частичная закалка, вследствие чего необходимо давать отпуск поковкам при температуре 600—650° для получения твердости в пределах 229—179 H_V и обеспечения удовлетворительной обрабатываемости.

Нормализации подвергаются также отливки из стали; цель и режим обработки те же, что и при обработке поковок.

Улучшение. Операция термической обработки, заключающаяся в закалке и высоком отпуске, называется улучшением. Цель улучшения—получить сорбитовую структуру по всему сечению поковки.

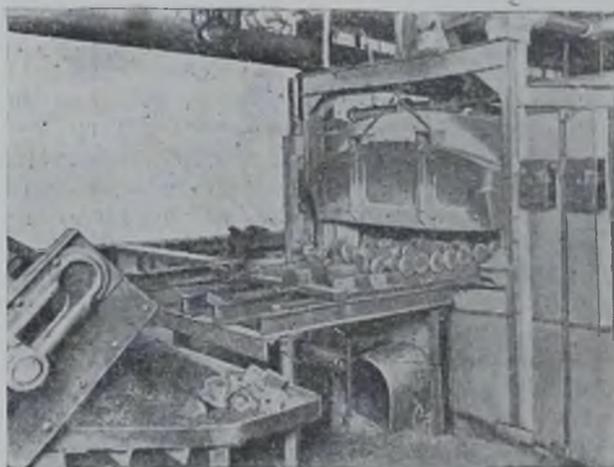
Улучшению подвергаются поковки и детали, изготовляемые из среднеуглеродистых сталей. Улучшенная сталь имеет прочность на 25—30% выше, чем нормализованная.

Таблица 12

Механические свойства образцов

Наименование изделия	Марка стали	Толщина сечения в мм	Механические свойства					
			σ_s кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ %	ψ %	σ_k кг/см ²	H_B
Вал сошки руля	40X	24	74	88	22	66	16	241
Поворотный кулак	40XHM	35	68	86	20	70	17	285
Шатун	40XHM	10	73	88	25	71	19	255
Поворотный кулак	20Г	35	64	83	18	52	9	229
Стойка передней подвески	45	30	52	80	18	60	6	207
Рычаг передней подвески	20Г	20	62	75	20	66	15	241
Рычаг поворотного кулака	20Г	26	67	83	21	66	15	241

В табл. 12 приводятся механические свойства образцов, вырезанных из середины сечений различных деталей после улучшения.



Фиг. 12. Закалочная печь.

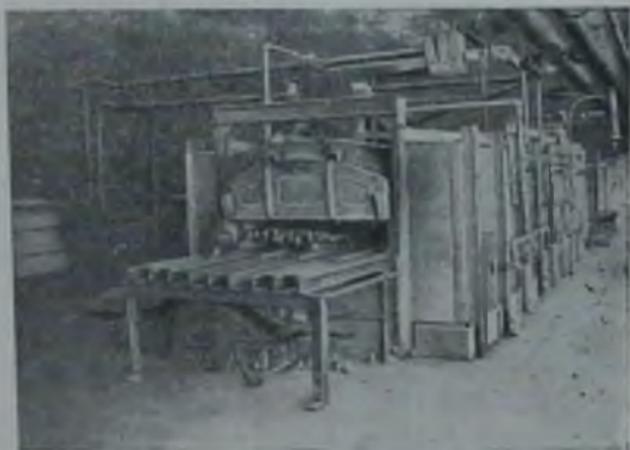
Улучшение крупных поковок—коленчатых валов и передних осей—производится в агрегатах, состоящих из закалочной печи (фиг. 12), конвейерного закалочного бака (фиг. 13) и отпускной печи (фиг. 14).

Улучшение деталей и нормалей (болты, гайки, винты) производится в электрических печах с защитной атмосферой, которая может быть получена путем, например, крекирования при тем-



Фиг. 13. Конвейерный закалочный бак.

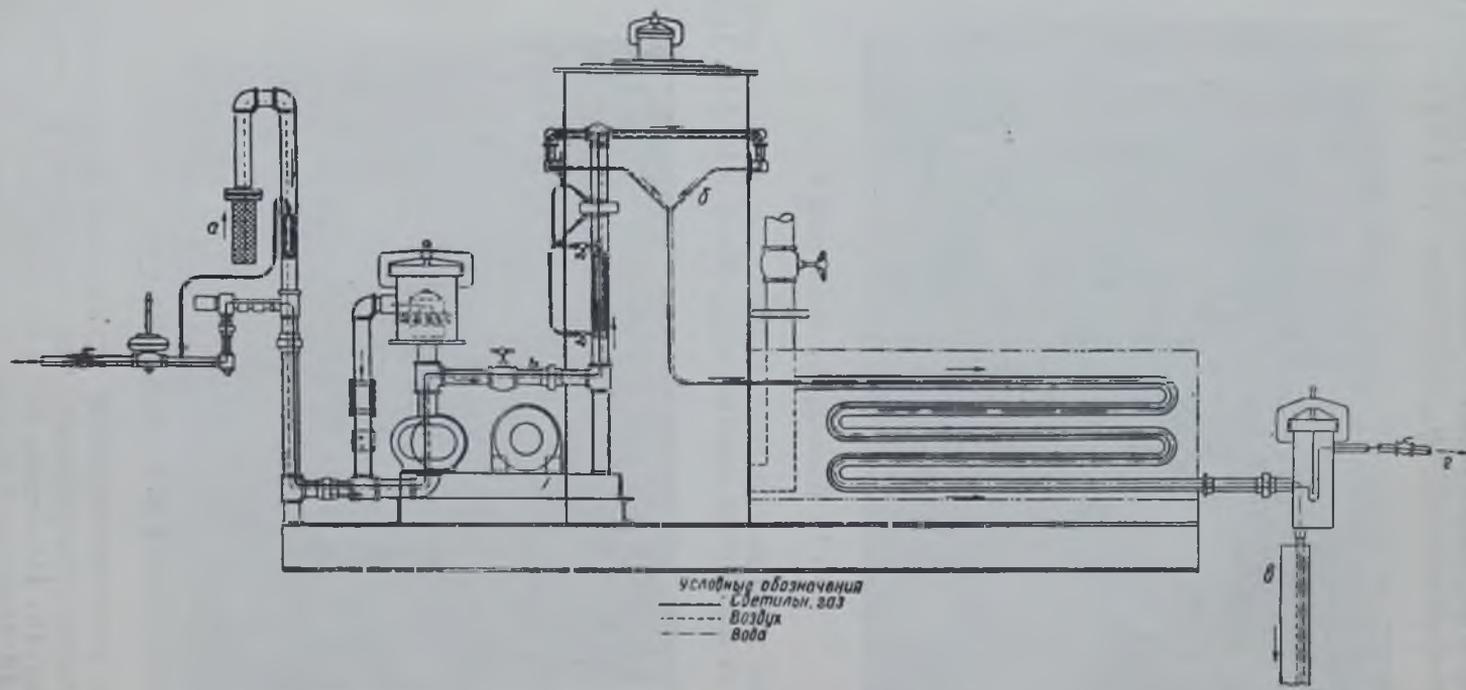
пературе 950° городского светильного газа, естественного саратовского газа или путем крекинга керосина. На фиг. 15 изобра-



Фиг. 14. Печь для отпуска.

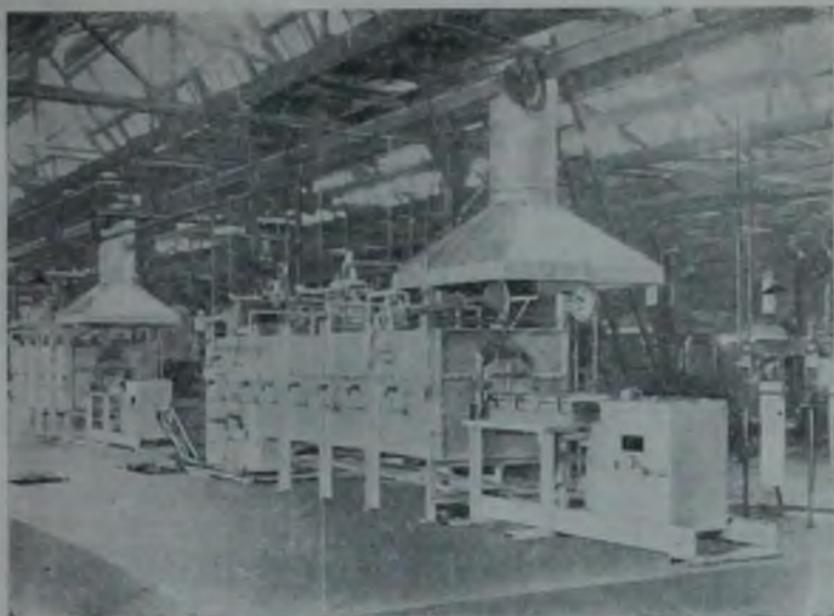
жена схема газогенераторной установки. Примерный состав крекированного саратовского газа следующий: $3-6\%$ CO_2 ; 10% CO ; $8-14\%$ H_2 ; $5-6\%$ CH_4 ; $60-70\%$ N_2 .

На фиг. 16 изображен агрегат для массовой обработки нормалей. При небольшой программе эту операцию можно произ-

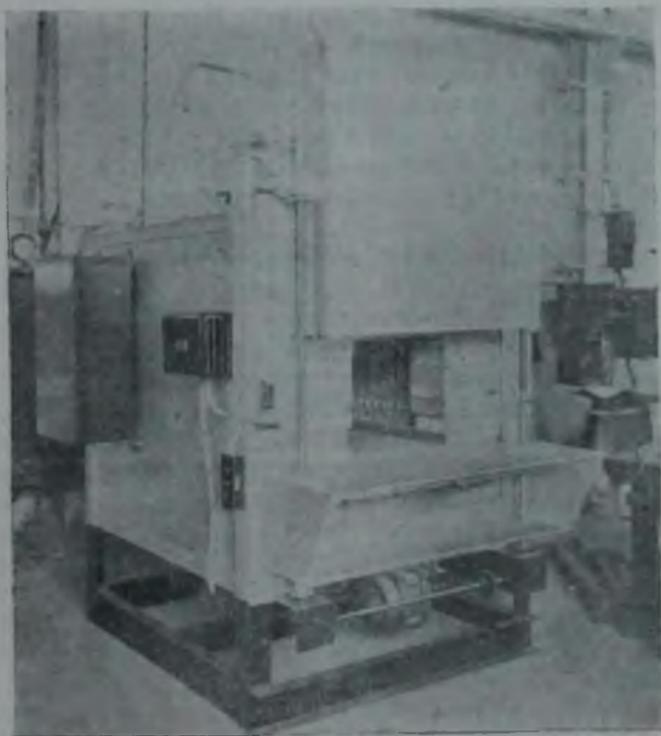


Фиг. 15. Схема газогенератора:

a — поступление воздуха; *б* — камера сгорания; *в* — удаление воды; *z* — подача газа



Фиг. 16. Агрегат для массовой обработки нормалей.



Фиг. 17. Камерная электрическая печь.

водить в камерных электрических печах (фиг. 17) с подводкой нейтрального защитного газа для предохранения от окисления.

В результате окисления получается выгорание углерода в поверхностных слоях детали. Различают две зоны обезуглероживания: 1) зону полного обезуглероживания и 2) зону частичного обезуглероживания.

Зона полного обезуглероживания характеризуется структурой, состоящей из чистого феррита, а зона частичного обезуглероживания имеет частичный обедненный углеродом слой со структурой, состоящей из феррита и перлита. При полном обезуглероживании с поверхности частично обезуглероживанный слой является переходным к структуре металла, имеющейся в слоях, расположенных ближе к сердцевине.

Определение характера и глубины обезуглероживанного слоя производится в отожженном или нормализованном состоянии.

ЗАКАЛКА

Нагрев доэвтектоидной стали выше точки A_{c3} , а заэвтектоидной выше A_{c1} и охлаждение после соответствующей выдержки в воде, масле или на воздухе (в зависимости от класса стали) переводят ее структуру в закаленное состояние, характеризующееся наличием игольчатой структуры — мартенсита.

Теория процесса связывает образование мартенсита с перестройкой γ -решетки в α -решетку. Каждая игла мартенсита представляет собой твердый раствор углерода в железе и содержит углерода столько, сколько его было в исходном аустените. Рентгеноанализ указывает, что в мартенсите нет цементита. Это подтверждается тем, что электросопротивление мартенсита значительно выше феррито-цементитной смеси и тем, что мартенсит не имеет магнитного превращения A_0 , которым обладает цементит.

Кинетика превращения аустенита в мартенсит, согласно исследованию проф. С. С. Штейнберга, представляется в следующем виде: по достижении определенной температуры переохлаждения (температура начала мартенситного превращения) вследствие внутренних напряжений аустенит становится неустойчивым и превращается в α -мартенсит. При переохлаждении твердого раствора в начальный момент образуется один кристалл мартенсита — игла; если продолжать охлаждение, не задерживаясь на температуре начала превращения, то количество игл мартенсита будет увеличиваться; приостанавливая охлаждение, мы будем фиксировать имеющееся количество мартенсита. При продолжении охлаждения образуются новые иглы мартенсита, и количество аустенита уменьшается. Часть аустенита, занятая ограниченно замкнутыми поверхностями мартенситовых игл, сохраняется и носит название остаточного аустенита.

Мартенситовые иглы образуются в зоне аустенитового зерна, стремясь занять максимальный объем, и тем самым сжимают аустенит. Для постепенного распада аустенита необходимо

дальнейшее охлаждение, чтобы создать напряжения, ослабляющие сжатие аустенита. Создается в конце концов такое положение, когда, вследствие массового образования мартенситовых игл, аустенит максимально сжат и дальнейшее выделение игл мартенсита прекращается.

В высокоуглеродистой стали при закалке сохраняется относительно большее количество остаточного аустенита, чем в малоуглеродистой.

Конец мартенситного превращения у малоуглеродистых сталей лежит выше 0° , поэтому при обычных операциях закалки можно добиться полного распада аустенита. У сталей с содержанием углерода выше $0,6\%$, а также, естественно, и в цементованном слое малоуглеродистых сталей, при охлаждении температура конца мартенситного превращения может лежать ниже 0°C .

С повышением содержания легирующих элементов в стали температура конца мартенситного превращения понижается и в некоторых случаях температура начала и конца превращения может находиться ниже 0°C .

Установлено, что скорость охлаждения не влияет на положение мартенситной точки, но она влияет на протекание мартенситного превращения, т. е., чем быстрее происходит охлаждение, тем больше в единицу времени выделяется мартенситовых игл, вследствие больших внутренних напряжений.

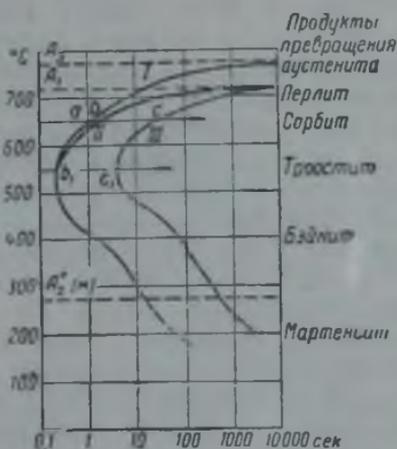
Скорость охлаждения, при которой получается мартенситная структура, называется критической скоростью закалки.

При термической обработке (особенно специальных легированных сталей) широкое применение находит изотермическая закалка, заключающаяся в охлаждении деталей с обычных температур закалки в ванне, нагретой до температуры $250-400^\circ$.

При этих температурах аустенит в течение некоторого времени находится в устойчивом состоянии, а затем распадается с образованием структуры, имеющей, так же как и мартенсит, игольчатый характер, но являющейся уже продуктом распада мартенсита. Эта структура получила название бейнит.

На фиг. 18 показаны кривые изотермического распада аустенита.

Скорости нагрева при закалке могут быть весьма значительны; допустимая скорость определяется теплопроводностью стали. Чем выше теплопроводность стали, тем безопаснее быстрый нагрев.



Фиг. 18. Диаграмма изотермического превращения аустенита в стали, содержащей $0,5\%$ С:

I — кривая начала выделения феррита;
II — кривая начала превращения аустенита;
III — кривая конца превращения аустенита.

Для того чтобы не вызвать в сталях с низкой теплопроводностью больших внутренних напряжений, могущих привести к образованию трещин, необходимо обеспечивать равномерный нагрев. Нагрев в соляных ваннах, а также нагрев токами высокой частоты убедительно показывают, что при равномерном нагреве допустимы чрезвычайно большие скорости.

При работе в механизированных печах с непрерывной загрузкой ввод массы холодного металла снижает действительную температуру у поверхности деталей, что следует иметь в виду и стремиться к поддержанию у загрузочного конца печи температуры не ниже, чем у разгрузочного. В отдельных случаях, когда ведется нагрев в соляных ваннах, можно ввести предварительный подогрев, снижающий деформацию деталей. Результаты закалки зависят от прокаливаемости стали. Методом определения прокаливаемости стали служит замер глубины закаленного слоя при одинаковых условиях охлаждения образцов одного размера. Эталоном прокаливаемости можно считать диаметр цилиндрического образца, который после закалки в определенных условиях будет иметь в центре структуру, состоящую из 50% мартенсита. Выбор метода определения глубины закалки, так же, как и метод ее измерения, должен определяться типом исследуемой стали, размером изделия и, особенно, характером применения стали.

Для углеродистой стали достаточно закалить цилиндрический образец; для сталей с более высокой прокаливаемостью пригодным является метод торцевой закалки образца, подвергнутого предварительно нормализации.

Для сравнения прокаливаемости по методу торцевой закалки различных сталей служит замер твердости по сечению цилиндрического образца диаметром 25 мм, длиной 100 мм. Этот образец охлаждается с торца струей воды при температуре 20—25° и напоре струи, равной 63 мм (высота при выходе из отверстия наконечника трубы диаметром 12,5 мм), торец устанавливается от наконечника на расстоянии 12,5 мм.

Такое суждение будет относительным, так как внутренние напряжения изменяют скорость превращения и оказывают влияние на прокаливаемость, поэтому критические скорости для одной и той же стали в различных сечениях будут не одинаковы. Исследования ряда ученых позволяют обобщить суждения о прокаливаемости на основании результатов закалки образца с критическим диаметром в определенной среде.

В основу расчета принимаются следующие допущения: 1) теплопередача происходит по закону Ньютона; 2) теплопередача не зависит от радиуса кривизны поверхности и является постоянной как для мелких, так и крупных изделий при одинаковом их нагреве; 3) аустенит одной и той же стали однороден по всему сечению образца от центра к поверхности как в крупных, так и в мелких образцах.

Весьма важно отметить, что коэффициент теплопередачи зависит от условий охлаждения и имеет следующие значения:

при охлаждении на спокойном воздухе	0,02
при охлаждении в масле (образец перемещается с умеренной скоростью)	0,4—0,5
при охлаждении в воде (образец неподвижен)	1,0
при охлаждении в масле (образец перемещается с высокой скоростью)	1,5
при охлаждении в подогретом соляном растворе (образец перемещается с умеренной скоростью)	2,0
при охлаждении в воде (образец перемещается с умеренной скоростью)	4,0—6,0
при охлаждении в воде (образец перемещается с высокой скоростью)	10 и выше

Прокаливаемость зависит от состава аустенита, размера зерна аустенита в момент закалки и наличия посторонних частиц в стали, которые могут служить центрами кристаллизации.

Состав аустенита может быть в различных частях образца неодинаковым, так как в одних местах он более обогащен легирующими элементами, чем в других, вследствие того, что некоторые элементы образуют специальные карбиды, которые диффундируют медленно.

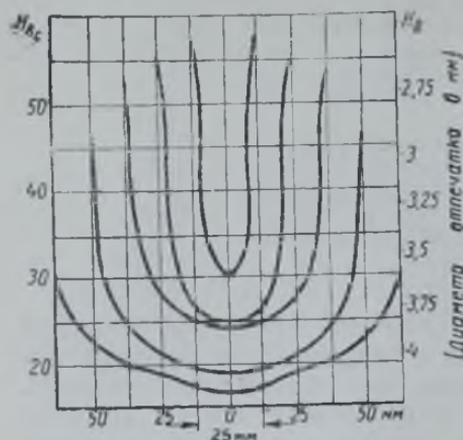
Влияние мелкого зерна стали на прокаливаемость более существенно, нежели применение с той же целью умеренной закалки крупнозернистой стали. Если учесть еще, что мартенсит, получающийся из мелкозернистого аустенита, вызывает меньшие напряжения, чем мартенсит из крупнозернистого, то станет вполне объяснимым стремление применять мелкозернистые стали, которые обеспечивают большую прочность изделий в закаленном и отпущенном состоянии, чем крупнозернистые.

За исключением кобальта, растворяющегося в больших количествах в аустените, остальные элементы растворяются менее интенсивно, но действие их на прокаливаемость более эффективно. Установлено, что чем интенсивнее растворяется элемент в аустените, тем слабее он оказывает влияние на прокаливаемость. Молибден и ванадий, слабо растворяющиеся в аустените, наиболее интенсивно влияют на повышение прокаливаемости стали.

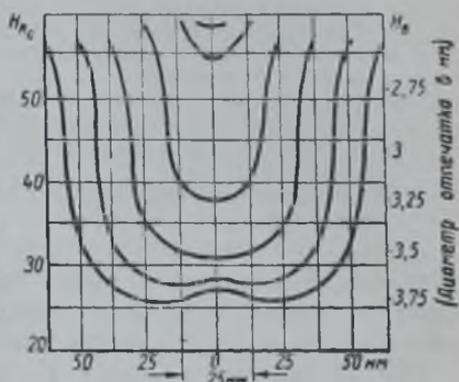
Рассмотрим на примере ванадия влияние карбидообразующих элементов на прокаливаемость.

Карбиды ванадия уменьшают содержание углерода в аустените и ограничивают рост зерна, поэтому при низких температурах прокаливаемость этих сталей уменьшается. При увеличении температуры наблюдается рост зерна стали и при этом увеличивается прокаливаемость; происходит это вследствие растворения карбида ванадия в аустените. При увеличении температуры прокаливаемость увеличивается, и при зерне № 4—5 ванадиевая сталь имеет такую же прокаливаемость, как при зерне № 1—2 углеродистая сталь.

Таким образом карбидообразующие элементы задерживают рост зерна до тех пор, пока не начнется растворение карбидов в аустените.

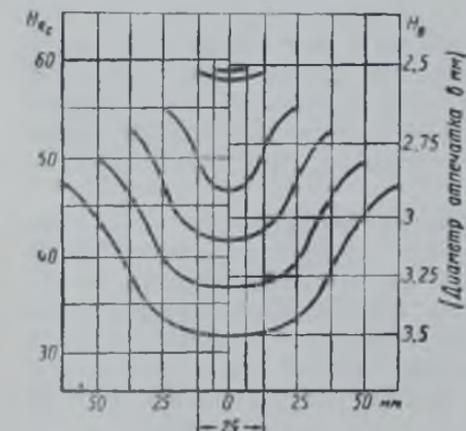


Фиг. 19. Твердость по сечению образцов из стали 40 после закалки в воде (при 150 кг).



Фиг. 20. Твердость по сечению образцов из стали 40X после закалки в воде (при 150 кг).

Используя это свойство ванадиевой и молибденовой стали, можно при повышенной вязкости стали получить большую прокаливаемость.



Фиг. 21. Твердость по сечению образцов из стали 40XF после закалки в воде (при 150 кг).

На фиг. 19—21 изображены диаграммы прокаливаемости сталей марок 40, 40X, 40XF.

Необходимо отметить, что само повышение температуры закалки стали не является решающим фактором, но следствием этого повышения являются: рост зерна, выравнивание состава, растворение карбидов, что и вызывает в результате увеличение прокаливаемости.

ОТПУСК

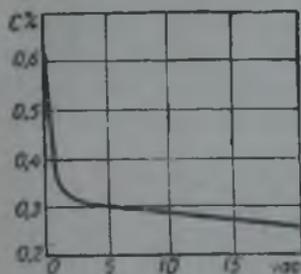
Отпуск заключается в нагреве закаленной детали до температуры, лежащей ниже критической. При этом снимаются внутренние напряжения, полученные при закалке, и переводится структура закаленной стали в более стабильное состояние. Внутренние напряжения частично снимаются при нагреве в интервале 150—250°, но при этом структура практически не изменяется; такой отпуск называется низким отпуском. Для изменения структуры и получения требуемой твердости и

механических свойств дается отпуск в интервале температуры 350—650° С, такой отпуск называется высоким отпуском.

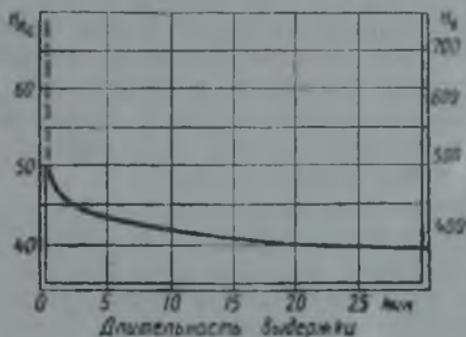
Наблюдения показывают, что как при низких температурах (порядка 150—200°), так и при высоких температурах (600—650°) эффективность проявляется в первые несколько минут с момента прогрева изделия (фиг. 22 и 23).

На фиг. 22 изображена кривая изменения содержания углерода в растворе при 200°, а на фиг. 23 — влияние отпуска на снижение твердости.

Процессы, происходящие при отпуске, кратко сводятся к следующему: при отпуске в пределах 150—300° происходит переход α -мартенсита тетрагонального в β -мартенсит (отпущенный мартенсит).



Фиг. 22. Диаграмма изменения содержания углерода в растворе после отпуска при температуре 200° С.



Фиг. 23. Диаграмма изменения твердости в зависимости от длительности выдержки при температуре 650° С (сталь с содержанием 0,82% С и 0,75% Мп; H_{RC} при 150 кг).

Процесс перехода совершается последовательно тремя превращениями: первое превращение происходит при температуре 100—150° и связано с распадом твердого раствора углерода в α -железе; второе превращение происходит при температуре 240—250° и связано с распадом остаточного аустенита и третье превращение происходит при температуре 280—350° и заключается в образовании смеси кристаллов α -железа с Fe_3C .

Исследования показали, что в средне- и высокоуглеродистых сталях после часового отпуска при первом превращении (150°) в твердом растворе остается около 0,4—0,5% углерода. При повышении температуры отпуска до 200° и выдержке в течение одного часа углерода остается 0,3—0,4% и после отпуска при температуре 250° остается еще около 0,2%. Практически время отпуска достаточно в пределах одного часа.

В малоуглеродистых сталях при температуре первого превращения почти не происходит выделения углерода из твердого раствора и поэтому температуру приходится повышать.

Академик Г. В. Курдюмов¹ считает, что при отпуске в пределах

¹ Академик Г. В. Курдюмов, „К теории закалки и отпуска стали“. Доклад на секции металлургов ВНИТО 23/V 1939 г.

температур 130—300° имеется фаза, отличная от решетки карбида Fe_3C . Кристаллы этой богатой углеродом фазы он назвал карбидом Fe_xC , который при температуре 300—350° переходит в карбид Fe_3C .

Таким образом, в мартенсите, отпущенном при температуре ниже 300°, часть углерода остается в растворе, а другая часть выделяется в форме карбида Fe_xC .

Рентгеноанализ устанавливает, что отпущенный при температуре 150—300° мартенсит является таким же твердым раствором, как и исходный, но с меньшей степенью пересыщения. Отпущенный мартенсит, имея почти такую же твердость, как и после закалки, обладает повышенной ударной вязкостью.

Для практики весьма важным является интервал температур 150—200°, так как отпуск в этих пределах, не снижая заметно твердости закаленной стали, устраняет хрупкость. Указанное выше обстоятельство максимального выделения углерода из твердого раствора в начальный момент отпуска объясняет установленную практикой длительность выдержки при температуре отпуска около часа (время нагрева до температуры отпуска учитывается особо).

Второе превращение (распад остаточного аустенита) происходит при температурах 200—260°. При 270° остаточный аустенит распадается сравнительно быстро (в течение нескольких минут). При дальнейшем повышении температуры выше 300° количество углерода в твердом растворе уменьшается до 0,1%, карбид Fe_xC исчезает и образуется карбид Fe_3C , и структура стали меняется, переходя из мартенситовой в трооститовую и сорбитовую. Последние представляют смесь кристаллов α -железа и Fe_3C . С повышением температуры происходит рост кристаллов Fe_3C и их коагуляция. Структура отожженной стали также состоит из смеси кристаллов α -железа и Fe_3C , но механические свойства ее ниже троостита и сорбита вследствие наличия упругих деформаций, возникающих при образовании последних. Разница в механических свойствах отпущенной крупно- и мелкозернистой стали объясняется тем, что ориентировка кристаллов α -железа и Fe_3C происходит по осям исходного аустенитового кристалла. Увеличение температуры отпуска до 600° влечет за собой уменьшение упругих искажений.

В заключение необходимо отметить весьма важное явление, наблюдаемое при отпуске легированных сталей.

Отпуск при температуре 260—315° приводит к резкому падению ударной вязкости. Это явление в основном связано с распадом остаточного аустенита, которое сопровождается изменением объема стали.

Отмечается также явление „вторичной твердости“, наблюдаемое в легированных сталях, которое вызывается противодействием легирующих элементов снижению твердости при высоких температурах отпуска.

Наблюдающееся у некоторых легированных сталей повышение твердости после отпуска по сравнению с твердостью

до отпуска можно объяснить наличием остаточного аустенита, образующегося при закалке и оказывающего влияние на снижение твердости при замере после закалки.

Возникновение вторичной твердости высоколегированных сталей при отпуске можно объяснить следующим образом: в тот момент, когда процесс коагуляции карбидов стабилизировался, происходит образование вторично выделившихся соединений (специальных карбидов), образующихся вследствие появившейся при данной температуре подвижности атомов легирующих элементов, достаточной для того, чтобы атом легирующего элемента мог оставить решетку феррита и мигрировать в соответствующее место для образования с углеродом молекулы специального карбида.

Частицы специальных карбидов чрезвычайно малы, и поэтому равномерное распределение их в основной массе металла приводит к повышению твердости. Эффект такого явления зависит от однородности аустенита перед закалкой.

Отпуск легированных сталей происходит при более высокой температуре, чем углеродистых, с тем же содержанием углерода; это способствует повышению вязкости и пластичности при одинаковой твердости, так как в легированной стали после образования карбидов ферритовая масса металла делается такой же, как и у углеродистой, но вследствие более высокой температуры полнее уничтожаются внутренние напряжения, концентрирующиеся в ферритовой основе, а вследствие этого повышается вязкость стали.

Необходимо особенно отметить чувствительность к скорости охлаждения при отпуске, заключающуюся в понижении ударной вязкости, наблюдаемую при медленном охлаждении легированных сталей (Cr—Ni; Cr—Mn и др.) после отпуска. Это явление называют отпускной хрупкостью.

Если такую сталь после отпуска резко охладить в воде, то отпускная хрупкость исчезнет.

Целесообразнее охлаждение вести в масле, так как резкое охлаждение в воде вызывает значительные внутренние напряжения, которые могут послужить причиной поломки деталей. Охлаждение на воздухе не всегда бывает эффективным и не исключает выделения избыточных фаз, предопределяющих хрупкость стали.

Природа этого явления еще не выяснена в полной мере. Необходимо отметить, что присутствие молибдена в стали почти полностью устраняет отмеченное явление.

Во избежание поломок деталей во время работы требуется, как правило, производить резкое охлаждение после высокотемпературного отпуска.

Для оценки свойств стали, полученных в результате различных видов термической обработки, приводим ориентировочную твердость по Бринелю различных структурных составляющих и фаз¹.

¹ А. А. Бочвар, Металловедение, изд. ОНТИ, 1937 г.

Структура	Твердость HВ
Феррит	50—90
Цементит	820
Перлит зернистый	160—190
" пластинчатый	190—230
" сорбитообразный	230—260
Сорбит	250—300
Троостит	300—400
Смесь троостита с мартенситом	400—650
Мартенсит	650—750
Мартенсит после упрочняющего отпуска	700—750
Аустенит	150—180

ГАЗОВАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ

Основы процесса газовой цементации. Цементация есть процесс поверхностного насыщения стали углеродом. Процесс цементации в твердом карбюризаторе весьма трудоемкий, длительный, создает тяжелые гигиенические условия для обслуживающего персонала, не поддается точному регулированию на различных стадиях, требует больших капитальных затрат.

Этот процесс, подробно описанный в учебниках и технической литературе, вытесняется в настоящее время более рациональным методом — газовой цементацией. Газовая цементация освоена и внедрена на автомобильных заводах, а поэтому мы на ней остановимся подробно. Процесс насыщения углеродом при газовой цементации ведется при помощи газов, богатых углеродом (CO , C_nH_{2n} , $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ и др.), диссоциирующих при высокой температуре с выделением атомарного углерода, диффундирующего в сталь.

Длительный период работы на машиностроительных заводах цементационных установок разных типов, работающих на газовом карбюризаторе, позволяет считать этот процесс освоенным процессом химико-термического упрочнения и рекомендовать его как для серийного, так и для массового производства. На фиг. 24 изображена механизированная муфельная печь периодического действия для газовой цементации.

Применяются также ретортные печи, в которых цементация производится при пропускании светильного или городского газа через реторту, заполненную частично твердым карбюризатором и деталями (фиг. 25).

Газовая цементация по сравнению с цементацией твердым карбюризатором в техническом и экономическом отношении эффективнее. При газовой цементации общая длительность процесса цементации сокращается до 2,5—3 раз. Процесс позволяет применить полную механизацию и требует незначительного количества рабочей силы. Возможность поддерживать чистоту при работе создает особо благоприятные условия для обслуживающего персонала. Потребная площадь цеха при газовой цементации меньше, чем при работе с твердым карбюризатором. Кроме того, отпадает необходимость транспортировать значи-

тельные количества угля или готового карбюризатора. Отсутствие упаковочных ящиков позволяет непосредственно после цементации производить закалку, что упрощает всю технологию термической обработки цементируемых деталей.

Остановимся кратко на теории процесса цементации.

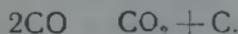
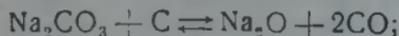
Железо в аллотропической форме γ обладает способностью растворять углерод в значительных концентрациях.

Для насыщения железа углеродом требуется наличие богатых углеродом соединений, которые, расщепляясь при высокой температуре, выделяют углерод в состоянии и форме, способной диффундировать в сталь.

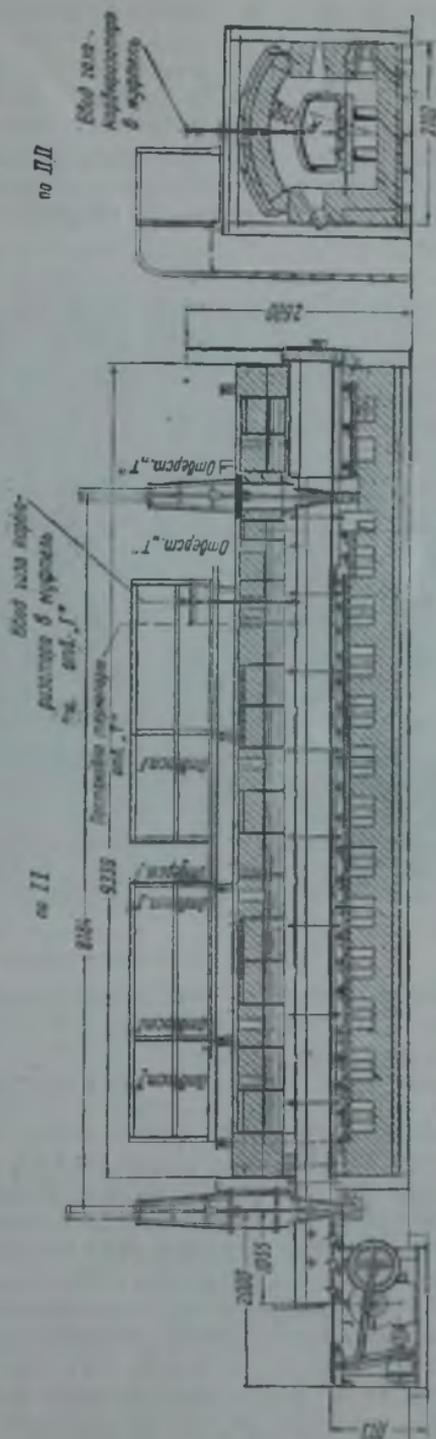
Для нормального протекания процесса требуется известное соответствие между скоростью образования углерода из газовой фазы и скоростью диффузии.

При цементации твердым карбюризатором основным реагентом является CO . Поэтому требуется создание условий для непрерывного образования новых порций CO , что достигается добавкой катализаторов (сода, поташ, углекислый барий).

Действие катализатора в процессе науглероживания объясняется следующей химической реакцией, происходящей при нагреве:



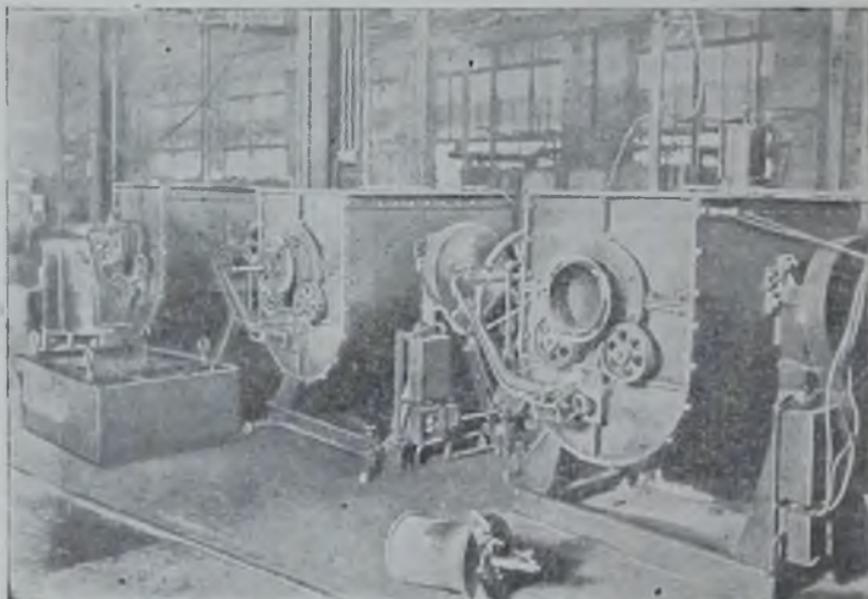
Образующийся при этом углерод диффундирует в



Фиг. 24. Механизированная муфельная печь периодического действия для газовой цементации.

сталь, а CO_2 при взаимодействии с углем восстанавливается в CO .

Если скорость выделения углерода значительно превышает скорость диффузии, то часть углерода выделяется на деталях в виде инертного сажистого осадка, а в поверхностном слое образуется зона с высокой концентрацией углерода. При этом образуется нежелательная структура — перлит + цементитная сетка, расположенная по границам зерен первичного зерна аустенита.



Фиг. 25. Ретортные печи для газовой цементации.

Выделяющийся газ CO нарушает условия равновесия системы газов CO и CO_2 , что приводит к образованию CO_2 с выделением свободного углерода



Образовавшаяся окись углерода с Na_2O дает вновь Na_2CO_3 по реакции $\text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3$, и процесс повторяется.

При газовой цементации применяются газы или газовые смеси, содержащие предельные и непредельные углеводороды, а также CO . Диссоциация этих газов при температурах цементации приводит к выделению углерода, диффундирующего в сталь. Необходимо отметить, что избыток углеводородов в цементирующем газе отрицательно сказывается на ходе насыщения углеродом стальных деталей, так как при интенсивном выпадении углерода в начальный момент образуется сажа, коксующаяся в виде плотной корки на поверхности деталей и замедляющая или практически совсем прекращающая процесс науглероживания

При цементации окисью углерода скорость диффузии углерода в железо растет быстрее с подъемом температуры, чем скорость распада окиси углерода, поэтому поверхность изделий получается чистой и светлой, так как никакого отложения сажи не происходит.

Интенсивность насыщения углеродом в различных газовых средах наглядно иллюстрируется диаграммой, изображенной на фиг. 26.

Метан и этилен цементируют интенсивно и дают заэвтектическое содержание углерода в поверхностном слое, с резким переходом, особенно при высоких температурах цементации. Из сказанного очевидно, что газовая среда должна выделять углерод в количестве, способном раствориться в стали. Отставание, а равно и значительное опережение скорости образования углерода от скорости диффузии нежелательны.

Для газовой цементации находят применение газы различного происхождения и состава.

Цементация газом пиролиз-крекинг керосина. Широкое применение находит газ, получаемый с помощью пиролиз-крекинга керосина.

При пиролизе (возгонке) керосина получается газ, богатый непредельными углеводородами C_nH_{2n} , из которых при температуре цементации весьма интенсивно выделяется углерод.

Вследствие этого часть пиролизного газа подвергается крекированию для понижения концентрации непредельных углеводородов и улучшения цементующей способности газовой смеси.

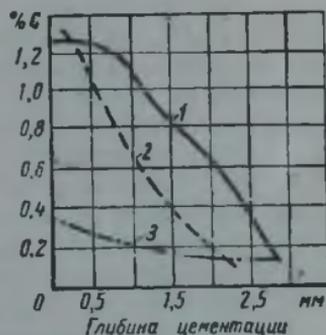
При цементации только пиролизным газом процесс идет медленно, цементированный слой получается неравномерно насыщенным и с низкой концентрацией углерода.

Результаты процесса зависят от температуры пиролиза, количества керосина, расходуемого в единицу времени, и скорости подачи газа в печь.

С повышением температуры пиролиза при одном и том же расходе керосина получается большой выход газа с меньшим содержанием углеводородов. Понижение температуры пиролиза или увеличение расхода керосина увеличивает количество углеводородов в газе и снижает выход газа из керосина.

Например, ведение пиролиза при температуре 800° дает газ следующего состава: $0,77\%$ CO_2 ; $26,43\%$ C_nH_{2n} ; $1,6\%$ CO ; 27% H_2 ; $40,5\%$ C_nH_{2n+2} ; $3,7\%$ $N_2 + O_2$.

При температуре выше 800° получается газ состава: $0,99\%$ CO_2 ; $4,61\%$ C_nH_{2n} ; $1,9\%$ CO ; 78% H_2 ; $12,5\%$ C_nH_{2n+2} ; 2% $N_2 + O_2$.



Фиг. 26. Цементирующее действие метана, этилена и окиси углерода:

1—5 л метана при температуре 1100° с выдержкой 3 часа; 2—2 л этилена при температуре 1100° с выдержкой 5 час.; 3—6 л окиси углерода при температуре выше 1100° с выдержкой 10 час.

В отработанном газе содержание C_nH_{2n} не должно превышать 1%. Если углеводородов больше, следовательно, температура пиролиза была низка или усиленно протекал плохо очищенный газ.

В такой же степени следует обращать внимание на количество кислорода в газовой смеси, содержание которого в отработанной смеси не должно превышать 1%. Если кислорода больше, то за счет окисления активного углерода образуется CO, что вредно влияет на ход процесса. Что касается азота, то его должно быть столько же, сколько и в рабочем газе или несколько меньше. Увеличение азота свидетельствует о неплотности заслонок или о трещинах в муфеле.

На основании анализа газа можно судить и о других отклонениях технологического процесса.

1. Увеличение CO, CO₂ и N₂ в пиролизном газе при уменьшении C_nH_{2n} указывает на прогар реторты, а увеличение C_nH_{2n} при нормальной температуре пиролиза — на увеличенный расход керосина и, наоборот, при нормальном расходе керосина — на низкую температуру пиролизного газа.

2. Если количество CO₂ в крекинг-газе больше нормы, а CO меньше, то это говорит о том, что температура крекинга упала ниже 920°. При нормальной температуре малое количество CO₂ будет указывать на уменьшение подачи пиролизного газа. Увеличение количества CO₂ при нормальной подаче пиролизного газа указывает на увеличение расхода воды.

На основании анализа газов, отходящих из муфеля цементационной печи, можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение содержания азота и уменьшение водорода указывает на то, что в муфель проник воздух.

2. Близость состава отработанного газа к рабочему газу указывает на то, что или температура печи низка, или расход газа слишком велик и реакция его распада не успевает закончиться.

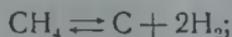
3. Наличие сажи указывает на нарушение требуемой пропорции между пиролиз- и крекинг-газами за счет увеличения количества пиролизного газа.

Так как всякий цементирующий газ при его нагреве будет стремиться к установлению равновесного состояния в контакте с металлом, то время пребывания цементирующего газа в печи должно быть ограничено.

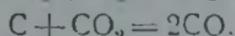
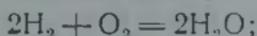
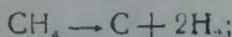
Скорость поступления газа и состав газа должны обеспечить при выбранной температуре активное цементирующее действие. Исходя из этого, установление скорости движения газа и, следовательно, правильное определение расхода газа имеет одно из самых существенных значений при установлении процесса. Отклонение от нормальной подачи газа в сторону уменьшения может привести к обеднению газов, к равновесному состоянию и даже к обратным реакциям, это влечет за собой ослабление цементации, полное ее прекращение или даже обезуглероживание.

Увеличение подачи газа приводит к большему отложению сажи.

Цементация светильным газом. В муфеле цементационной печи происходят следующие основные реакции:



Водород метана реагирует с кислородом и образует воду; углерод метана с уголекислотой дает окись углерода. Эти процессы протекают по следующим формулам:



Изменение состава газа в процессе цементации подтверждает следующий пример. Состав газа до ввода в печь был: 6—8% CO_2 ; 10—12% C_nH_{2n} ; 0,2—1,0% O_2 ; 10—17% CO ; 20—30% H_2 ; 10—25% $\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$; 20—30% N_2 .

Отработанный газ имел следующий состав: 0,2—1,0% CO_2 ; 0,2—0,8% C_nH_{2n} ; 0,2—1,0% O_2 ; 20—30% CO ; 30—50% H_2 ; 5—15% $\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$; 20—30% N_2 .

Уголекислота CO_2 реагирует с непредельными углеводородами и образует окись углерода и водород, поэтому в отработанном газе имеется больше окиси углерода и водорода, а содержание уголекислоты с 6—8% снижается до 0,2—1,0%.

Установлено, что если количество уголекислоты повышается до 8—10%, а количество непредельных углеводородов уменьшается до 6—7%, то длительность процесса удлинняется до 10—12 час. вместо 7—8 час. Это происходит вследствие того, что уголекислота задерживает распад непредельных углеводородов и избыток уголекислоты, реагируя с активным углеродом, препятствует нормальному ходу процесса цементации. Цементированный слой получается по насыщенности неудовлетворительным.

Не малое значение имеет также водород. Водорода в рабочем газе содержится около 20—30%, а в отработанном содержание его повышается до 30—50%. Он образуется при распаде углеводородов при высокой температуре и в присутствии углеводородов и окиси углерода обезвреживает действие уголекислоты и кислорода на железо, т. е. действует как катализатор.

При повышении температуры цементации количество водорода возрастает; при проникновении воздуха в муфель количество его уменьшается, так как с кислородом воздуха он образует воду.

Цементация метан газом (биологический газ). Для газовой цементации может быть использован газ, получающийся на станции биологической очистки сточных канализационных городских отходов.

Средний состав такого газа следующий: 35% CO_2 ; 1,3% O_2 ; 0,2% C_nH_{2n} ; 60% CH_4 ; 2,5% H_2 ; 1% N_2 .

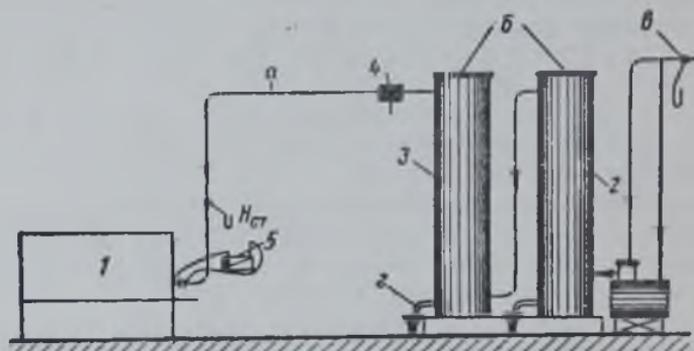
Отклонения от этих средних величин бывают весьма незначительные.

Для удаления избытка CO_2 производится промывка газа водой (растворяющей CO_2) путем пропускания его через скрубберы, заполненные кольцами Рашига, которые омываются водой. Промытый газ имеет состав: 10% CO_2 ; 2,5% O_2 ; 0,4% C_nH_{2n} ; 82,5% CH_4 ; 3,6% H_2 ; 1% N_2 .

Такой газ применяется для цементации без крекирования, что значительно упрощает процесс.

Схема промышленной установки для промывки водой изображена на фиг. 27.

Процесс промывки газа происходит следующим образом: газ поступает в первый скруббер, где начинается поглощение CO_2 водой, поступающей в верхнюю часть скруббера и стекающей по кольцам Рашига. Газ поднимается кверху и далее по трубо-



Фиг. 27. Схема отмывки газа метана от CO_2 водой:

1 — печь; 2, 3 — скрубберы; 4 — водоотделитель; 5 — тягомер.
а — промытый метан; б — холодная вода; в — сырой метан, г — использованная вода.

проводу попадает в нижнюю часть второго скруббера. Для сушки газа на трубопроводе, идущем от скрубберов к печи, устанавливается водоотделитель.

При промывке содержание кислорода увеличивается, этому способствует большая поверхность колец Рашига, омываемая водой. Увеличение количества кислорода связано с повышением расхода воды и одновременно со снижением углекислоты, поэтому необходимо допускать некоторое оптимальное содержание углекислоты в газе практически до 10%.

С увеличением в цементирующем промытом газе CO_2 и O_2 уменьшается глубина слоя и ухудшается однородность структуры цементированного слоя.

Для крекирования при температуре 750—800° может быть использована пиролизная установка. Состав крекированного газа при этом получается следующий: 3,5% CO_2 ; 0,5% O_2 ; 15% CO ; 33% H_2 ; 45% CH_4 ; 3% N_2 .

Эти данные показывают, что кислорода получается вполне допустимое количество, а содержание CO_2 , CO и H_2 более благоприятно для цементации, нежели в сыром промытом газе. Количество сажи, выделяющейся при цементации на поверхности деталей, также снижается, так как часть метана разлагается при крекинге.

Для промывки 1 м^3 газа требуется 2—3 м^3 воды.

Цементация в муфельной печи при температуре 930° промытым газом, богатым метаном, за 12 час. дает цементированный слой глубиной 1,0—1,1 мм.

Та же глубина слоя получается при цементации крекированным, предварительно промытым газом за 9 час.

Таким образом некоторое ускорение процесса за счет крекинга компенсируется сокращением длительности процесса цементации на 25%.

Цементация природным газом (саратовским газом). Для цементации природный газ, содержащий 90—96% CH_4 , применяется как непосредственно, так и в крекированном виде. При крекировании газ разбавляется воздухом.

Обычно отношение воздуха к природному газу берется в пропорции от 5:1 до 10:1.

Температура крекирования равна 950° . После крекинга газ очищается водой, хлористым кальцием и сушится, проходя через опилки в скрубберах (фиг. 28).

Перед вводом в цементационную печь крекированный газ смешивается с сырым газом в соотношении 5:1.

Метан разлагается на углерод и водород по формуле:



Взаимодействие метана со сталью может быть представлено также следующей формулой:



Состав саратовского газа колеблется в пределах: 92—96% CH_4 ; 1—8% N_2 ; 0,2—1% O_2 ; 0,8—2% C_nH_{2n} ; 0,4—7% H_2 ; 0,4% CO_2 .

Опыт работы показал, что цементацию с применением саратовского газа можно вести без крекирования.

Отходящий газ имеет средний состав: до 1% CO_2 ; 0% C_nH_{2n} ; 0,5% O_2 ; 1—1,5% CO ; 45—65% H_2 ; 3—12% N_2 ; 22—50% CH_4 + C_2H_6 .

Давление газа в сети перед вводом в печь должно быть около 100 мм вод. ст., подается в час газа 5 м^3 при выпуске около 200 кг изделий с глубиной слоя 1,0 мм.

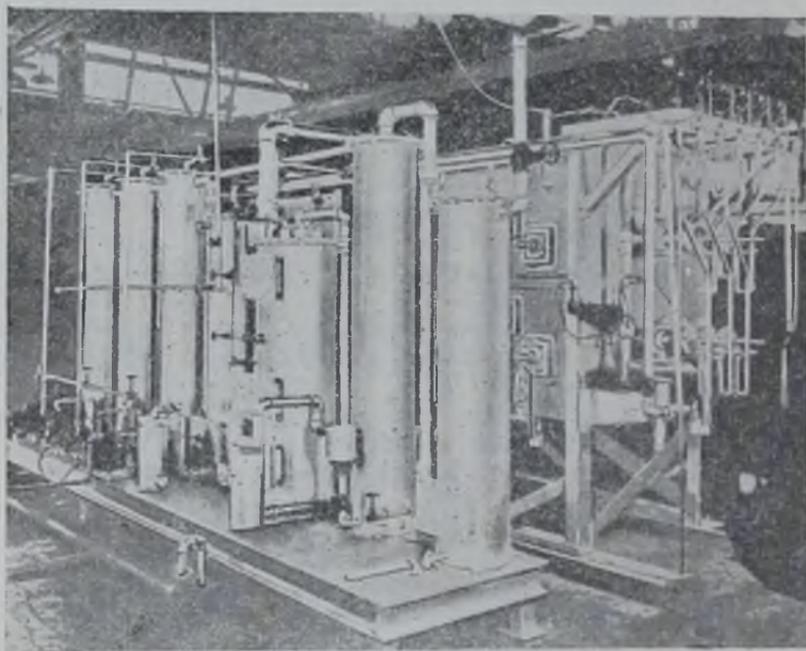
Ведение процесса на саратовском газе значительно удешевляет стоимость цементации.

На фиг. 29 изображена агрегатная установка, спроектированная для работы на саратовском газе. Она состоит из двухрядной безмуфельной газовой цементационной печи (фиг. 30), за-

калочного бака, моечной машины, отпускной печи и охлаждающей камеры.

Печь нагревается при помощи системы радиационных труб. Топливом для обогрева служит также саратовский газ калорийностью 8350 кал. м³, расход топлива 50 м³ в час. Производительность печи при цементации деталей на глубину около 1 мм составляет 450 кг, а при цементации на глубину около 1,5 мм—250 кг в час.

Для крекирования служит специальная установка, состоящая из генератора и скрубберов для очистки газа, схема которой



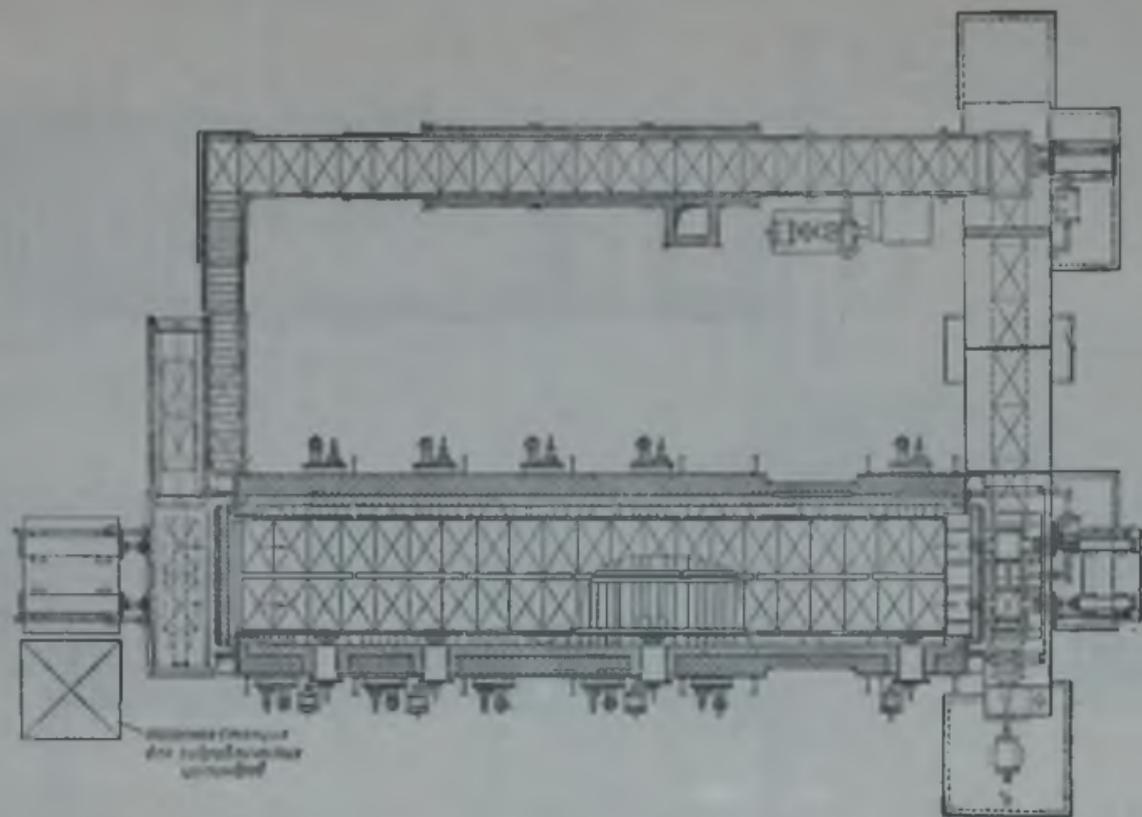
Фиг. 28. Общий вид установки для приготовления газа.

изображена на фиг. 31. Установка для газовой цементации может быть расположена непосредственно в потоке механического цеха.

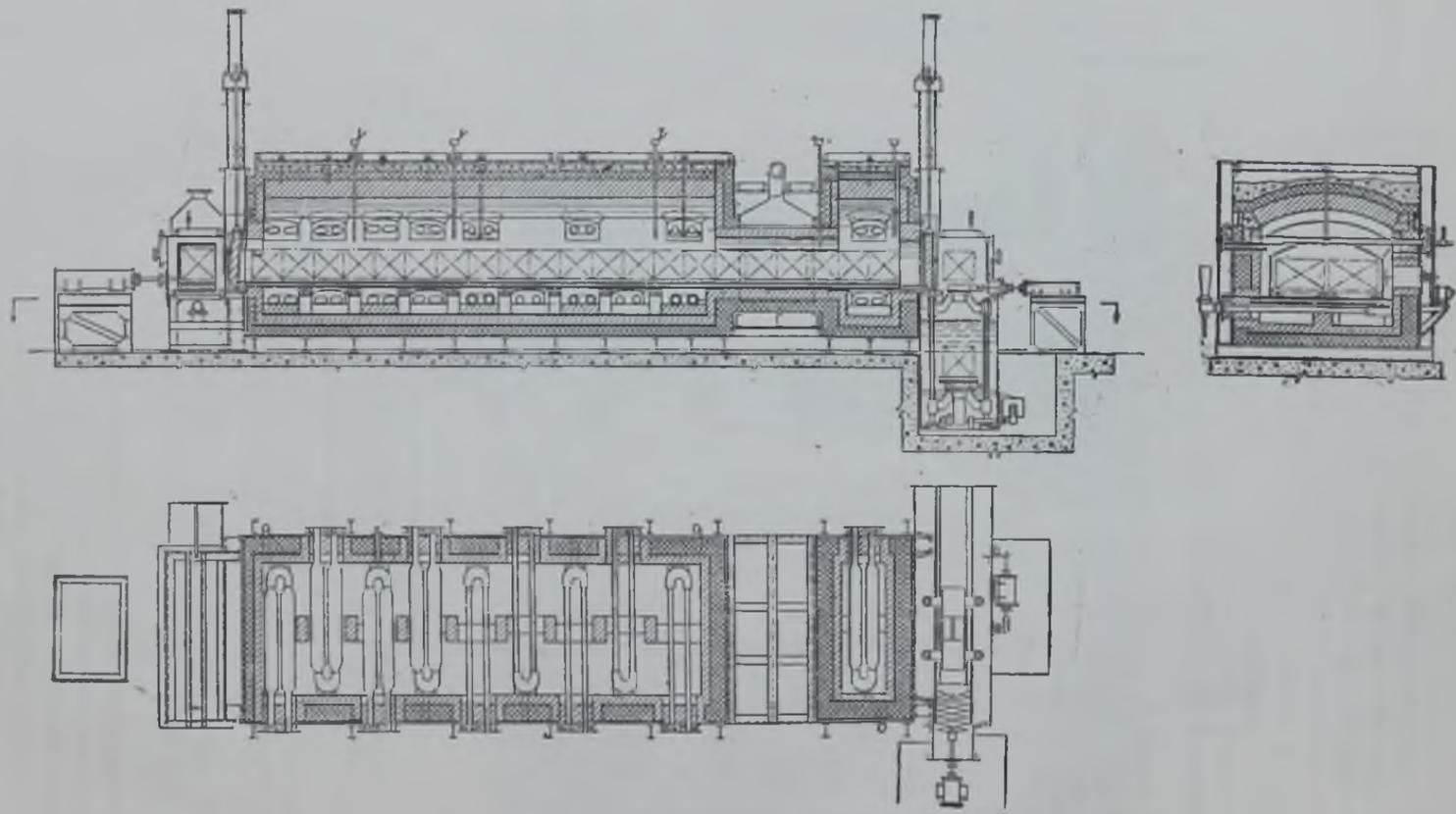
Отсутствие жароупорного муфеля значительно удешевляет первоначальную стоимость установки и эксплуатационные расходы.

Из печей стационарных лучшей является шахтная печь, которая может работать как на газе, так и на жидком карбюраторе, например, на бензоле.

Получение пиролиз-крекинг газа керосина (схема пиролиз-крекинг установки изображена на фиг. 32) осуществляется в установке, состоящей из печи (фиг. 33) и очистного агрегата скруббера (фиг. 34). Печь имеет шесть реторт, расположенных в два яруса по три реторты в каждом ярусе (фиг. 35).

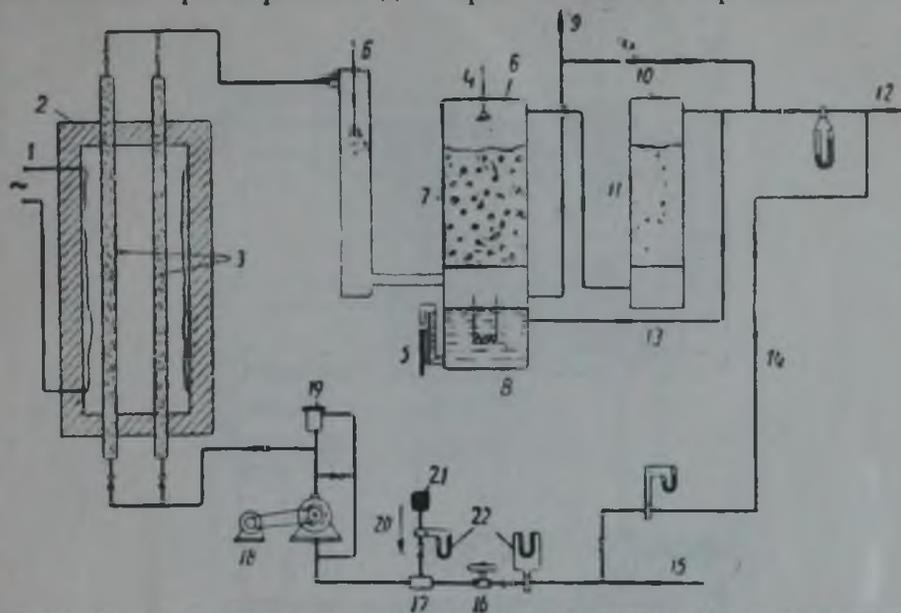


Фиг. 29. Эскиз агрегата установки для цементации на саратовском газе.



Фиг. 30. Двухрядная газовая цементационная безмуфельная печь.

Нижние три реторты предназначены для получения пиролизного газа и три верхних—для крекингования пиролизного газа.



Фиг. 31. Схема установки для приготовления газового карбюратора из естественного газа:

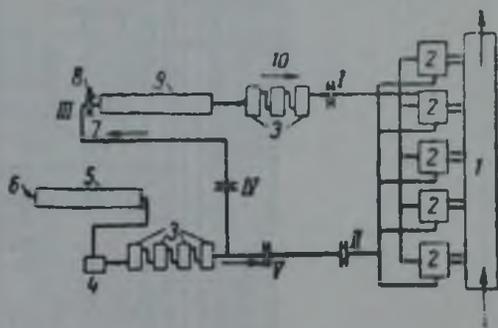
1 — электрообогреватель; 2 — крекинг-камера; 3 — катализатор; 4 — подача воды; 5 — спуск воды; 6 — скруббер; 7 — кокс или кольца Рашига; 8 — гидравлик; 9 — подача в свечу; 10 — осушитель; 11 — древесные стружки; 12 — подача в печь; 13 — байпас; 14 — добавка сырого газа; 15 — подача газа; 16 — регулятор давления газа; 17 — смеситель; 18 — воздуходувка; 19 — перепускной клапан; 20 — воздух; 21 — воздушный фильтр; 22 — измерение расхода газа и воздуха.

Реторты изготовляются из специальной жароупорной стали состава: 0,3—0,5% С; 17—18% Cr; 35—40% Ni; 0,3—1,1% Si.

Пиролиз-процесс. Керосин для пиролиз-процесса поступает из хранилища в бак, установленный над пиролизной печью. Бак с керосином размещен в водяном баке с непрерывно циркулирующей водой. В реторты керосин поступает через краны, отрегулированные на требуемый расход. Размер реторт: длина 3850 мм и внутренний диаметр 75 мм. При нормальном ведении процесса из 1 л керосина получается 0,7—0,8 м³ пиролизного газа.

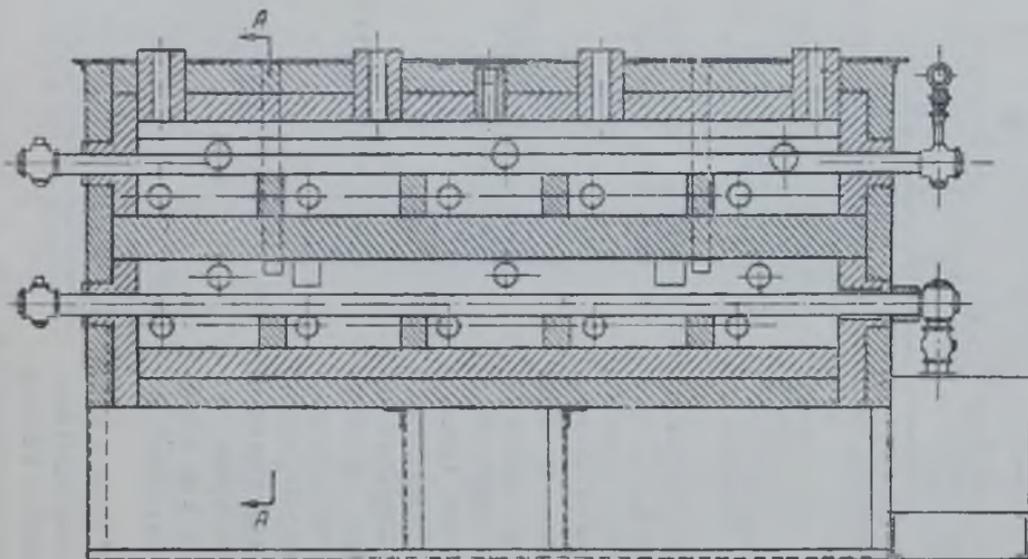
Для муфельной печи с размерами муфеля: длина 9460 мм, ширина 790 мм и высота 420 мм

требуется 2,2 м³ пиролизного и 3,3 м³ крекированного газов. Нагревать реторты рекомендуется светильным газом или элект-



Фиг. 32. Схема пиролиз-крекинг-установки:

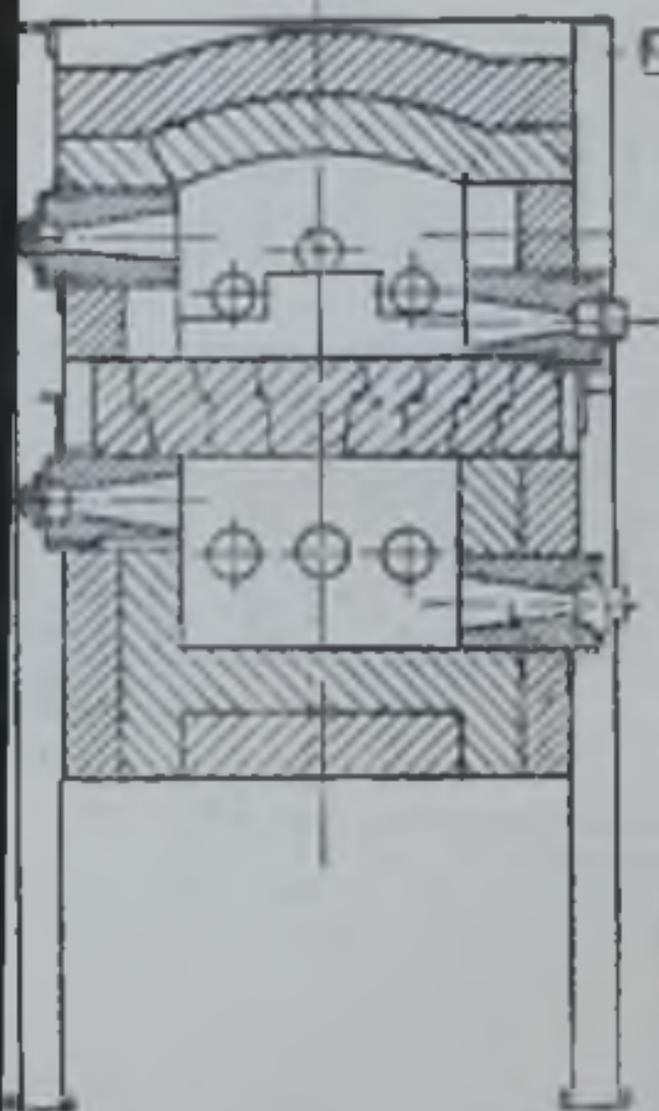
1 — муфель печи; 2 — смесители и вводы в муфель; 3 — скрубберы; 4 — затвор; 5 — реторта пиролиза; 6 — подача керосина; 7 — подача пиролизного газа на крекингование; 8 — подача воды; 9 — реторта крекинга; 10 — подача крекинг-газа; I — шайба подачи крекинг-газа в муфель; II — шайба подачи пиролизного газа в муфель; III — шайба на крекинг-реторте; IV — шайба на линии отбора V — шайба подпора линии отбора.

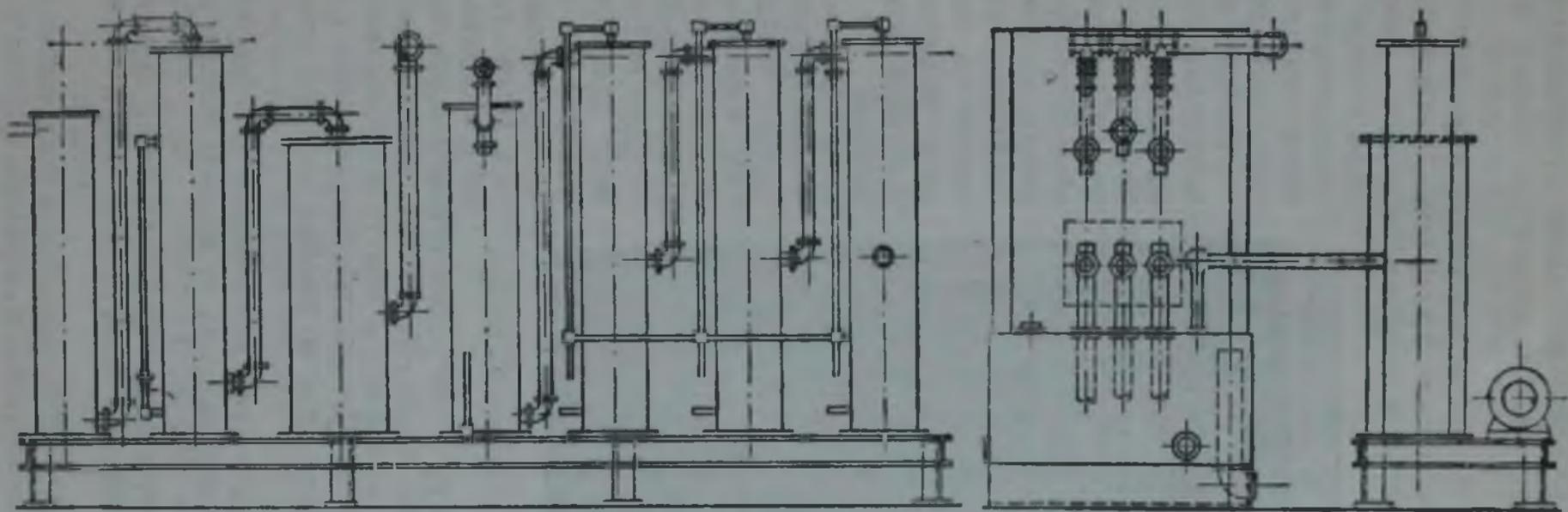


Фиг 33. Печь для крекинг-процесса.

no RA

FIDE



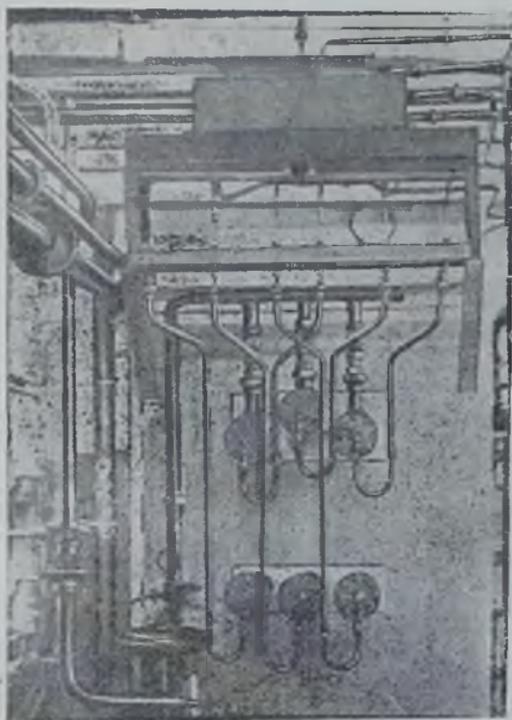


Фиг. 34. Пиролизная установка — скруббера.

тричеством. Реторты для пиролиза имеют две зоны нагрева температура первой зоны 650°C на длине 2550 мм со стороны гидравлического затвора; температура второй зоны 830°C на остальной длине.

Контролируется температура в двух точках.

При пиролизе керосина продуктами распада керосина являются: газ, жидкость и твердые частицы. Твердые частицы осаждаются в ретортах, вследствие чего их необходимо очищать не реже чем через каждые 4 часа.



Фиг. 35. Общий вид расположения реторт.

Из трех реторт одновременно работают две. Одновременная работа только на двух ретортах и наличие одной запасной дает возможность производить периодическую очистку без остановки процесса. Жидкие продукты извлекаются из газа промывкой водой и минеральным маслом. Пиролизный газ представляет смесь следующего состава: $40-55\%$ $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$; $20-23\%$ C_nH_{2n} ; $19-22\%$ H_2 ; $5-6\%$ CO . Смесь эта вследствие большого содержания C_nH_{2n} непригодна для цементации.

Для получения обедненной непредельными углеводородами смеси во избежание обильного выделения сажи при цементации 60% пиролизного газа подвергаются крекингу, а 40% поступают через смеситель в цементационную печь. Пиролизный газ, полученный от разложения керосина при температуре 830°C и подающийся для цементации, по выходе из реторт поступает в бак с водой. В баке происходит промывка газа и первая очистка его от смолистых веществ.

После промывного бака пиролизный газ поступает в очистную систему для освобождения от жидких смол и конденсированных паров.

Очистной агрегат состоит из двух систем: одна предназначена для очистки пиролизного газа, другая—для очистки крекированного газа.

Система для очистки пиролизного газа имеет четыре скруббера. Первые три наполнены соляровым маслом и коксом, который засыпается на металлическую решетку, укрепленную на высоте

500 мм от дна скруббера. Четвертый скруббер наполнен только древесными стружками, лежащими также на металлической решетке.

Газы, поступающие снизу первого скруббера, проходят последовательно через три скруббера, встречая в каждом из них на своем пути вверх масляный дождь, распыляемый специальными форсунками, укрепленными на крышке. По выходе из третьего скруббера газы поступают в низ четвертого, где, проходя через стружки, в достаточной степени освобождаются от влаги.

Маслопровод скрубберов сделан так, что взамен отработанного масла в первый скруббер может быть подано масло из третьего, который потом наполняется свежим маслом.

Расход промывного масла составляет 0,4 л на 1 м³ пиролизного газа. Масло подается в скруббер индивидуальными насосами. Давление на манометрах очистной системы пиролизного газа должно быть 120—180 мм вод. ст.

Крекинг-процесс. Крекинг-процесс производится в трех верхних ретортах печи (см. фиг. 35), которые работают одновременно.

В каждую из реторт вставляются железные трубки длиной около 300 мм для создания дополнительной поверхности и улучшения смешения газов и паров воды.

Крекинг-процесс производится при температуре 960—970°, при которой нагревается смесь пиролизного газа с парами воды. Температура контролируется термопарой.

Вода подается в трубы так же, как и керосин в пиролизной системе. Расход воды составляет 0,9 л в час при расходе 7,2 л керосина.

Крекированный газ из трех реторт поступает в общий газопровод и входит в систему очистного агрегата, предназначенного для очистки газа. Система эта состоит из трех скрубберов, через которые газ проходит последовательно.

В первом скруббере газ проходит через водяной душ, во втором через насыщенный раствор хлористого кальция и в третьем — через древесные стружки.

После выхода из третьего скруббера газ подается по газопроводу непосредственно в смеситель, а из него в муфель газовой цементационной печи.

Давление в очистных скрубберах крекированного газа поддерживается на уровне 70—80 мм вод. ст.

Состав крекированного газа следующий: 0% C_nH_{2n}; 0% O₂; 10—17% C_nH_{2n+2}; 16—20% CO; до 2% CO₂; 60% H₂; остальное N₂.

Цементирующий газ. Цементирующий газ, поступающий в муфель газовой цементационной печи, представляет смесь пиролизного газа с крекированным. Смешение производится в специальных смесителях.

Состав цементирующего газа, получающегося после смешения, следующий: 2,0—5,0% C_nH_{2n}; 12,0—16,0% CO; 10—15% CH₄; 0,0—0,5% O₂; 66—70% CO₂; остальное N₂.

Контроль состава газов—пиролизного, крекированного и цементирующего—производится раз в смену.

Дозировка газа на крекинг и на печь, а также распределение его по зонам печи производятся при помощи калиброванных отверстий в шайбах, размеры которых указаны в табл. 13 и 14.

Таблица 13
Калиброванные шайбы на крекинг-пиролизной установке

Место установки	Размер в мм
Крекинг-газ перед муфелем	9
Пиролизный газ перед муфелем	9
Распределение пиролизного газа по крекинг-ретортам . .	3,5 (3 шт.)
Отбор пиролизного газа на крекинг	5
Отбор пиролизного газа перед вводом на крекинг .	5,3

Печь для непрерывной газовой цементации. Печь для непрерывной газовой цементации состоит из трех камер: загрузочной, цементационной и разгрузочной.

Загрузочная камера изготовлена из железа и не футерована. Внутри камеры установлены четыре газовые горелки, горение которых, поглощая кислород воздуха, уменьшает силу вспышки газов, выходящих из цементационной камеры

при открывании заслонки муфеля, и подсушивает влажные детали.

Таблица 14
Распределение газа по вводам в цементационный муфель

№ вводов	Пиролизный газ (40%)			Крекированный газ (60%)			Соотношение крекированного и пиролизного газа	
	диаметр отверстия в мм	расход газа в м ³ /час	соотношение по зонтам в %	диаметр отверстия в мм	расход газа в м ³ /час	Соотношение по зонтам в %	% пиролизного газа	% крекированного газа
1	2,3	0,340	16,6	3,2	0,793	26,0	30	70
2	2,7	0,453	22,2	3,0	0,680	22,2	40	60
3	3,0	0,566	27,8	2,7	0,566	18,5	50	50
4	2,7	0,453	22,2	3,0	0,680	22,2	40	60
5	1,9	0,227	11,2	2,1	0,340	11,1	40	60

Цементационная камера представляет собой муфель, состоящий из восьми секций, соединенных между собой болтами и сваренных газонепроницаемым швом (фиг. 36)¹.

¹ В практике находят применение также муфели, составленные из сварных секций без болтового крепления.

Секция муфеля и болты крепления изготавливаются из жароупорного сплава, содержащего 35—40% Ni; 17—18% Cr; остальное—железо, углерод, кремний и марганец.

С каждого конца муфель закрывается плотно пригнанными заслонками, приводимыми в действие воздушным клапаном. Муфель загружается деталями на поддонах с помощью толкателя. Находящаяся внутри предварительной камеры толкательная головка, делая движение вперед два раза, вводит поддон в цементационный муфель. Толкатель не может начать работать, если загрузочная заслонка не открыта. Закрывается загрузочная заслонка, и через определенный интервал открывается заслонка



Фиг. 36 Муфель для печи непрерывной газовой цементации.

перед разгрузочной камерой. Поддон из цементационной камеры вытягивается рабочим в разгрузочную камеру, затем, в зависимости от принятого технологического процесса, детали подвергаются или нормализации, или закалке. Подъем и опускание заслонок и движение толкателя производятся автоматически от моторов электромагнитными кранами.

Температура внутри цементационной камеры контролируется термомпарами, установленными сверху муфеля; процесс горения регулируется автоматически. Максимально допустимая температура в муфеле 970° С.

Разгрузочная камера отделяется от цементационного муфеля заслонкой и имеет для нагрева самостоятельные форсунки. Наличие этой камеры дает возможность получить для цементованных деталей необходимую для закалки температуру.

По достижении требуемой закалочной температуры подступленный поддон с деталями выдвигается из камеры и устанавливается на механизированный стол закалочного бака, который

погружается вместе с находящимся на нем поддоном с деталями в закалочный бак.

Ведение процесса цементации. Полученный в пиролиз-крекинг установке газ подается по газопроводу к смесителям, расположенным на своде муфеля. В муфель смешанный пиролиз-крекинг газ поступает в пяти пунктах в количествах, указанных в табл. 14.

Неравномерное распределение газа по зонам объясняется тем, что в первой зоне происходит подогрев деталей, во второй и третьей зонах происходит энергичный процесс насыщения углеродом, в четвертой зоне — диффузия карбидов железа с периферии к центру и в пятой зоне — доводка глубины слоя до заданной величины.

В этой зоне совершенно необходимо, чтобы скорость образования карбидов на поверхности была равна скорости диффузии, так как в противном случае образуется карбидная (цементитная) сетка.

В соответствии с происходящими в каждой зоне процессами температура в первых трех зонах устанавливается равной 930°, в четвертой и пятой зонах — 900°.

Продолжительность цементации в зависимости от глубины слоя следующая: при глубине слоя 0,5—0,8 мм продолжительность 6—7 час., при глубине слоя 0,8—1,0 мм — 7—9 час., при глубине слоя 1,0—1,2 мм — 9—11 час.

На результаты цементации влияют загрузка печи и температура. С увеличением загрузки глубина цементации уменьшается, при повышении температуры глубина увеличивается, что характеризуется данными табл. 15.

Таблица 15

Зависимость глубины цементации от величины загрузки и температуры

Величина загрузки в % от объема муфеля	Количество газа в л/час	Продолжительность нагрева в час.	Глубина слоя в мм при температуре					
			850°		900°		950°	
			общая	эвтектондная	общая	эвтектондная	общая	эвтектондная
10	50	5	0,7	*	1,1	0,6	1,5	0,8
30	50	5	0,6	**	1,0	0,35	1,2	0,5

Данные, приводимые в табл. 16, показывают, что с увеличением подачи цементирующего газа глубина цементированного слоя увеличивается. Эти данные получены на основе экспериментов, в которых одни образцы цементировались только в одной

* Насыщение 0,70% С.

** Насыщение 0,40% С.

зоне печи в продолжение 6 час., а другие образцы находились последовательно в каждой из трех зон печи по 2 часа.

Таблица 16

Количество по- даваемого газа в л/час	Первая зона — температура 850°		Вторая зона — температура 900°		Третья зона — температура 950°		Цементация с пере- движением образца	
	Глубина слоя в мм							
	обще- го	эвтек- тоидного	обще- го	эвтек- тоидного	обще- го	эвтек- тоидного	обще- го	эвтектоидного
3	1,2	0,6	1,1	0,4	1,0	0,3	1,0	Слабая концен- трация
10	1,2	0,6	1,5	0,7	1,3	0,6	1,5	*
20	1,1	0,6	1,55	0,9	1,5	0,9	1,6	**
25	1,0	0,6	1,6	0,9	1,65	0,9	1,6	***

Исследование микроструктур показало, что при подаче газа 25 л/час в цементированном слое появляется цементитная сетка. Такая скорость подачи газа является максимальной.

Постепенное увеличение подачи газа снижает глубину цементации в первой зоне за счет утолщения налета сажи на образце и увеличивает глубину цементации во второй и третьей зонах.

Таблица 17 составлена по материалам исследования результатов цементации в трехзонной лабораторной печи с диаметром муфеля 45 мм. Продолжительность цементации образцов в каждой зоне была установлена в 6 час., а для образца, передвигавшегося из зоны в зону: в первой зоне 2 часа, во второй зоне 2 часа и в третьей зоне 2 часа.

Таблица 17

Количество газа в л/час	Первая зона			Вторая зона			Третья зона			Цементация с пере- движением образцов	
	Температура в °С	Глубина слоя в мм		Температура в °С	Глубина слоя в мм		Температура в °С	Глубина слоя в мм		Глубина слоя в мм	
		общая	эвтек- тоидная		общая	эвтек- тоидная		общая	эвтек- тоидная	общая	эвтек- тоидная
20	900	1,2	0,2	900	1,6	0,8	900	1,2	0,5	2,2	0,6
20	850	0,7	0,35	850	1,7	1,0	950	1,6	0,9	1,8	1,1
25	850	0,8	0,4	950	1,7	1,0	950	1,6	0,9	1,5	0,8

* Насыщение 0,6% С.

** Насыщение 0,8% С.

*** Насыщение 0,85% С.

Ретортная печь для цементации. Для газовой цементации автомобильных деталей применяются печи и с вращающейся ретортой диаметром 400 мм (фиг. 25). Отличительной особенностью цементации в этой печи является большая скорость процесса.

Примером этому могут служить приводимые ниже данные о цементации шестерен и нормалей.

1. Цементация шестерен коробки передач при одинаковом составе газа и весе загруженных деталей дала результаты в отношении глубины слоя, приведенные в таблице 18.

Таблица 18

Глубина цементации в зависимости от времени

Температура цементации в °С	Общее время цементации с прогревом в час. мин.	Общая глубина слоя в мм
910	2.45	0.8—0.9
910	3.30	1.0—1.15
910	4.50	1.5

Время прогрева изделий до температуры цементации в среднем составляло около 30—45 мин.

2. Загрузка нормалей производилась непосредственно в реторту; температура цементации 910°. Полученные результаты цементации приведены в табл. 19.

Необходимо иметь в виду, что повышенная скорость прохождения газа приводит к образованию цементитной сетки.

Цементация в шахтной печи. Для газовой цементации применяются шахтные печи. Печи эти имеют небольшую

рабочую камеру, в которую детали загружаются в специальных корзинах.

В качестве карбюризатора может быть использован любой газ, применяемый для цементации в камерных печах, а также жидкости (бензол, керосин), которые каплями в определенной дозировке подаются в рабочее пространство пиролизной печи, или непосредственно в камеру цементационной печи, испаряются там и образуют газовую среду, богатую углеводородами.

На фиг. 37 изображена схема шахтной установки печи используемой для цементации разнообразных деталей при помощи газа, богатого метаном.

Таблица 19

Результаты цементации нормалей

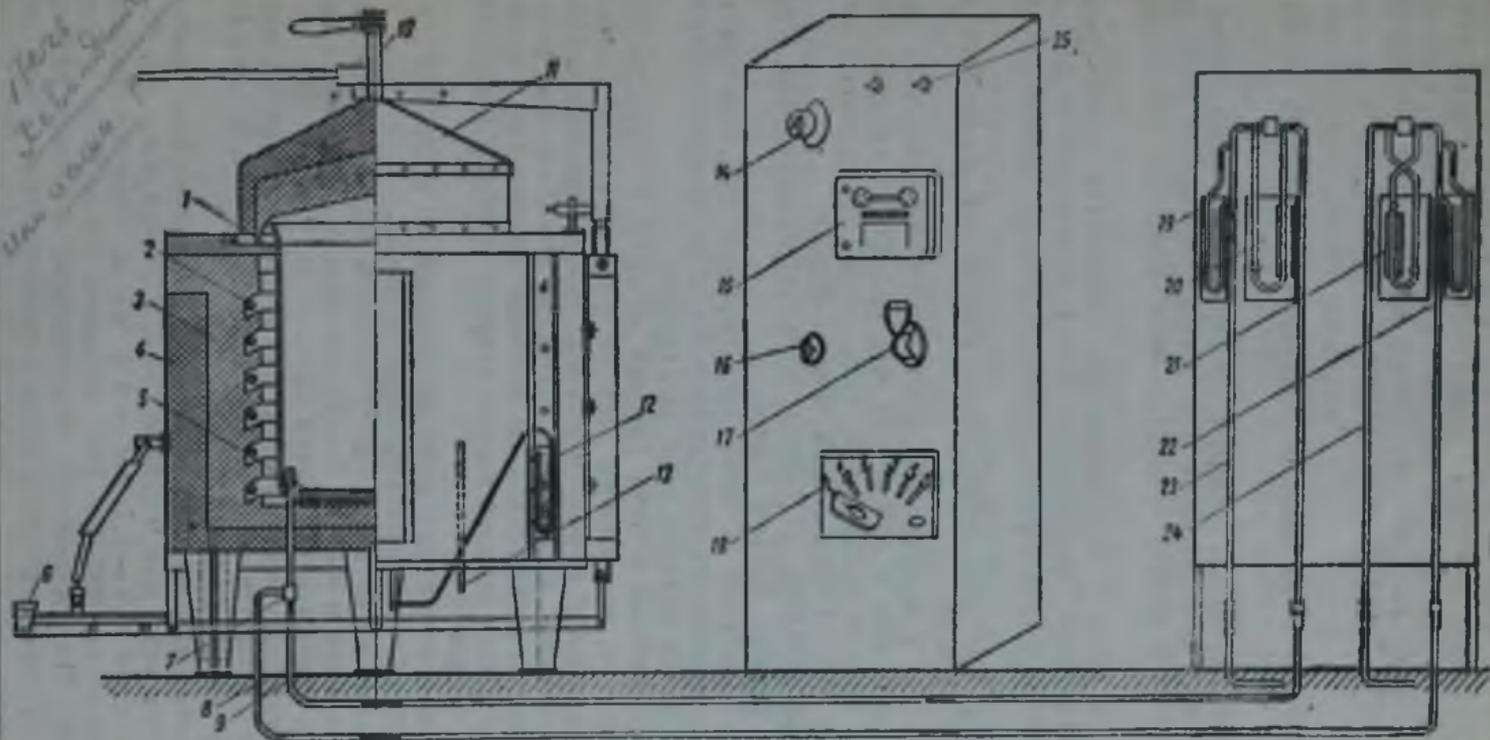
Температура в °С	Время прогрева в час. мин.	Время цементации в час. мин.	Глубина слоя в мм		Загрузка в кг
			общего	эвтектичного	
950 ± 10	1. 40	2. 50	1,1—1,2	0,6—0,8	120
930 ± 10	— 45	2. 15	1,1—1,2	0,7—0,8	80

рабочую камеру, в которую детали загружаются в специальных корзинах.

В качестве карбюризатора может быть использован любой газ, применяемый для цементации в камерных печах, а также жидкости (бензол, керосин), которые каплями в определенной дозировке подаются в рабочее пространство пиролизной печи, или непосредственно в камеру цементационной печи, испаряются там и образуют газовую среду, богатую углеводородами.

На фиг. 37 изображена схема шахтной установки печи используемой для цементации разнообразных деталей при помощи газа, богатого метаном.

Проект
 В. В. В. В. В. В.
 1950



Фиг. 37 Шахтная печь для газовой цементации:

1 — жароупорный муфель; 2 — нагревательный элемент; 3 — шамотный кирпич; 4 — теплоизоляция; 5 — жароупорная решетка; 6 — педаль для подъема крышки; 7 — смеситель газа; 8 — газопровод светильного газа; 9 — газопровод метана; 10 — труба отходящего газа; 11 — крышка печи; 12 — манометр давления газа в печи; 13 — трубка для термопары; 14 — амперметр; 15 — терморегулятор; 16 — выключатель питания терморегулятора; 17 — общий рубильник; 18 — переключатель напряжения; 19 — манометр давления метана; 20 — тягомер расхода светильного газа; 21 — тягомер расхода светильного газа; 22 — манометр давления светильного газа; 23 — манометр давления метана из сети; 24 — труба подвода светильного газа из сети; 25 — контрольные лампочки.

При работе на жидком карбюризаторе, вводимом непосредственно в рабочую камеру, цементация в шахтных печах, особенно с бензолом, идет при относительно большой скорости и дает однородные результаты. Ниже приводится инструкция ведения процесса газовой цементации в шахтной печи.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ВЕДЕНИЮ ЦЕМЕНТАЦИИ В ШАХТНОЙ ПЕЧИ

Подготовка печи. 1. Перед включением печи необходимо прочистить находящийся под печью смеситель газа, проверить газопровод и залить подкрашенным спиртом тягомеры и манометры.

2. Включить печь и на пирометре установить контрольную стрелку на заданную температуру. Время, необходимое для достижения температуры 930°C , равно 6 час. с момента пуска печи.

3. Закрыть крышку печи после включения и плотно засыпать борта песком.

4. Пустить газ в муфель при достижении температуры в печи 750° , создав давление в ней 2—10 мм вод. ст. Давление в печи регулировать краном отходящего газа. При пуске газа в печь открыть кран отходящего газа и зажечь факел.

Цементация деталей. 1. Расход цементирующего газа (саратовский газ) должен быть 6 л/мин.

2. Загрузку деталей в печь производить при температуре $930 \pm 10^{\circ}$, предварительно отрегулировав состав цементирующего газа. При загрузке деталей печь выключить.

3. Вес загруженных в печь деталей должен соответствовать установленному по технологии. Детали укладывать на соответствующих для каждой приспособлениях; при загрузке на дно печи засыпать древесный уголь в количестве 1—2 кг. На детали класть два образца из той стали, из которой изготовлены детали.

4. После загрузки деталей плотно закрыть крышку и засыпать борта сухим песком.

5. Поднять температуру печи до рабочей, т. е. до 930° , для чего включить печь на максимальную ступень.

6. После включения печи отрегулировать подачу газа в печь и создать давление в муфеле 2—10 мм вод. ст. Давление в печи регулировать краном отходящего газа.

7. По достижении температуры 930°C сделать анализ отходящего газа и довести его состав до требуемого. Анализ газа производить через каждые 1,5 часа.

Время цементации деталей с момента достижения температуры $930 \pm 10^{\circ}$ составляет: при глубине слоя 0,7—0,9 мм—3 ч. 30 м; при глубине слоя 0,9—1,1 мм—4 ч. 30 м. При охлаждении печи с температуры 930 до 450° подавать газ в печь до температуры 700° . По достижении температуры в печи 700° закрыть кран отходящего газа и подачу свежего газа в печь прекратить.

ГАЗОВОЕ ЦИАНИРОВАНИЕ

Газовое цианирование заключается в одновременном насыщении поверхности детали углеродом и азотом. Процесс осуществляется путем выдержки деталей при заданной температуре в газовой среде, представляющей смесь цементирующего газа и диссоциированного аммиака.

В качестве цементирующего газа применяются те же газы, что и при газовой цементации. Азотирующим газом служит аммиак, который при температуре газового цианирования диссоциирует с выделением водорода и атомарного азота; последний диффундирует в сталь, образуя нитриды железа и специальных элементов.

Газовое цианирование конструкционных сталей ведется при температуре 800 — 850°. Такой процесс получил название высокотемпературного газового цианирования в отличие от газового цианирования при температурах ниже A_{c1} (560 — 570°), нашедшего широкое применение для обработки инструментальной быстрорежущей стали и ее заменителей. Глубина цианированного слоя при выдержке 1 час. получается 0,1 — 0,15 мм. После окончания цианирования непосредственно из печи детали закаливаются в масле или в воде. Процесс газового цианирования в 1934 г. был исследован проф. А. Н. Минкевич и проф. В. И. Просвириным. Газовой средой при этом исследовании служила смесь аммиака и светильного газа следующего состава: 5 — 7% CO_2 ; 15 — 17% CO ; 20 — 25% CH_4 ; 25 — 30% H_2 ; 10 — 12% C_nH_{2n} ; 0,5% O_2 ; остальное N_2 .

После газового цианирования образцы, изготовленные из стали 40, закаливались при температуре 800° в масле. Результаты исследования приведены в табл. 20.

Таблица 20

Результаты исследования стали марки 40 после газового цианирования

Температура в °С	Расход светильного газа в л/мин	Твердость		Глубина слоя в мм
		до закалки HRC_{60}	после закалки HRC_{60}	
550	12,5	68	81	0,7
550	75	65	80	не выявлена
600	22	65	80	0,85
600	48	66	81	0,95
600	68	55	84	0,8
650	23	69	80	1,3
650	35	64	80	1,3
650	61	60	85	0,8
700	20	60	81	1,0
700	50	62	81	0,2
700	79	60	81	0,9

Эта работа показала, что и при температуре ниже точки A_{c1} нагрев смеси аммиака и светильного газа приводит к диффузии азота и углерода в сталь.

В цианированном слое, в зависимости от температуры процесса, соотношения цементирующего и азотирующего газов и других факторов получается ϵ -фаза, представляющая твердый раствор высокой концентрации азота в α -железе.

ϵ -фаза чрезвычайно хрупка. Снизить хрупкость слоя можно за счет уменьшения содержания аммиака в газовой смеси; аммиака допускается иметь не более 30%. В этом отношении процесс газового цианирования выгодно отличается от жидкого цианирования, где степень насыщения не может быть регулируема.

Опытами было установлено, что наиболее интенсивно процесс цианирования идет тогда, когда отношение суммы углеводородов к водороду в цементирующем газе равно 0,6. При увеличении этого отношения степень насыщения азотом уменьшается.

Структура поверхностного слоя, получающаяся при газовом цианировании, в основном определяется диаграммой Fe—N.

Стабильной фазой является γ -фаза при температуре выше 591°, представляющая собой твердый раствор азота в γ -железе. В зависимости от условий диффузии и наличия легирующих элементов в цианированном слое образуются в различных зонах различные фазы, зависящие от концентрации азота в данной зоне. Азот с рядом металлов (хром, вольфрам, молибден, железо, марганец, кремний и ванадий) образует нитриды. С никелем и кобальтом азот нитридов не образует.

По устойчивости нитридов металлы можно расположить в такой последовательности: Al, Ti, V, Cr, Mo, Mn, Fe. С железом азот образует нитриды: Fe₂N и Fe₄N.

Концентрация азота в поверхностном слое в обычных процессах азотирования зависит от степени диссоциации аммиака, а последняя — от температуры процесса.

По данным проф. Е. И. Конторовича, максимальное насыщение азотом, соответствующее химическому соединению Fe₂N, получается при температуре процесса 600—650° и степени диссоциации аммиака 40%.

При наличии в газовой фазе азота и водорода может также протекать реакция $N + 3H \rightarrow NH_3$, т. е. наблюдается деазотирование.

Скорость диффузии азота зависит также от степени устойчивости образующихся нитридов. С понижением устойчивости скорость диффузии нитридов облегчается. Поэтому, например, марганец способствует проникновению азота в более глубокие слои, так как нитриды марганца распадаются при температуре около 700°.

Рассмотрим теперь совместный процесс диффузии углерода и азота в железо.

Как указывалось при рассмотрении процесса цементации, оптимальным условием для насыщения твердого раствора углеродом является соответствие скорости выделения атомарного углерода из цементирующего газа скорости диффузии углерода. При рассмотрении процесса совместной диффузии азота и угле-

рода необходимо отметить аналогию в строении атомов этих элементов.

Установлено, что при наличии азотирующего газа скорость диффузии углерода возрастает как при высоких, так и при низких температурах. Это объясняется тем, что азотистое железо растворяет углерод при температурах чрезвычайно низких (400—450°).

Процесс образования различных фаз при газовом цианировании может быть представлен следующей схемой:

- | | | |
|-------------------------------------|---|--|
| 1. $Fe_{\alpha} + N$ | | образуется азотистое железо при температуре 500—600° |
| 2. $Fe_{\gamma} + C$ | | образуется аустенит |
| 3. $4Fe + N \rightarrow Fe_4N$ | } | образуются нитриды железа и ϵ -фаза |
| 4. $2Fe + N \rightarrow Fe_2N$ | | |
| 5. $m Me + nN \rightarrow Me_m N_n$ | | образуются нитриды специальных элементов |
| 6. $3Fe + C \rightarrow Fe_3C$ | | образуется карбид железа |
| 7. $mMe + nC \rightarrow Me_m C_n$ | | образуются карбиды специальных элементов |

Ход реакций при газовом цианировании можно представить следующей схемой.

- | | | |
|--|---|---|
| 1. $CH_4 \rightarrow 2H_2 + C$ | } | происходит диссоциация углеводородов с выделением атомарного углерода |
| 2. $C_4H_8 + 2H_2 \rightarrow 3CH_4 + C$ | | |
| 3. $C_3H_6 + H_2 \rightarrow 2CH_4 + C$ | | |
| 4. $2CO \rightarrow C + CO_2$ | | |
| | | образуется атомарный углерод при диссоциации окиси углерода |
| 5. $HCN \rightarrow H + C + N$ | } | образуется атомарный азот при диссоциации аммиака или синильной кислоты |
| 6. $NH_3 \rightarrow 3H + N$ | | |
| 7. $CH_4 + NH_3 \rightarrow HCN + 3H_2$ | } | (образуется синильная кислота) |
| 8. $CO + NH_3 \rightarrow HCN + H_2O$ | | |

С повышением температуры скорость реакции, протекающей в газовой среде, увеличивается. Одновременно увеличивается и скорость диффузии углерода и азота.

При известных условиях возможно прохождение процессов обезуглероживания и деазотирования, протекающих по следующим реакциям.

- $4H + Fe_{\alpha}(C) \rightarrow CH_4 + Fe_{\alpha}$
- $4H + Fe_3C \rightarrow CH_4 + 3Fe$
- $H_2O + Fe_3C \rightarrow CO + 3Fe + 2H$
- $2Fe_2N \rightarrow 4Fe + N_2$
- $3mH + Me_n N_m \rightarrow mNH_3 + nMe$
- $3H + Fe_{\alpha}N \rightarrow NH_3 + Fe_{\alpha}$ происходит деазотирование.

По вопросу о высокотемпературном цианировании конструкционных сталей имеется весьма ограниченное число исследований и сравнительно небольшой производственный опыт.

✓ Проф. В. И. Просвирин исследовал процесс газового цианирования на сталях марок 10, 12X2H4A, 15XФ. Эксперименты производились путем чередования пуска светильного газа и аммиака, исходя из ранее установленного положения, что наличие азота в стали способствует диффузии углерода даже при пониженных температурах. Результаты, полученные при этом исследовании, приведены в табл. 21.

Таблица 21

Результаты исследования газового цианирования различных сталей

Марка стали	Температура процесса в °С	Продолжительность обработки в час. мин.	Твердость HRC_{60}	Глубина слоя в мм
10	825	1. —	71—73	0,3—0,35
10	875	1. —	82	0,5—0,6
12X2H4A	825	1. —	79	0,35—0,40
12X2H4A	875	1. —	81—82	0,45—0,50
15XФ	825	1. —	79	0,35
15XФ	875	1. —	83	0,45—0,05
40	750	1. 30	—	0,25

Твердость зависит от способа охлаждения после нитроцементации. Для получения максимальной твердости необходимо производить непосредственную закалку в масло. При охлаждении на воздухе и повторном нагреве может произойти частичное деазотирование и снижение вследствие этого твердости.

Ковен производил газовое цианирование конструкционных сталей марок 4140; 5145; 6145; 1020; 2315; 3140; 4615, используя в качестве цементирующего газа — светильный газ, природный газ, а также смесь одного из этих газов с пиролизным.

При газовом цианировании деталей из стали марки 1020 им были использованы газовые смеси следующих составов (в %):

	Естественный газ	Городской газ	Пиролизный газ	Аммиак
1-я смесь . .	25	50	—	25
2-я " . . .	35	60	—	5
3-я " . . .	—	75	—	25
4-я " . . .	35	—	40	25

Установлено, что концентрация углерода и азота в цианированном слое зависит от состава цементирующего газа и количества аммиака в газовой смеси.

Данные табл. 22 характеризуют влияние этих факторов на цианирование стали марки 40X.

Температура оказывает влияние главным образом на глубину слоя. Состав газа оказывает влияние на степень насыщения углеродом и азотом. Например, ведение процесса газового циа-

Глубина и строение цианированного слоя стали 40X в зависимости от состава газа

Характеристика процесса	Состав газа						
	CO ₂	O ₂	CO	C _п H _{2п}	H ₂	CH ₄ + +C ₂ H ₆	N ₂
Газовое цианирование в течение 1 ч. 30 м.	0,4 0,6	Нет	—	0,6	64,8 66,8	20,52 23,08	7,24 8,6
То же в течение 2 ч. 30 м.	0,4	.	6,6 7,2	0,6 2,0	64,4 66,8	15,28 19,31	7,68 9,08
То же в течение 2 час.	Не определялись						
Газовая цементация в течение 2 ч. 30 м.	0,4	0,4	0,6	Нет	64,8	26,76	5,92

Продолжение табл. 22

Характеристика процесса	Расход газа в л/мин		Глубина слоя в мм		Максимальное содержание углерода в слое	Глубина ε-фазы в мм	Глубина аустенита в мм	Параметр решеток А' и γ-железа
	NH ₃	пирролизный газ	лоферрита	переходный слой				
Газовое цианирование в течение 1 ч. 30 м.	0,8 0,9	2,5—3,0	0,22	0,08	1,2	0,01 0,02	0,15	
То же в течение 2 ч. 30 м.	0,8 0,9	2,5—3,0	0,35	0,13	1,1	0,01 0,02	0,15 0,20	
То же в течение 2 час.	2,0 2,3	3,0	0,35	0,10	Не определялось	0,02 0,4	0,28	α2,86* α2,94** γ3,64* γ3,79**
То же в течение 1 ч. 30 м.	1,0 1,3	3,0	0,25	0,05	Не определялось	Мало	0,16	γ3,63* γ3,67**
Газовая цементация в течение 2 ч. 30 м.	—	2,5—3,0	0,55	0,45	1,2	—	1,12	

* Замерены на глубине 0,16 мм.

** Замерены на поверхности.

нирования при температуре 790° в течение 1,5 часа при различном составе газа для стали 20 дает по насыщению углеродом и азотом результаты, приведенные в табл. 23.

Таблица 23

Результаты по насыщению углеродом и азотом, полученные при газовом цианировании стали 20

Глубина слоя в мм	Газ № 1		Газ № 2	
	Состав в %			
	C	N ₂	C	N ₂
0,1	0,88	0,31	1,03	0,67
0,2	0,50	0,14	0,64	0,28
0,3	0,28	0,02	0,34	0,051
0,4	0,23	0,19	0,24	0,049

Повышение температуры влияет, помимо увеличения глубины слоя, также на твердость, о чем свидетельствуют данные, приводимые в табл. 24.

Ввод цементирующего газа и аммиака должен быть раздельным во избежание образования паров воды. При пользовании тоннельными печами аммиак вводят во вторую зону печи, а цементирующий газ—у загрузочного конца печи. При

таким распределении ввода газов, в начале процесса на деталях образуется сажистый налет.

Газ, богатый углеводородами, попадая в зону с аммиаком, образует цианистоводородную кислоту, которая является весьма активным реагентом.

Таблица 24

Влияние повышения температуры на результаты газового цианирования (Ковен)

Температура в °С	Продолжительность в час.	Твёрдость H_{RC150} для сталей							
		1020	2315	2335	3140	4140	4615	5145	6145
730	1,75	28	56	—	58	57	41	30	28
790	1,75	51	56	—	58	—	56	58	60
845	1,75	58	68	62	62	62	62	62	64

При проведении процесса необходимо следить за микроструктурой слоя, так как перенасыщение азотом повлечет за собой образование ϵ -фазы, что при высокой твердости вызовет хрупкость. Регулирование насыщения азотом должно производиться за счет изменения количества NH_3 в газовой смеси, а также скоростью течения газа.

Газовому цианированию подвергаются шестерни и некоторые другие детали из легированной конструкционной стали.

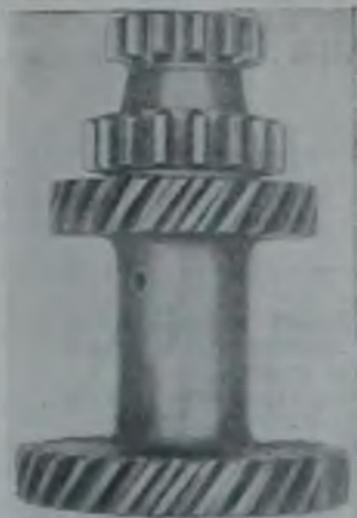
Температура цианирования $800 \pm 10^\circ C$. Длительность выдержки зависит от требуемой глубины слоя. Для блока шестерен коробки скоростей (фиг. 38); требуемая глубина слоя 0,9 мм получается при выдержке в течение 5 час. при

температуре 840° . Закалка производится непосредственно в масле; отпуск при температуре 200°C в течение 90 мин.

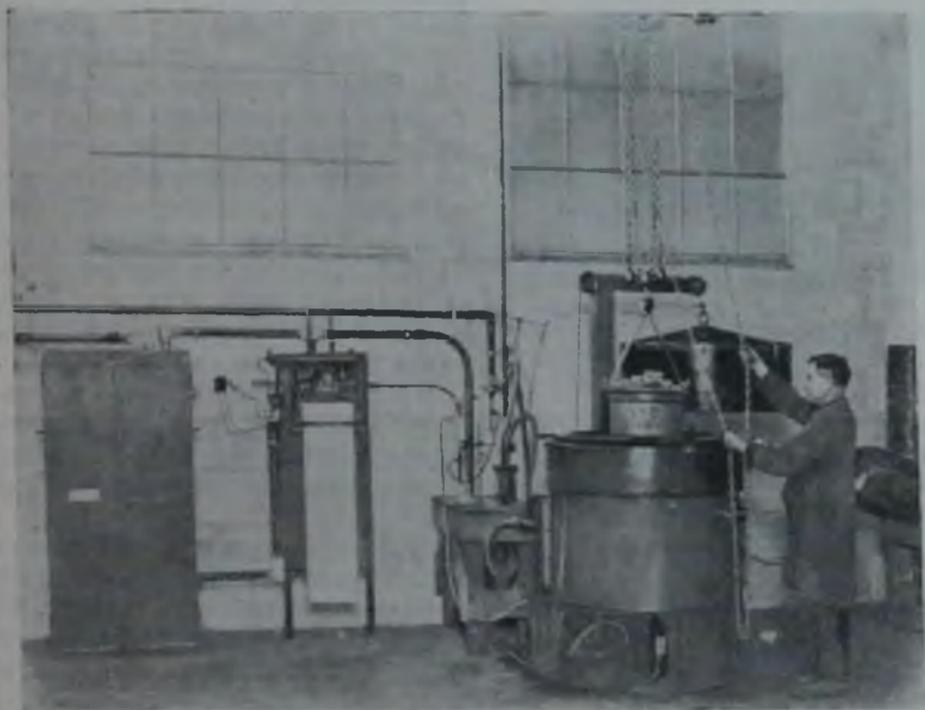
Процесс производится в электрической печи (фиг. 39). Детали загружаются в печь при достижении в ней заданной температуры.

После закрытия заслонки пропускаются через трубки, вставленные друг в друга, аммиак в количестве $0,6 - 1,2$ л/мин и пиролизный газ в количестве 3 л/мин. Отработанный газ выходит через трубку, вмонтированную в крышку печи.

При ведении процесса необходимо учитывать, что при соотношении 1:1 цементирующего газа к аммиаку при 840°C неизбежно будет получаться ϵ -фаза в нитроцементированном слое. При соотношении 1:2 эта опасность уменьшается, и, наконец, при соотношении 1:3 степень опасности получения ϵ -фазы весьма незначительна. Микроструктура цианированного слоя показана на фиг. 40.



Фиг. 38. Блок шестерен коробки скоростей.



Фиг. 39. Электрическая печь для цианирования.

В эксплуатации цианированные шестерни и другие детали показали высокую прочность и износоустойчивость.

Газовое цианирование было применено для обработки шестерен коробки скоростей и заднего моста малолитражной машины КИМ-10. Результаты, полученные при этом, приведены в табл. 25.

Таблица 25

Наименование деталей	Марка стали	Глубина слоя в мм	Твердость поверхности R_{C150}
Муфта синхронизатора	35X	0,17—0,22	48—53
Шестерня 1-й передачи	35X	0,17—0,22	48—53
Блок шестерен	35Л	0,17—0,22	48—53
Шестерня заднего хода	35X	0,17—0,22	48—53
" ведущая	35X	0,17—0,22	48—53
" 2-й передачи	35X	0,17—0,22	48—53
" ведомая заднего моста	15НМ	0,7—1,0	58—62
" ведущая заднего моста	15НМ	0,7—1,0	58—62

Установка, в которой производилось газовое цианирование, схематически показана на фиг. 41. Детали, подлежащие нитроцементации, загружались в муфель печи, разогретый до температуры 840°. После закрытия заслонки в муфель печи пропускался аммиак через реометр в количестве 1,0 л/мин и цементирующий пиролизный газ через реометр в количестве 3 л/мин.



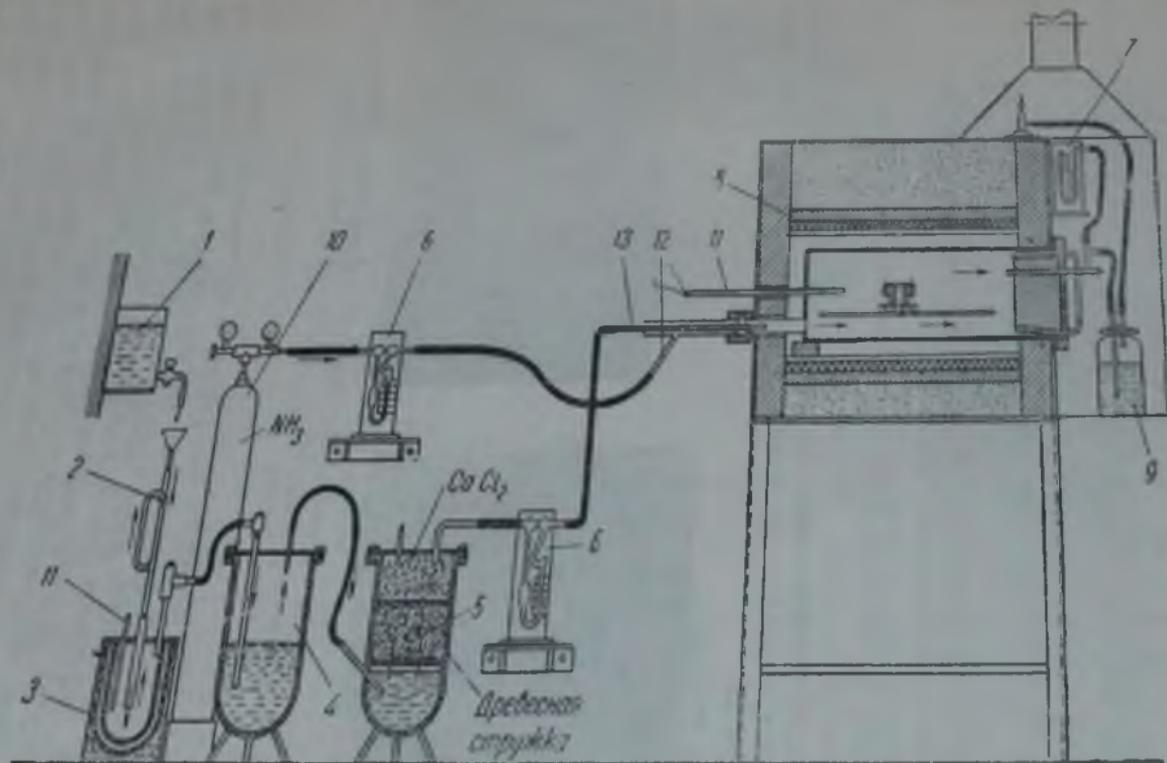
Фиг. 40. Микроструктура цианированного слоя.

Отходящий газ выводился из муфеля печи через особую трубку, вделанную в заслонку печи, и по выходе из трубки сжигался под колпаком вытяжки.

После нитроцементации, длительность которой зависела от глубины слоя, детали закаливались без подстуживания непосредственно из печи в масле. Закаленные детали промывались и отпускались при температуре 200° в течение 1,5 часа.

При неправильном соотношении газов образуется, как указывалось выше, хрупкая ϵ -фаза, что приводит к растрескиванию и отскакиванию цианированного поверхностного слоя. На фиг. 42 показаны трещины на поверхности образцов, цианированных с последующим охлаждением на воздухе. Образцы подвергались изгибу.

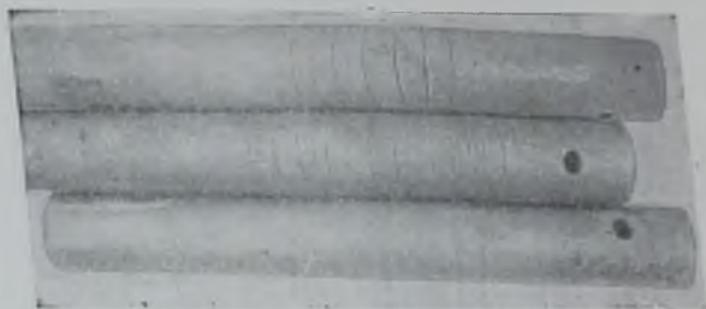
На фиг. 43 показаны трещины, образовавшиеся вследствие наличия ϵ -фазы вокруг отпечатка алмазного конуса, получен-



Фиг. 41. Установка для газового цианирования:

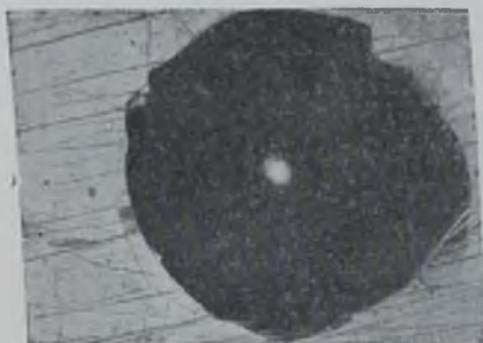
1 — бачок с керосином; 2 — гидравлический затвор; 3 — пиролизная печь; 4 — скруббер с водой; 5 — скруббер для очистки газа; 6 — реометр; 7 — водяной манометр; 8 — сопротивление; 9 — бак с водой; 10 — баллон с аммиаком; 11 — термопара; 12 — трубка с аммиаком; 13 — трубка с пиролизным газом.

ного при испытании твердости на приборе Роквелла. Замечено что ϵ -фаза при охлаждении на воздухе легко разлагается (фиг. 44). На фигуре показан слой, имевший у поверхности тонкую полоску ϵ -фазы, наружные части которой вследствие



Фиг. 42. Трещины на поверхности цианированной детали.

разложения при охлаждении на воздухе имеют темную окраску и представляют продукт распада ϵ -фазы с островками нераспавшейся ϵ -фазы.



Фиг. 43. Трещины вокруг отпечатка алмазного конуса, полученные при испытании твердости на приборе Роквелла.



Фиг. 44. Структура нитроцементированного слоя.

Наличие азота в твердом растворе в аустените понижает его критические точки. В результате после закалки при температуре газового цианирования (порядка $800-830^{\circ}$) в поверхностном слое наряду с мартенситовой или троостомартенситовой структурой сохраняется значительное количество остаточного аустенита. Количество остаточного аустенита при одинаковых условиях газового цианирования зависит от степени легирования стали. Остаточный аустенит понижает поверхностную твердость.

Для шестерен коробки передач малолитражного автомобиля рекомендуется следующий технологический процесс термической обработки:

1. Газовое цианирование при температуре 840—850°; выдержка после прогрева в течение 1 ч. 15 м. для получения слоя глубиной 0,17—0,22 мм.

2. Закалка в масле, промывка.

3. Очистка щеткой; контроль.

4. Отпуск при температуре 200—220° в течение 1 ч.

Для шестерен заднего моста малолитражного автомобиля рекомендуется следующий технологический процесс:

1. Газовое цианирование при температуре 840—850°; после прогрева выдержка в течение 5 час. (для получения слоя глубиной 0,7—0,9 мм).

2. Закалка в масле, промывка.

3. Очистка щеткой и контроль.

4. Отпуск при температуре 200—220° в течение 1 ч.

Для газового цианирования рекомендуется применять смесь газов, состоящую из аммиака и пиролизного газа, полученного путем пиролиза керосина при темпера-



Фиг. 45. Муфта синхронизатора.



Фиг. 46. Шестерня синхронизатора.

туре 740° и очищенного от смол. Состав отходящего газа из печи нитроцементации должен быть следующий:

Температура в печи в °С	CO ₂	C ₂ H ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	N ₂
840—850	0,4	0	0	2,5	66	19	3	6
	0	0,4	0,5	1,5	68	20	0,5	8

После газового цианирования по указанному выше режиму закалки и отпуска качество слоя характеризуется приводимыми ниже примерами¹.

Муфта синхронизатора (фиг. 45). Глубина слоя в закаленном состоянии 0,19 мм; с поверхности имеются образования ε-фазы. На глубине 0,08 мм находится аустенит с иглами мартенсита, под которым располагаются в эвтектоидном и переходном слоях мартенсит и троостомартенсит.

Такое чередование встречается на всех деталях из стали марок 35X и 15XHM, подвергнутых газовому цианированию; разница заключается в глубине аустенитного слоя, который зави-

¹ Замер твердости производился при нагрузке 150 кг.

сит от длительности процесса и марки стали. Твердость поверхности зуба 54—57 H_{RC} ; сердцевины 50—53 H_{RC} .

Шестерня счетчика синхронизатора (фиг. 46). Глубина слоя 0,2 мм; на поверхности имеется корка ϵ -фазы; на глубине 0,1 мм находится аустенит с иглами мартенсита, далее—троостомартенсит, в сердцевине зуба—троостосорбит. Твердость поверхности зубьев по тарированному напильнику весьма высокая (60—62 H_{RC}).



Фиг. 47. Шестерня заднего хода.

Шестерня заднего хода (фиг. 47), подвергнутая газовому цианированию при температуре 840—850°, имела по поверхности зуба твердость 58—59 H_{RC} и в сердцевине зуба 53—54 H_{RC} . Слой имеет микроструктуру мартенсит и в сердцевине зуба—троостомартенсит.

Шестерня ведущая (фиг. 48), а также шестерня 2-й передачи вторичного вала коробки передач. Глубина цианированного слоя у обеих шестерен 0,19 мм; в самой поверхности этой зоне незначительное количество ϵ -фазы. Основная структура—аустенит с иглами мартенсита (на глубине 0,09 мм), далее—троостомартенсит.



Фиг. 48. Шестерня ведущая.

Твердость на поверхности ведущей шестерни 57—58 H_{RC} , твердость [сердцевины зуба* 50—52 H_{RC} . Твердость на поверхности зуба на шестерне 2-й передачи вторичного вала 56—57 H_{RC} , твердость сердцевины зуба 53 H_{RC} .

Шестерни ведомые и ведущие заднего моста подвергались газовому цианированию при температуре 840° в течение 5 час.

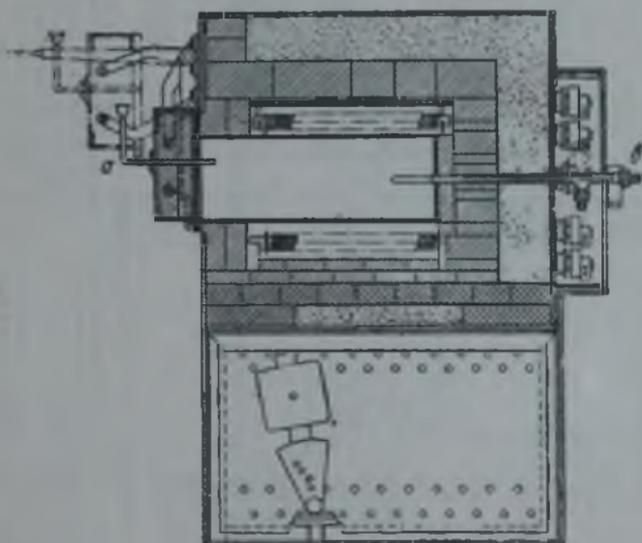
Глубина цианированного слоя составляет 0,8 мм; на поверхности имеется ϵ -фаза; на глубине 0,2 мм наблюдается аустенит с мартенситовыми иглами, глубже—мартенсит, троостит; в сердцевине зуба—сорбит с ферритовыми включениями. Твердость

поверхностного слоя, равная 57—56 H_{RC} после шлифовки шеек шестерни, за счет сошлифовки аустенитового слоя возрастает до 58—60 H_{RC} ; твердость сердцевины зуба 22—26 H_{RC} .

Печи для газового цианирования. Печи для газового цианирования ничем не отличаются от печей для газовой цементации. Они должны иметь герметически закрывающийся муфель, обогреваемый электричеством или газом.

На фиг. 49 изображена электрическая муфельная печь с размерами муфеля: диаметр 300 мм, длина 600 мм.

Расход электроэнергии равен около 7 квт·ч.



Фиг. 49. Печь камерная, приспособленная для газового цианирования.

Для газового цианирования можно использовать также и шахтные печи типа ПА-32-3 завода „Электрик“. Для этого необходимо вставить в шахту печи муфель из жароупорной стали и оборудовать его вентилятором для равномерной подачи газа.

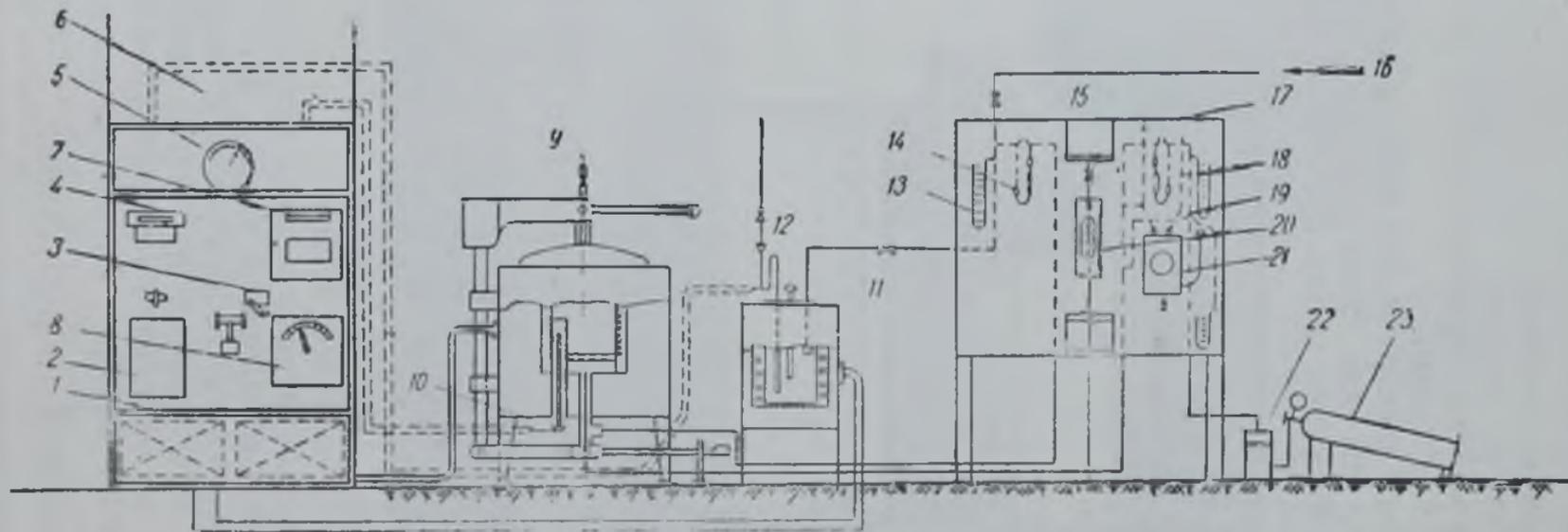
На фиг. 50 изображена схема установки для газового цианирования с использованием шахтной печи.

В случае применения генераторного газа можно пользоваться установкой, аналогичной изображенной на фиг. 51.

Схема пиролизной установки лабораторного типа без дополнительной реторты для крекинг-процесса изображена на фиг. 52. Для измерения расхода газа обычно устанавливают реометры или газосчетчики (фиг. 53).

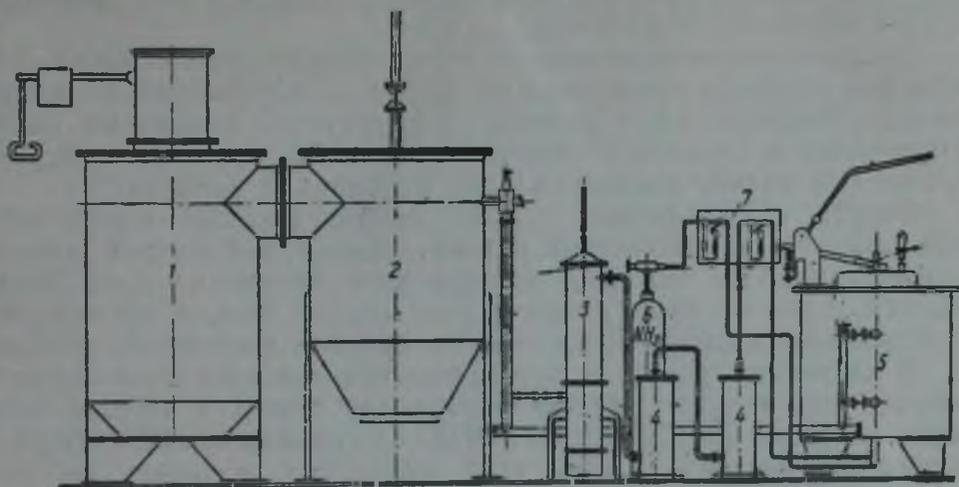
ЖИДКОСТНОЕ ЦИАНИРОВАНИЕ

Процесс цианирования имеет большое значение в технологии термической обработки автомобильных деталей. В тех случаях, когда детали не испытывают больших удельных давлений



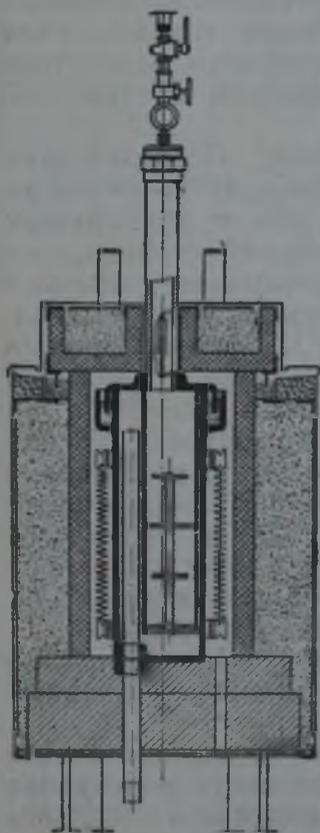
Фиг. 50. Схема установки для газового цианирования:

1 — трансформатор; 2 — выключатель; 3 — выключатель; 4 — СКГ для регулирования температуры генераторного газа; 5 — амперметр; 6 — электро щит; 7 — СКГ для регулирования температуры нитроцементационной печи; 8 — переключатель на разные напряжения; 9 — нитроцементационная шахтная печь; 10 — термопара печи; 11 — термопара генератора; 12 — генератор газа; 13 — манометр давления светильного или генераторного газа; 14 — дифференциальный манометр расхода газа; 15 — узловой щит; 16 — светильный газ из сети; 17 — трубка для выбора газа на диссоциацию; 18 — дифференциальный манометр расхода аммиака; 19 — манометр давления аммиака; 20 — диссоциометр; 21 — дублер; 22 — осушитель аммиака от влаги; 23 — баллон с аммиаком.

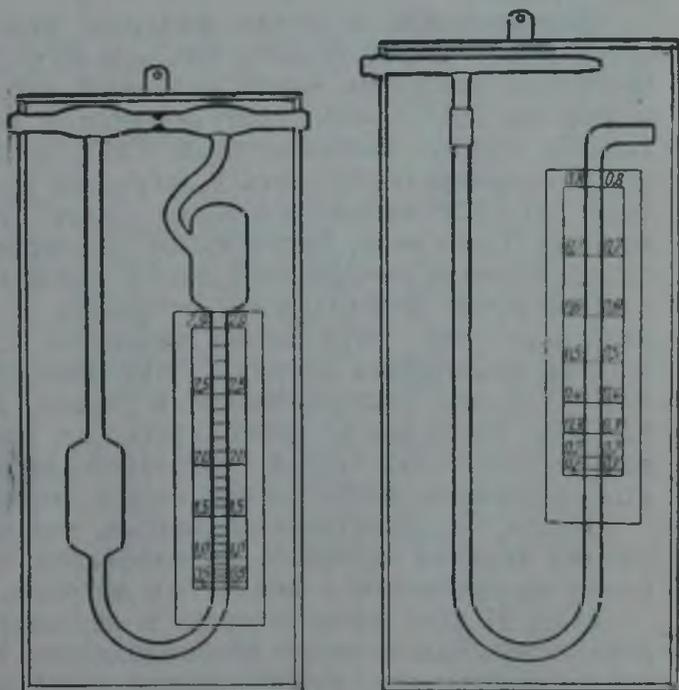


Фиг. 51. Схема установки для газового цианирования.

1 — газогенератор; 2 — пылеуловитель; 3 — охлаждающая колонка; 4 — скрубберы; 5 — печь;
6 — аммиачный баллон; 7 — контрольно-измерительный щит.



Фиг. 52. Ретортная печь для пиролиза.



Фиг. 53. Реометры (газосчетчики).

и в то же время работают на износ, цианирование обеспечивает надлежащее качество поверхности, так как в слое имеются, кроме карбидов, и нитриды.

Твердость цианированного слоя обычно, при правильном ведении процесса получается $60-65 H_{RC150}$. Жидкостное цианирование производится в ваннах, содержащих цианистые соли. Применяются следующие соединения циана: цианистый натрий, цианистый калий, цианид кальция и цианамид кальция.

Вместе с цианистыми солями вводят в состав ванны нейтральные соли — хлористый натрий, углекислый натрий, хлористый барий. При высоких температурах цианистые соли разлагаются с выделением циана и углекислого газа, и происходит одновременное насыщение поверхности стали азотом и углеродом.

В настоящее время в автомобильном производстве применяются два процесса: 1) цианирование в ваннах с черным цианидом кальция $\text{Ca}(\text{CN})_2$ (сплав ГИПХ) и 2) цианирование в ваннах с цианистым натрием. Кроме этих процессов, начинает распространяться процесс высокотемпературного цианирования, который по существу не отличается от упомянутых процессов и характеризуется тем, что производится при высокой температуре (около 950°); благодаря этому длительность процесса значительно сокращается, и при увеличении глубины слоя происходит преимущественно насыщение углеродом, вследствие чего этот процесс называется также процессом жидкостной цементации.

Цианирование в солях цианида кальция. Первоначально составляется ванна из 60% CaCl_2 и 40% NaCl . В сплавленном состоянии эта смесь имеет удельный вес 1,55 и температуру плавления 565° . Смесь улетучивается в меньшей степени, чем Na_2CO_3 (сода). Обезвоженный CaCl_2 гигроскопичен, поэтому его рекомендуется хранить в закрытых сосудах. При температуре $780-800^\circ$ вводится в ванну сплав ГИПХ — черный цианид кальция. Сняв пену, берут пробу для определения содержания циана. Рабочая температура ванны должна быть $840-860^\circ$.

Считается необходимым оставлять с поверхности тонкий слой пены для уменьшения тепловых потерь и уменьшения степени разложения цианида. Пена представляет собой аморфный углерод, содержащийся в сплаве ГИПХ в количестве $3,5-4\%$. Всплывая на поверхность, он адсорбирует некоторое количество соли. Перед выгрузкой деталей из ванны пену можно удалить, чтобы не загрязнить поверхности деталей.

В табл. 26 сопоставлены данные, характеризующие преимущество ведения процесса цианирования в ваннах с цианидом калия по сравнению с цианистым натрием.

Табл. 27 дает представление о характере насыщения цианированного слоя и связь с распределением твердости по глубине слоя для различных марок сталей; время выдержки 3 часа, концентрация $\text{Ca}(\text{CN})_2$ составляет $0,9-0,8\%$.

Структура поверхностного слоя углеродистой стали, подвергнутой цианированию, закалке и отпуску, состоит из мартенсита,

Результаты, полученные при цианировании в ваннах с различными составами

Состав ванны	Время выдержки в час	Температура 840°			Температура 870°		
		Глубина слоя в мм	Содержание углерода в наружном слое глубиной 0,15 мм в %	HR _{C150}	Глубина слоя в мм	Содержание углерода в наружном слое глубиной 0,15 мм в %	HR _{C150}
Сплав ГИПХ	1	0,33	0,90	59	0,41	1,0	61
NaCN	1	0,25	0,62	60	0,25	0,50	58
Сплав ГИПХ	2	0,51	0,98	60	0,63	1,10	63
NaCN	2	0,41	0,72	59	0,30	0,63	58
Сплав ГИПХ	3	0,61	1,02	65	0,76	1,15	64
NaCN	3	0,46	0,74	60	0,38	0,63	61

Таблица 27

Результаты, полученные при жидкостном цианировании различных марок стали

Марки стали									
10		20		35		12X2H4A		15XФ	
Глубина в мм	Твердость по Виккерсу								
0,0	627	0,0	620	0,0	665	0,0	383	0,0	724
0,05	803	0,051	782	0,046	762	—	—	0,054	847
0,09	870	0,095	870	0,004	762	0,10	560	0,112	847
0,149	895	0,143	946	0,145	782	0,165	673	0,113	847
0,199	895	0,199	920	0,197	803	0,214	762	0,213	870
0,251	946	0,249	974	0,245	870	0,264	824	0,265	870
0,301	920	0,302	974	0,295	870	0,307	824	0,299	870
0,350	824	0,350	762	0,348	870	0,349	874	0,366	782
0,401	673	0,402	613	0,399	946	0,403	782	0,413	585
0,452	455	0,453	514	0,449	920	0,451	724	0,470	473
0,508	363	0,500	429	0,500	920	0,436	673	0,541	345
0,559	250	0,551	327	0,551	895	0,549	560	0,586	332

а переходная зона из троостосорбита. В легированных сталях 12X2H4A и 15XФ получается у поверхности зона с преобладанием в структуре остаточного аустенита.

При составлении ванны с цианидом кальция $\text{Ca}(\text{CN})_2$ необходимо учитывать его угар.

Можно предполагать, что причиной большого угара в свежей ванне является образование синильной кислоты. Последняя при высоких температурах разлагается и тем самым понижает содержание циана в ванне. При загрузке больших порций цианида кальция средний процент угара в свежих ваннах равен 50.

Нейтральная часть ванны по мере работы также улетучивается. Добавка нейтральных солей в твердом виде при рабочей температуре сопровождается интенсивным вспениванием ванны и бурным выделением паров. Поэтому рекомендуется вводить нейтральную смесь солей в расплавленном виде.

Теоретическое количество сплава ГИПХ для составления свежей ванны определяется по формуле¹:

$$C = \frac{a \cdot A}{b}$$

Действительное количество сплава, необходимое для загрузки, определяется по формуле:

$$B = \frac{C \cdot 100}{100 - D}$$

Заменяв C , получим:

$$B = \frac{a \cdot A}{b(100 - D)} \cdot 100.$$

При освежении ванны потребное количество сплава ГИПХ определяется по формуле:

$$B = \frac{(a - a') A}{b(100 - D)} \cdot 100.$$

Угар $\text{Ca}(\text{CN})_2$ при загрузке сплава ГИПХ определяется по формуле:

$$D = \frac{100 (Bb - Aa'')}{Bb}$$

В этих формулах:

A — общий вес солей ванны в кг;

B — количество сплава ГИПХ, потребное для загрузки, в кг;

C — теоретическое количество сплава (без угара) в кг;

D — угар $\text{Ca}(\text{CN})_2$ в % от теоретически вводимого $\text{Ca}(\text{CN})_2$;

a — заданное количество $\text{Ca}(\text{CN})_2$ в ванне в %;

a' — содержание $\text{Ca}(\text{CN})_2$ в рабочей ванне по анализу (при освежении);

a'' — содержание $\text{Ca}(\text{CN})_2$ в ванне в % по анализу;

b — содержание $\text{Ca}(\text{CN})_2$ в сплаве в %.

Влияние времени выдержки деталей в ванне на глубину и твердость цианированного слоя при различных концентрациях $\text{Ca}(\text{CN})_2$ можно установить из данных табл. 28.

¹) А. А. Маурах, Цианирование в ваннах, содержащих сплав ГИПХ. „Известия НАТИ“ № 4, 1933 г.

Влияние выдержки на результат цианирования

Сталь	10		20		35		12Х2Н4А		15ХФ		Содержание $\text{Ca}(\text{CN})_2$ в ванне	
	Глубина в мм	Твердость по Виккерсу	при загрузке	при выгрузке								
5	0,5	376	0,97	690	0,07	673	0,07	483	0,05	514	1,1	1,1
10	0,07	429	0,10	690	0,11	673	0,11	493	0,08	707	1,08	1,06
15	0,10	642	0,13	690	0,15	665	0,14	473	0,10	724	1,04	1,01
20	0,12	642	0,15	690	0,17	650	0,16	464	0,12	724	1,03	0,81
30	0,15	657	0,18	690	0,21	650	0,19	446	0,16	743	0,80	0,60
60	0,23	650	0,25	627	0,29	657	0,27	405	0,25	743	0,82	0,55
120	0,31	640	0,35	627	0,40	650	0,38	397	0,31	743	0,78	0,48
180	0,38	635	0,45	620	0,50	650	0,48	383	0,39	743	0,96	0,37

Примечание. За глубину слоя принята мартенситовая зона.

У всех сталей глубина слоя зависит от времени выдержки, т. е. чем больше время выдержки, тем большей получается глубина слоя. Наиболее интенсивное увеличение глубины слоя происходит за первые 20—30 мин.

Таблица 29

Состав ванн для цианирования

При постоянной выдержке глубина слоя мало изменяется при различном содержании $\text{Ca}(\text{CN})_2$, если брать содержание от 0,3 до 3⁰/₀.

Цианирование в ваннах с цианистым натрием может производиться при составах, приведенных в табл. 29.

№ ванны	Состав ванн в %			Температура плавления в °С
	NaCN	Na_2CO_3	NaCl	
1	97	2,3	Остальное	560
2	75,3	2,5	22,2	590
3	45,3	37	17,7	570
4	30	40	30	625

Из указанных четырех составов широкое применение находит в практике ванна № 3, содержащая 45% NaCN. В этой ванне можно цианировать как углеродистые, так и легированные стали.

Таблица 30

Результаты цианирования различных сталей

Марки стали	Температура в °С	Время в мин.	Глубина слоя в мм	Содержание углерода	
				в %	
20	900	60	0,45	0,46	
12Н3	900	60	0,62	0,38	
12Н2Н4А	900	60	0,62	0,39	

Первые два состава применяются главным образом для освежения ванны № 3, так как освежение расплавленной массой значительно удобнее, чем присадка твердых солей, вызывающих вспенивание и бурное кипение ванны.

Состав № 4 применяется в тех случаях, когда требуется науглеродить детали, не добиваясь получения особо твердой поверхности деталей.

Освежение этой ванны в процессе работы также производится составами № 1 и 2.

В табл. 30 приводятся результаты цианирования деталей различных марок сталей в ванне с составом № 4.

Жидкостная цементация производится при температуре 930—950°, при этом происходит процесс насыщения стали углеродом. Для уменьшения потерь солей зеркало ванны покрывается слоем серебристого или черного чешуйчатого графита. Ванны могут быть составлены из нейтральных хлористых солей бария и натрия и добавок цианистого натрия, черного цианида кальция и цианамид-кальция.

Из числа распространенных составов ванны наиболее активные приведены в табл. 31.

При цианировании в ванне с составом С₃ получают следующие результаты

Глубина в мм	—	0,55	0,65	0,75	0,90	1,10	1,40
Время в час	—	1	1½	2	3	4	5

Цианирование в ванне с составом С₄

Глубина в мм	0,6	0,8	1,9	1,1	1,2	1,5	1,7
Время в час	½	1	1½	2	3	4	4

Процесс жидкостной высокотемпературной цементации должен производиться в специальных безмуфельных электрических печах типа „Аякс“, „Оптон“ и др.

Таблица 31

Различные составы ванн¹

Составляющие ванну соли	Содержание в %		
	состав С ₃	состав С ₄	состав С ₅
Na CN	78	40	4
KCN	—	—	5,5
Na ₂ CO ₃	11,7	9,6	—
NaCl	1,4	12,4	5,8
BaCl ₂	3,6	34,5	76,3
StCl ₂	—	—	6,0
Прочее и влага	5,3	3,5	2,4

¹ По данным инж. Хинского, „Автомобильная промышленность“ № 5—6, 1947 г.

ГЛАВА III

ОСОБЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ НАГРЕВ ДЕТАЛЕЙ ПОД ЗАКАЛКУ

Нагрев под закалку токами высокой частоты является самым эффективным и передовым методом термической обработки. Уже более 10 лет этот процесс применяется в Советском Союзе.

Нагрев токами высокой частоты в настоящее время используется для обработки большого количества деталей.

Коленчатые валы, распределительные валы, валики масляного и водяного насосов, стержни коробки передач, рессорные пальцы, шаровые пальцы, поршневые пальцы, тормозные валы, шкворни, шестерни масляного и водяного насосов, шестерни насоса для накачки шин и прочие сложной формы детали автомобиля обрабатываются в условиях массового производства при нагреве токами высокой частоты и последующем охлаждении.

Высокочастотный нагрев для термической обработки повышает прочность деталей, а благодаря этому основные детали автомобиля можно будет изготавливать из иных сталей и иными методами, нежели делается это в настоящее время.

Кроме углеродистых сталей, поверхностному нагреву токами высокой частоты подвергаются также легированные стали и ковкий чугун.

Как и при других методах нагрева, высокочастотный нагрев под закалку переводит сталь в однофазное аустенитное состояние, после чего ее охлаждают со скоростью, обеспечивающей получение заданных структуры и свойств.

Скорость охлаждения имеет решающее значение в условиях нагрева поверхности токами высокой частоты, так как основная масса металла, оставаясь холодной, вследствие большой теплопроводности, снижает температуру нагретого металла и понижает эффект закали.

Учитывая это, можно регулировать твердость, подводя к поверхности металла для охлаждения определенное количество жидкости.

Весьма важно при нагреве токами высокой частоты иметь в виду, что исходная структура и характер конечной имеют решающее влияние на качество детали. В стали с зернистой структурой механические свойства значительно выше, чем с пластин-

чатой. Идеальное состояние структуры после закалки и отпуска будет мелкодисперсное. Отсутствие такой структуры не гарантирует высокой прочности изделия.

Для получения твердости, соответствующей мартенситовой структуре, необходимо весьма быстрое охлаждение для того, чтобы предотвратить превращение аустенита в области температур около 560° , приводящее к образованию троостита и снижению твердости.

На конечный результат закалки имеет влияние состав аустенита перед закалкой, а также величина природного зерна стали.

Величина зерна оказывает большое влияние на подбор режима нагрева под закалку токами высокой частоты. Крупное



Фиг. 54. Структура мартенсита, измельченная путем улучшения.



Фиг. 55. Структура, полученная при нагреве током с частотой 18 000 периодов.

зерно способствует увеличению прокаливаемости, но в то же время оно способствует и образованию закалочных трещин. Глубину прокаливаемости можно несколько увеличить за счет увеличения скорости охлаждения водой, но для этого необходимо иметь мелкозернистую сталь. При превращении аустенита в крупном зерне возникают более высокие напряжения, чем в мелком, а это приводит к разрушению от меньшей нагрузки. Вместе с этим у сталей мелкозернистых при закалке получается меньшая деформация и меньшая склонность к образованию закалочных и шлифовочных трещин за счет уменьшения внутренних напряжений.

Для деталей, подвергающихся нагреву под закалку токами высокой частоты, рекомендуется применять сталь с зернистостью № 6—№ 7. В этом случае детали перед нагревом могут подвергаться лишь нормализации.

Если же применяется сталь более крупнозернистая, то предварительная рафинировка структуры путем закалки с высоким отпуском в значительной степени способствует получению более мелкой структуры мартенсита (фиг. 54).

Основным фактором, сопровождающим нагрев металла индукционным током, является так называемый скин-эффект (поверхностный эффект), связанный с максимальным нагревом, сосредоточенным в зоне, непосредственно прилегающей к поверхности на небольшой глубине. Этот эффект тем значительнее, чем выше

частота тока в течение определенного времени при определенной мощности.

Сравнивая структуры, полученные при нагреве током частоты 18 000 периодов (фиг. 55) и 2000 периодов (фиг. 56), мы замечаем разницу в строении мартенсита. В первом случае мартенсит имеет резко выраженную грубокристаллическую форму, а во втором он носит мелкоструктурный характер. Условия нагрева и охлаждения по времени при этом были одинаковыми.

Необходимо отметить, что суждение о перегреве в данном случае может быть только относительное, но не обращать внимания на этот факт не следует, так как качество структуры стали имеет решающее влияние на срок службы изделий.



Фиг. 56. Структура, полученная при нагреве током с частотой 2000 периодов.



Фиг. 57. Закалочные трещины на поверхности шейки коленчатого вала.

При охлаждении теплота отводится с поверхности и передается от более горячих к более холодным зонам, поэтому внутренняя часть образца в течение всего процесса охлаждения будет охлаждаться медленнее, чем наружная.

В момент охлаждения после нагрева наблюдается образование трещин на поверхности деталей, которые относятся к термическим и сосредотачиваются в местах резкого нагрева или охлаждения. Этими местами являются отверстия, по краям которых получается концентрация силовых линий тока (плотность тока сильно возрастает и это вызывает перегрев), а также места удара о поверхность струек охлаждающей жидкости (фиг. 57).

В этих местах происходит интенсивное охлаждение, которое и приводит к образованию трещинок микроскопического размера, глубина которых столь незначительна, что при шлифовке они все исчезают и не обнаруживаются ни при травлении, ни с помощью магнитного контроля. Для ослабления резкости закалки можно воду заменить эмульсией или сократить время охлаждения. Концентрацию тока около отверстий можно уменьшить, если забить в них медные или деревянные пробки.

При всех прочих одинаковых условиях, сокращая время охлаждения, можно снизить твердость, например, при закалке стали

марки 45, нагретой в течение 5 сек., получается следующее сочетание продолжительности охлаждения и твердости:

H_{RC150}	58—55	58—60	59—60	62—64
Время в сек.	2	3	5	10

Макроскопическими и микроскопическими исследованиями, как правило, не обнаруживается каких-либо трещин на поверхности деталей, вызванных закалкой, за исключением деталей



Фиг. 58. Структура поверхностного слоя—мартенсит.



Фиг. 59. Структура на глубине 1 мм—троостомартенсит.

сложной формы в месте перехода нагретой поверхности к ненагретой. В стали, подвергнутой поверхностному нагреву с последующей закалкой, могут возникнуть растягивающие напряжения лишь в сердцевине, но, поскольку она остается ненагретой, то нет опасности получить в ней трещины.



Фиг. 60. Структура слоя, состоящего из троостомартенсита и феррита.

В поверхностных слоях, испытывающих напряжение сжатия еще меньше возможности для образования трещин.

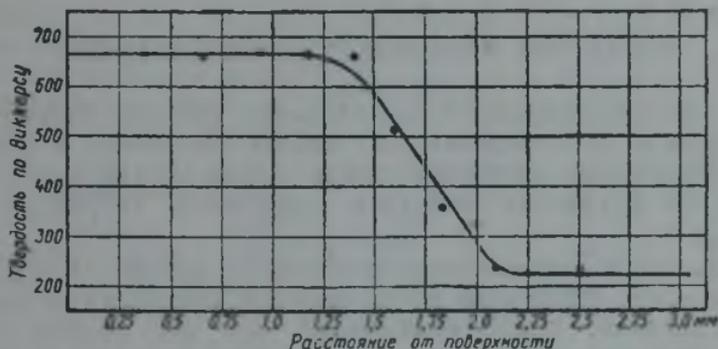
Обычно микрофотография шлифа указывает, что поверхностный слой толщиной около 0,5 мм состоит из чистого мартенсита (фиг. 58), который сменяется постепенно структурой троостомартенсита (фиг. 59). Толщина этого слоя равна

1,0 мм, и присутствие на микрофотографии троостомартенсита объясняется, по видимому, тем, что эти места до нагрева представляли собой сетку феррита, которая при нагреве успела перейти в твердый раствор, но не успела растворить в себе в достаточной мере углерод соседних областей.

Следующий слой толщиной в 1,0 мм состоит из троостомартенсита и феррита (фиг. 60) и на глубине около 2,5 мм от наруж-

ной поверхности сменяется исходной структурой феррита и перлита. Переход от структуры мартенсита к структуре феррит + перлит совершается довольно резко, как это видно по фиг. 61, где показано изменение твердости, соответствующей структурным изменениям.

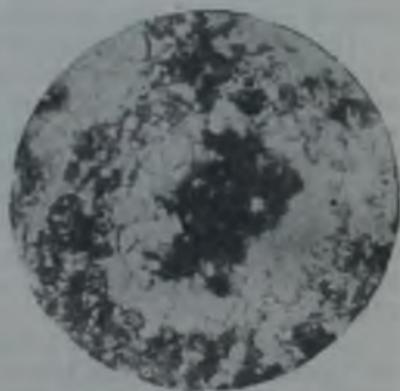
С точки зрения основных положений, относящихся к закалке углеродистой стали, нагретой токами высокой частоты, закалка



Фиг. 61. Распределение твердости от поверхности к сердцевине образца, закаленного после нагрева током высокой частоты.

легированных сталей не требует каких-либо дополнительных пояснений, за исключением лишь указания на то, что образование иголок мартенсита из аустенита будет происходить при возникновении больших внутренних напряжений, поэтому необходимо детали охлаждать не столь резко, применив масляную эмульсию вместо воды.

Нагрев токами высокой частоты отливок из ковкого чугуна, применяемый, например, при обработке распределительных валов, дает положительные результаты только в том случае, если отожженные включения углерода отжига, так как крупные включения углерода отжига (фиг. 62) служат очагами концентрации силовых линий тока, что приводит к развитию высоких температур в этих местах и плавлению металла.



Фиг. 62. Включения углерода отжига.

Подготовленный к закалке чугун после нагрева токами высокой частоты закаливается до $56 H_{RC150}$ и выше.

Практика закалки деталей из углеродистых сталей марок 40 и 45 позволяет производить неполное охлаждение, сохраняя

запас тепла в деталях для самоотпуска в пределах температур 150—200°.

Для детали сложной формы, например распределительного вала, закалка с самоотпуском неприменима, так как в конусной части кулачка, вследствие перегрева, образуются значительные напряжения, вызывающие трещины, поэтому такие детали подвергаются после закалки отпуску при 100—150° в течение одного часа.

ОБРАБКА ХОЛОДОМ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

При термической обработке стальных деталей, подвергаемых цементации и изготовленных из сталей, склонных к перенасыщению углеродом (например, стали марки 18ХНМА, 12Х 2Н4А), встречается трудность добиться получения твердости выше 56 $H_{RC 150}$.

Объясняется это наличием остаточного аустенита в цементированном слое. Несмотря на понижение температуры перед закалкой деталей, после цементации все же полной закалки достичь трудно, даже в том случае, когда процесс цементации происходит в печи газовой цементации.

При обработке деталей, например, из стали марки 18ХНМА, температура подстуживания перед закалкой снижается до 650—700°, но, как правило, детали имеют твердость поверхности около 54 $H_{RC 150}$ и ниже.

Применение изотермической закалки с последующим отпуском при температуре около 550° или длительного отжига после цементации при температуре 600° С сопряжено с затратами и гарантированного результата не дает.

Применение температур ниже нуля для обработки быстрорежущих сталей и их заменителей, имеющих в структуре остаточный аустенит и вследствие этого пониженную твердость, дало возможность повысить стойкость инструмента за счет устранения остаточного аустенита.

Работа профессора доктора А. П. Гуляева дает теоретическое обоснование распада остаточного аустенита, а практика обработки быстрорежущих сталей холодом дает основание применить этот вид термической обработки и для конструкционных сталей.

Для обработки при температурах ниже нуля может быть непосредственно использован жидкий кислород, имеющий температуру —183° и другие хладогены.

Обработке подвергаются шестерни и другие детали. Детали цементируются, закаливаются после подстуживания и подвергаются отпуску при температуре 180°, обязательно в воздушной ванне; это предохраняет от взрыва при последующем охлаждении деталей в жидком кислороде, так как на поверхности деталей нет остатка масла, который может быть при отпуске в масляной ванне.

Для устранения остаточного аустенита детали помещаются после закалки и отпуска в жидкий кислород или иную среду, или в холодильники и выдерживаются в течение некоторого времени. Опыт показал — длительность выдержки имеет значение, что можно видеть по данным, приведенным в табл. 32.

Таблица 32

Результаты, полученные после различной выдержки в жидком кислороде

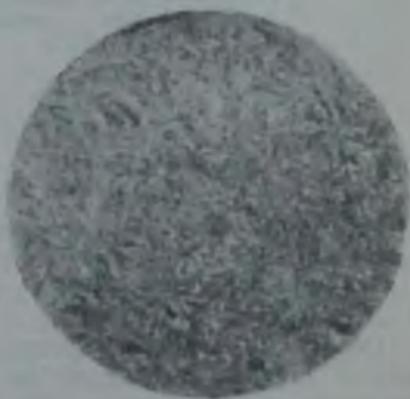
Твердость после закалки H_{RC150}	Твердость после выдержки в кислороде в течение 1 часа H_{RC150}	Твердость после выдержки в кислороде в течение 2 час. H_{RC150}
48,5	56	65,5
50	56,5	60,5
50,5	56	62,5
51,5	56	63
49,5	56,5	65,5

Практически принято выдерживать детали в жидком кислороде в течение 2 час. для выравнивания температуры.

Микроанализ подтверждает эффективное действие низкой температуры. Структура цементированного слоя (фиг. 63), состоящая после закалки из аустенита и мартенсита, а после обработки холодом в течение 2 час. состоит из мартенсита (фиг. 64) со следами остаточного аустенита, что соответствует твердости выше 60 H_{RC150} . Диаграмма, изображенная на фиг. 65,



Фиг. 63. Структура цементированного слоя (аустенит и мартенсит).



Фиг. 64. Структура цементированного слоя после обработки холодом (мартенсит со следами остаточного аустенита).

дает представление о влиянии различных режимов термической обработки на твердость цементированного слоя.

В зависимости от наличия в структуре остаточного аустенита твердость после закалки получается иногда весьма низкая. Например, был случай, когда шестерни имели после закалки твер-

дость 20—25 HRC_{150} (эта твердость соответствует почти 100%-ному содержанию аустенита); после охлаждения в жидком кислороде твердость повысилась до 64—65 HRC_{150} .

Необходимо отметить, что детали после закалки перед обработкой холодом обязательно должны быть подвергнуты низко-температурному отпуску при 180—200° в течение часа для снятия напряжений. Переход аустенита в мартенсит сопровождается объемными изменениями и может вызвать при наличии внутренних напряжений образование трещин.

Объемные изменения, связанные со структурными превращениями при действии холода, находятся в пределах точности замера (до 0,01 мм). Например, шестерни заднего моста, которые были окончательно отшлифованы, охлаждались в течение 2 час. в жидком кислороде и после этого практически не изменили ни одного размера.

Многочисленные замеры размеров толщины зуба шестерен после охлаждения в жидком кислороде также подтверждают, что объемные изменения столь незначительны, что не улавливаются при указанной выше точности замера.

Охлажденные в жидком кислороде детали подвергаются отпуску при температуре 180—200° в течение часа, после того как прогреются до комнатной температуры. Замечено, что отпуск при температуре 180—200°, как правило, влияет на снижение твердости. Это видно из следующих данных:

Твердость после обработки холодом при температуре—183° HRC_{150}	Твердость после обработки холодом и отпуска при температуре 180° HRC_{150}
60 — 60,5	57 — 57,5
62,5— 62,6	57,5 — 57,5
60 — 60	58 — 58
59 — 58	58 — 56,5

Влияние обработки холодом на прочность материала было проверено на образцах, изготовленных из стали марки 18ХНМА следующего состава: 0,15% С; 0,18% Si; 0,44% Mn; 1,48% Cr; 4,15% Ni; 0,21% Mo.

Образцы были подвергнуты следующей нормальной термической обработке: нагрев до температуры 920° С и выдержка при этой температуре в течение 8 час.; подстуживание до температуры 700° С и выдержка в течение 10 мин.; охлаждение в масле и отпуск при температуре 150° в течение 2 час.

После закалки и отпуска часть образцов подвергалась обработке в жидком кислороде в течение 2 час., после этого была отпущена при температуре 150° в течение 2 час.

Все образцы были подвергнуты механическим испытаниям, результаты которых приведены в табл. 33.

В данном случае результаты механических испытаний показывают, что выдержка при—183° влияния на снижение прочности металла не оказала (фиг. 66). Это имеет большое значение для

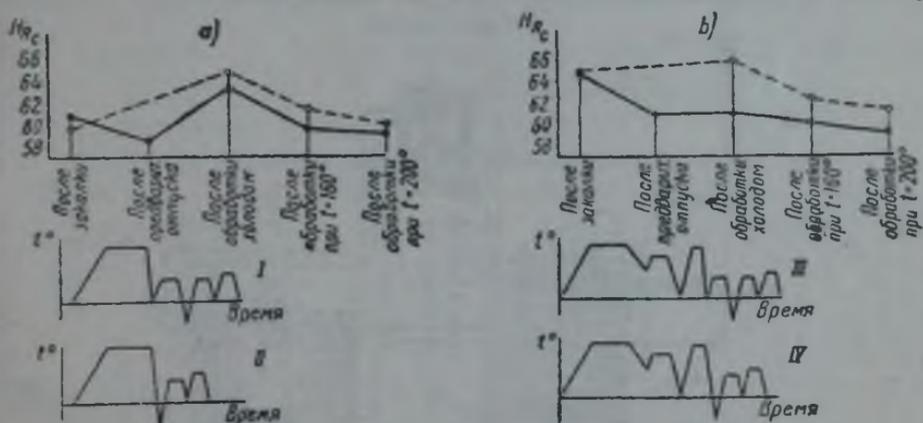
Результаты, полученные после нормальной обработки и после обработки в жидком кислороде

Вид обработки	σ_p кг/мм ²	σ_s кг/мм ²	σ_b кг/мм ²	δ %	ψ %	a_k кгм/см ²
Нормальная обработка	111,2	120,5	130,0	15,0	65,3	12,5
	116,2	122,7	131,8	15,0	65,3	9,5
	121,0	128,1	132,5	13,8	63,3	12,3
Дополнительное охлаждение при -183°	124,3	130,0	130,0	13,3	62,7	13,0
	118,0	124,5	135,5	15,0	60,7	11,5
	112,0	120,5	133,2	13,3	60,7	13,75

производства и обработки нагруженных деталей, какими являются шестерни коробки скоростей и заднего моста автомобиля.

Микроструктура образцов, вырезанных из сердцевины деталей, подвергавшихся действию холода и не подвергавшихся, одинакова и состоит из мартенсита.

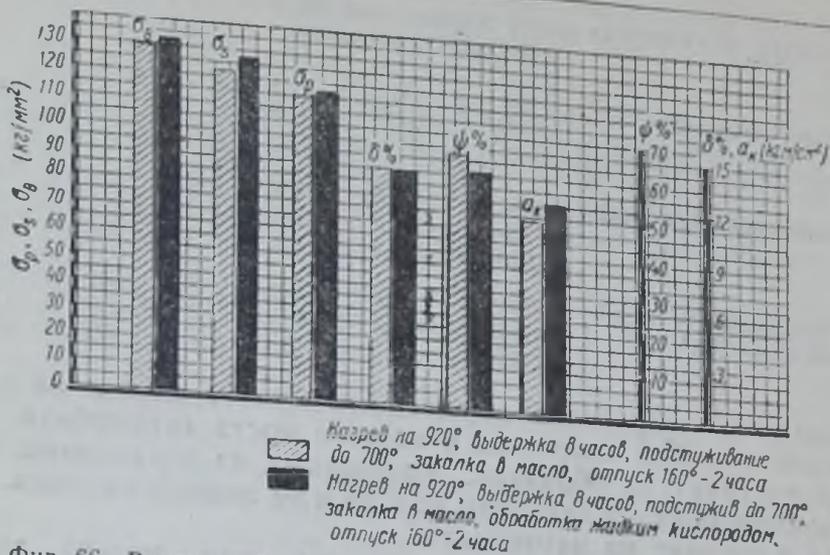
Установка для обработки холодом при низких температурах в холодильнике может быть изготовлена по эскизу,



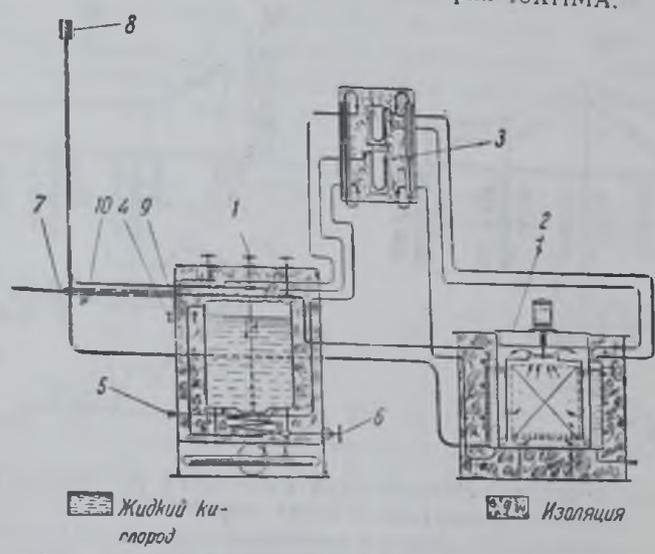
Фиг. 65. Влияние обработки холодом (при $t = -183^\circ$) на твердость цементованной поверхности стали марки 18ХНМА:

a — цементация и непосредственная закалка в масле, обработка холодом; *б* — цементация с медленным охлаждением в печи, закалка в масле при температуре $790 \pm 10^\circ \text{C}$, обработка холодом. *I* — схема процесса при непосредственной закалке с предварительным отпуском перед обработкой холодом; *II* — схема процесса при непосредственной закалке с обработкой холодом без предварительного отпуска; *III* — схема процесса при цементации и повторном нагреве для закалки с предварительным отпуском перед обработкой холодом; *IV* — схема процесса при цементации и повторном нагреве для закалки с обработкой холодом без предварительного отпуска.

изображенному на фиг. 67. Она состоит из хранилища и холодильника. Обе камеры изготавливаются из медных листов: наружные кожухи — из листовой стали. Промежуток между кожухами заполняется стеклянной ватой. Охлаждаются камеры воздухом, температура которого регулируется скоростью истечения жидкого кислорода, циркулирующего по медным трубкам. Для равномерного охлаждения воздух в холодильнике перемешивается пропеллером.



Фиг. 66. Влияние обработки жидким кислородом на механические свойства сердцевины стали марки 18ХНМА.



Фиг. 67. Схема установки для обработки деталей холодом (до -170°C):

- 1 — хранилище; 2 — охладитель деталей; 3 — щит контроля;
 - 4 — предохранительный клапан; 5 — вентиль продувной; 6 — вентиль испарительный; 7 — гайка специальная; 8 — сетчатый предохранитель; 9 — разрывная мембрана; 10 — вентиль контрольный.
- Техническая характеристика стационарной установки:
 1) емкость — 250 л; 2) рабочая емкость — 200 л; 3) вес кислорода (соответствующий рабочей емкости) — 230 кг; 4) часовая потеря жидкого кислорода (% час) — 0,7–0,8.
- Охлаждение деталей:
 1) емкость охлаждающей рубашки — 140 л; 2) рабочая емкость — 100 л;
 3) вес кислорода (соответствующий рабочей емкости) — 114 кг;
 4) максимальная нагрузка детали 100 кг; 5) габариты холодильной камеры — 400×300×250 мм; 6) температура камеры при установившемся процессе — -170°C ; 7) холодопроизводительность: начало охлаждения — 10 000 ккал, конец охлаждения — 650 ккал.

Экспериментальные исследования определяют расход жидкого кислорода равным 1 л на 1 кг деталей при длительности процесса охлаждения, равной 2 час. Температура -183° не является оптимальной. Применяется также жидкий воздух, и в этом случае в ванне поддерживают температуру -85° . В литературе имеются указания на применение и более высоких температур: -70° , -75° .

Допустимое количество остающегося после глубокого охлаждения аустенита некоторыми авторами указывается равным 3%.
Увеличение твердости цементированного слоя влечет за собой повышение сопротивления износу. Это подтверждается исследованиями, проведенными над четырьмя цементируемыми сталями марок 12Х2Н4А, 18ХНМА, 18ХГМ и 18ХГТ, результаты которых помещены в табл. 34. Испытания по определению статической прочности проводились на образцах размером $120 \times 10 \times 10$ мм, из которых после разрушения вырезались образцы для испытания на износ на машине Шкода—Савина.

Таблица 34

Влияние обработки холодом (-183°) на механическую прочность легированных сталей

Марка стали	Механические свойства										
	До обработки холодом					После обработки холодом					Увеличение износоустойчивости после обработки холодом в %
	σ_B кг/мм ²	Стрела прогиба в мм	α_k кг·м/см ²	HRC10	Величина износа в 10 ³ мм	σ_B кг/мм ²	Стрела прогиба в мм	α_k кг·м/см ²	HRC150	Величина износа в 10 ³ мм	
12Х2Н4А	222	2,6	15,3	58—59	5,75	191	2,2	13,1	58—64	3,99	
18ХГТ	252	2,95	3,35	57—58	2,85	230	2,75	2,4	60—63	2,38	16
18ХНМА	257	4,07	10,5	46—50	3,85	186,3	2,9	7,27	60—61	2,38	38
18ХГМ	202	2,4	3,5	58,5—59,6	3,90	177	1,68	1,82	60—61	2,45	37

Примечания: 1. Образцы размером $120 \times 10 \times 10$ мм подвергались газовой цементации на глубину 1,5 мм.

2. Режим термообработки: непосредственная закалка после цементации; низкий отпуск при температуре 150° .

Результаты, приведенные в табл. 34, подтверждают положительное влияние холода на разложение аустенита и повышение износоустойчивости вследствие увеличения количества мартенсита в структуре.

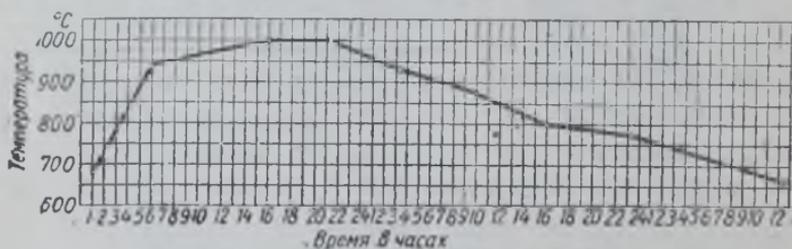
На фиг. 68 показана фотография цеховой установки, работающей при -70° .



Фиг. 68. Общий вид цеховой установки для обработки холодом.

ДИСПЕРСИОННЫЙ ОТЖИГ БЕЛОГО ЧУГУНА

Цикл отжига отливок из белого чугуна на ферритный ковкий чугун длится довольно значительное время (65—85 час. и



Фиг. 69. График отжига отливок в туннельной безмуфельной печи.

дольше). График отжига приведен на фиг. 69. На ней изображен режим отжига отливок в печи тоннельного типа.

Для графитизации белого чугуна необходимо наличие в нем центров кристаллизации, увеличение числа которых сокращает путь диффузии углерода при распаде цементита и, как следствие этого, сокращается продолжительность отжига чугуна.

Как известно скорость кристаллизации и образование центров кристаллизации (в данном случае графита) зависят от степени переохлаждения.

Исходя из этого положения, можно сделать вывод о том, что если белый чугун нагреть до температуры, несколько превышающей температуру превращения перлита в аустенит, и затем быстро охладить его, то в зависимости от скорости охлаждения соответствующее превращение аустенита будет происходить при большом его переохлаждении. В этот момент зарождаются дополнительные центры графитизации, возникающие по плоскостям сдвигов элементарных кристаллов, вызванных напряжениями второго рода.

Так как выделение графита в этом случае происходит при сильном переохлаждении, линейная скорость его кристаллизации должна быть чрезвычайно мала и, как следствие, выделившиеся дополнительно центры графитизации представляют собой ультрамикроскопические включения.

Подвергая отливки из белого чугуна перед отжигом нагреву до 950—970°, а затем охлаждая их в воде или в масле в зависимости от сложности сечения для предотвращения образования закалочных трещин, мы создаем условия для сокращения длительности отжига. Экспериментально это подтверждается.

Микрофотографии, изображенные на фиг. 70а, б и в иллюстрируют влияние различной предварительной термической обработки отливок из белого чугуна (закалка) на степень дисперсности углерода отжига, образующегося в результате проведения первой стадии отжига.

Микрофотографии представляют вид нетравленной полированной поверхности шлифа чугуна отливок, соответственно подвергнутых после нагрева охлаждению в воде (фиг. 70а), в масле (фиг. 70б) и на воздухе (фиг. 70в).

Рассмотрение микрофотографий подтверждает, что величина выделений углерода отжига в ковком чугуне после первой стадии отжига зависит от скорости охлаждения образцов при предварительной их закалке. Наивысшая дисперсность углерода отжига имеется в структуре отливок, охлажденных в воде. Несколько крупнее включения углерода отжига наблюдаются в структуре отливок, охлажденных в масле. В отливках, охлажденных на воздухе, углерод отжига во много раз крупнее.

Скорость превращений при первой стадии графитизации, завершение которой определяется исчезновением в структуре свободного цементита, находится в прямой зависимости от степени дисперсности выделяющегося при этом углерода отжига.

При максимальной раздробленности углерода отжига (предварительная закалка отливок с охлаждением в воде) первая стадия отжига чугуна заканчивается уже после выдержки в течение 2 час. при температуре 950°.



а)



б)



в)

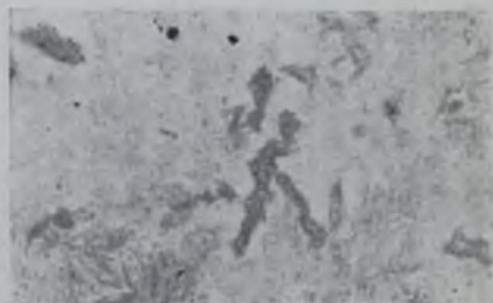
Фиг. 70 а, б, в. Структура отливок из белого чугуна после различной предварительной термической обработки.



а)



б)



в)

Фиг. 71 а, б, в. Структура отливок, подвергавшихся предварительно закалке.

При более крупных выделениях углерода отжига (предварительная закалка с охлаждением в масле) первая стадия отжига заканчивается через 4 часа.

В отливках, охлажденных на воздухе и имеющих довольно крупные выделения углерода отжига, первая стадия графитизации заканчивается при выдержке в течение 10 час., в то время как в отливках, не подвергавшихся предварительно закалке, первая стадия отжига заканчивается лишь за 15 час.

Вторая стадия графитизации протекает так же, как и первая, со значительным ускорением и в полной зависимости от предварительной закалки.

На фиг. 71, а, б и в приведены микрофотографии структур отливок, предварительно перед первой стадией отжига подвергшихся охлаждению в воде (фиг. 71, а), в масле (фиг. 71, б) и на воздухе (фиг. 71, в) и прошедших первую стадию отжига в течение времени, соответственно необходимо для распада цемента.

Наблюдениями установлено, что в отливках, прошедших предварительную закалку в воде, вторая стадия отжига заканчивается за 1 час; в отливках чугуна, охлажденных в масле, вторая стадия отжига заканчивается за 1,5 часа; в отливках, прошедших охлаждение на воздухе, — за 10 час.

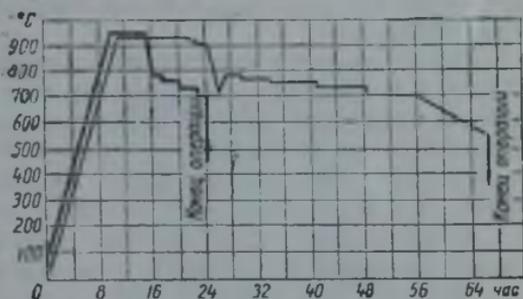
Таким образом, длительность отжига при второй стадии, как и при первой стадии, определяется степенью дисперсности углерода отжига.

Ведение процесса отжига по ускоренному методу с предварительной термической обработкой (закалкой) может быть осуществлено по режиму, соответствующему графику, изображенному на фиг. 72. Длительность отжига, благодаря применению закалки, сокращается в 3—4 раза.

Исключительно важное значение этот процесс имеет для производства ковкого чугуна с повышенным содержанием хрома (выше 0,07%).

Работы, относящиеся к изучению процесса отжига белых чугунов с повышенным содержанием хрома, проведенные многими исследователями, показали, что тормозящее действие хрома в ковком чугуне при отжиге прогрессирует с увеличением его содержания.

Установлено, что для чугуна, содержащего до 0,08% Cr, требуется выдержка при первой стадии графитизации до 10 час.;



Фиг. 72. График отжига ковкого чугуна по дисперсионному методу:

— Отжиг по обычному методу.
 - - - Отжиг по дисперсионному методу.

при содержании 0,13% Cr выдержка должна быть увеличена до 25 час., а при содержании 0,15% Cr—до 35 час.

Значительно сильнее хром задерживает графитизацию во второй стадии: в чугунах с содержанием 0,08% Cr, даже при выдержке в течение 40 час. при температуре второй стадии отжига, эвтектоидный цементит полностью не разлагается.

Попытки нейтрализовать вредное влияние хрома введением в белый чугун специальных элементов-графитизаторов до сих пор не вышли из стадии экспериментов.

Опыт показывает, что первая стадия графитизации при отжиге чугунов, содержащих хром до 0,07%, заканчивается без особых трудностей. На это указывает структура отожженного чугуна, в которой не наблюдается свободного цементита.

Вторая стадия протекает под влиянием хрома замедленно. Следовательно, для создания условий, благоприятствующих отжигу чугуна с повышенным содержанием хрома, необходимо форсировать распад сложных карбидов во время второй стадии графитизации.

Исследование результатов отжига отливок с содержанием 0,12% Cr показало следующее: после предварительной закалки при температуре 970° с охлаждением как в воде, так и в масле первая стадия отжига протекает быстро (обычно за 4—5 час. с момента прогрева до 950°). Аналогичные результаты были получены и при обработке чугуна с содержанием 0,15% Cr.

В микроструктуре чугуна, обработанного по вышеприведенному режиму, свободного цементита не наблюдается.

Закалка при охлаждении в воде способствует более быстрому протеканию процесса.

Вторая стадия графитизации с увеличением содержания Cr несколько удлиняется по сравнению с отжигом обычных чугунов. Длительность отжига во второй стадии при содержании в чугуне 0,15% Cr занимает 8—10 час., в то время как отжиг чугуна с обычным содержанием Cr заканчивается за 6—7 час. в аналогичных условиях ведения процесса.

Отжиг белых чугунов с содержанием хрома 0,15%; 0,20% и 0,34% с предварительной закалкой дает возможность получить твердость, приведенную ниже:

Твердость после отжига по Бринелю (диаметр отпечатка в мм)	5,1—4,9	4,4—4,6	4,2—4,3
Содержание Cr в %	0,15	0,20	0,34

Дисперсионный метод отжига ковкого чугуна, содержащего до 0,15% Cr, дает вполне удовлетворительные результаты (фиг. 73—76) при той же продолжительности цикла, какая применяется и при отжиге чугуна с нормальным содержанием хрома.

У белого чугуна с более высоким содержанием хрома (0,20—0,34%) при том же режиме отжига получается повышенная твердость, что объясняется наличием в структуре (фиг. 74, 77, 75 и



Фиг. 73. Структура чугуна после первой стадии отжига (образцы с содержанием 0,15% Cr).



Фиг. 74. Структура чугуна после первой стадии отжига (образцы с содержанием 0,20% Cr).



Фиг. 75. Структура чугуна после первой стадии отжига (образцы с содержанием 0,34% Cr).



Фиг. 76. Структура чугуна после полного отжига (образцы с содержанием 0,15% Cr).



Фиг. 77. Структура чугуна после полного отжига (образцы с содержанием 0,20% Cr).



Фиг. 78. Структура чугуна после полного отжига (образцы с содержанием 0,34% Cr).

78) значительного количества сорбита, появившегося в результате неполного завершения процесса графитизации.

На основании опыта, полученного при проведении массовой обработки и исследования результатов этой обработки, установлено, что, изменяя условия охлаждения отливок в зависимости от их конфигурации и размеров (в воде, масле или на воздухе), можно проводить ускоренный отжиг в обычных камерных садочных печах с выдвижным подом (фиг. 79) за 8, 12, 15, 18, 24 часа вместо 56—72 час. (вес садки 0,5—1,0 т).



Фиг. 79. Камерная садочная печь с выдвижным подом.

Отжигать отливки можно в камерных печах, упаковывая их в ящики, но наиболее выгодно вести процесс в электрических печах с применением безокислительного нагрева.

ПРОЦЕСС УПРОЧНЕНИЯ ДРОБЬЮ

В деталях, работающих при знакопеременных и односторонних нагрузках, наблюдаются разрушения усталостного характера.

Эти разрушения происходят при напряжениях ниже предела упругости. Изломы усталости имеют характерный вид (фиг. 80) и состоят из зоны весьма мелкозернистой (заполированной) и зоны крупнозернистого строения.

При знакопеременной и односторонней нагрузке и разгрузке, не превышающей упругой деформации, имеет место явление упругого гистерезиса (фиг. 81), указывающего на то, что работа деформации при нагружении больше работы при разгрузении. Разница в работе переходит в теплоту и вызывает повышение температуры изделия. Это может быть объяснено различной степенью деформации различных зерен вследствие несовершенной упругости металла и рядом других причин. Увеличение температуры в процессе работы в металле способствует пластической деформации, и разрушение от усталости есть поэтому следствие

пластической деформации, возникающей не на всем сечении изделия, а лишь в некоторой части, постепенно увеличивающейся по площади до момента, когда оставшаяся площадь сечения, не подвергшегося еще пластической деформации металла, не выдерживает напряжения и ломается от нагрузки, превосходящей предел текучести.

Если эффект упрочнения выше эффекта разупрочнения, то после работы сопротивление усталости металла может повыситься.

Наклеп снижает усталостную прочность стали.

Однако опыт показал, что обработка (обдувка) поверхности металла дробью повышает сопротивление деталей усталостному разрушению. Это объясняется тем, что поверхностные пороки (часто микроскопические) служат местом концентрации усталостных напряжений, а обработка дробью их уничтожает или сглаживает.

Кроме того установлено, что детали, работающие на изгиб и скручивание, разрушаются вследствие растягивающих напряжений на поверхности и что напряжения при нагрузках концентрируются на поверхности деталей и тем в большей степени, чем хуже обработана эта поверхность. Поэтому можно полагать, что положительный эффект обработки дробью связан и с тем, что обдувка дробью создает снижение растягивающих напряжений на поверхности.

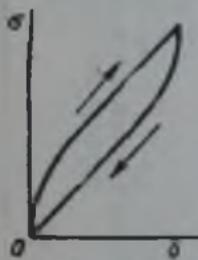
Сам процесс состоит в том, что дробь определенного диаметра с большой скоростью направляется из специального сопла на поверхность детали.

По данным инж. Козловского¹, для различных деталей надо применять дробь различного диаметра. Например, пружины клапана (проволока диаметром 4 мм) обдуваются дробью диаметром 1,27 мм; коленчатые валы и шатуны обдуваются дробью диаметром 0,63—0,76 мм.

Для обработки дробью применяются специальные установки, в которых дробь подается турбинкой; установки делаются различные для разных видов деталей. На фиг. 82 и 83 приведены схемы установок для обработки дробью пружин и торсионных валов.

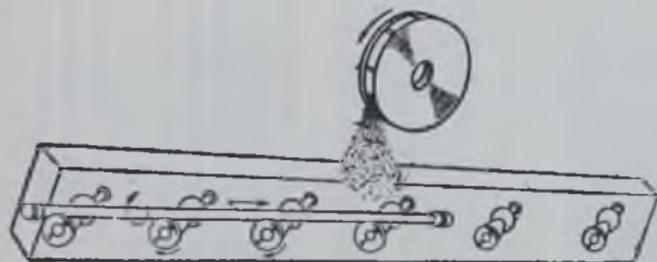


Фиг. 80. Вид излома усталости.

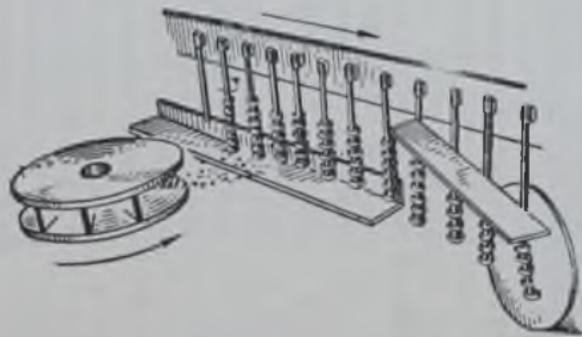


Фиг. 81. Петля упругого гистерезиса при одностороннем нагружении.

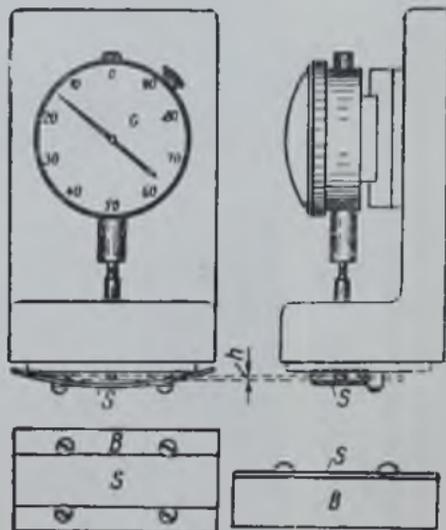
¹ „Автомобильная промышленность“ № 3, 1946 г.



Фиг. 82. Схема установки для обработки дробью торсионных валов.



Фиг. 83. Схема установки для обработки дробью пружин клапана.



Фиг. 84. Эскиз контрольного образца: h — величина прогиба; B — блок зажима контрольного образца; S — контрольный образец.

Процесс контролируется по прогибу пластинки, изготовленной из пружинной стали, закаленной и отпущенной до твердости 44—55 H_{RC150} . Толщина пластинки различна в зависимости от интенсивности наклепа. В табл. 35 приведены размеры двух образцов пластинок: I — для интенсивности, при которой стрела прогиба не превышает 0,40 мм, и II — для большей интенсивности.

Таблица 35

Тип образца	Длина	Ширина	Толщина	Допуск
I	$76,2 \pm 0,38$	19,5	$1,295 \pm 0,025$	$\pm 0,025$
II	$76,2 \pm 0,38$	19,05	$2,38 \pm 0,025$	$\pm 0,025$

Пластинка вставляется в приспособление В (фиг. 84) и помещается в установку, где обрабатывается при том же режиме, что и деталь. Затем пластинка ставится в индикатор для определения величины прогиба, которая и служит мерой интенсивности наклепа.

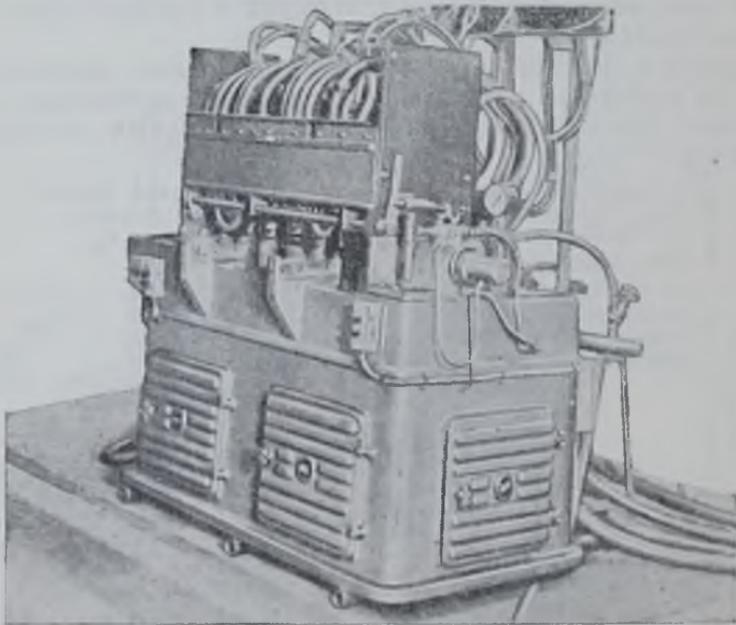
Обработка деталей, прошедших упрочнение дробью, увеличивает их стойкость в несколько раз. Ниже приведены данные, полученные при стендовых испытаниях различных деталей автомобилей.

Наименование деталей	Увеличение числа циклов до разрушения в %
Поворотные кулаки	475
Коленчатые валы	900
Спиральные пружины	1370
Валы коробки передач	520
Шестерни заднего моста	500

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОСНОВНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Коленчатый вал. Коленчатые валы изготавливаются из стали 45 и подвергаются поверхностной закалке при нагреве токами высокой частоты.

На отечественных заводах технология закалки построена наиболее рационально. В закалочной установке отечественной кон-



Фиг. 85. Станок-автомат для закалки коленчатых валов.

струкции (проф. Вологдин и др.) (фиг. 85), представляющей собой автоматический агрегат, производится с одного установка последовательная закалка 13 шеек вала, для чего в агрегате имеется 13 индукторов. Процесс нагрева и закалки вала занимает всего лишь 2 м. 30 с. Все операции выполняются автоматически.

Время нагрева и охлаждения каждой шейки длительностью 5—10 сек. регулируется автоматически с помощью реле времени. В закалочном станке смонтированы 13 индукторов, верхние половинки которых расположены в верхней передвижной части, а нижние половинки—в нижней неподвижной части станка.

Внутри станины закалочного станка размещены коммутатор, упор и гидравлическая система, осуществляющая подвод контакта между верхними и нижними половинками индуктора. После достижения контакта между половинками индукторов, охватывающих шейку вала, автоматически включается ток. После выключения тока в данном индукторе автоматически (электромагнитным краном) включается подача воды для закалки.

В станке имеются два трансформатора, которые позволяют производить обработку в следующей последовательности: после того как коленчатый вал укреплен в центрах станка и верхняя часть станка опущена, между верхней и нижней половинками индукторов образуется зазор 10—15 мм (в этот момент ток вторичной обмотки трансформаторов не замкнут); в следующий момент нижняя половинка индуктора, автоматически поднимаясь, создает контакт и образует виток вокруг шейки вала; после этого контактор включит первичную обмотку трансформатора; в следующий индуктор ток включается не после того, как разомкнется первый индуктор, а несколько раньше, — в тот момент, когда еще в первом происходит охлаждение. Это возможно осуществить потому, что каждый из парноработающих индукторов присоединен к различным трансформаторам, включение которых с помощью коммутатора происходит асинхронно.

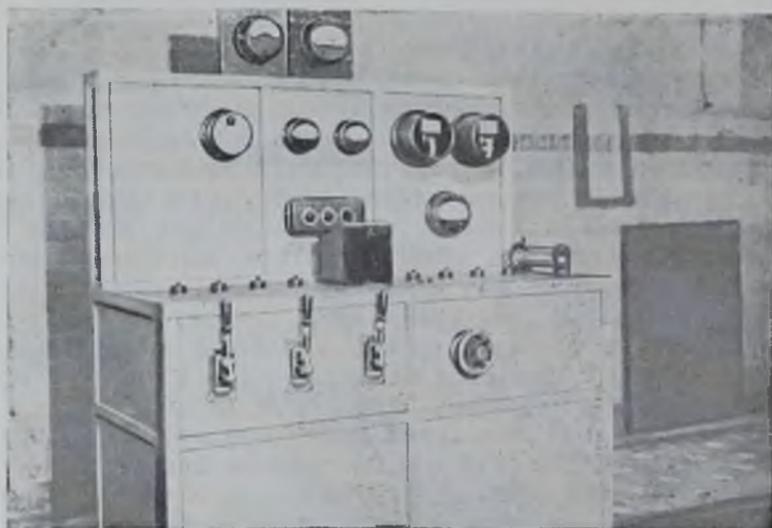
Последовательная закалка шеек в одном станке позволяет построить технологический процесс так, что за счет сокращения времени охлаждения шеек получается самоотпуск, и вал после закалки поступает непосредственно на окончательную механическую обработку.

Закалка коленчатых валов в такой установке-станке весьма рентабельна. Станок занимает очень мало места и устанавливается с пультом управления (фиг. 86) в потоке обработки валов механического цеха. Продолжительность цикла закалки увязывается с ритмом работы линии механической обработки. Отсутствие специальной операции — отпуска после закалки в значительной степени упрощает схему технологического процесса. Время нагрева шеек зависит от размера закаливаемой поверхности заданной глубины закаленного слоя и мощности генератора.

За счет перегрузки генератора можно изменять мощность при кратковременном действии тока. Для шеек коленчатого вала диаметром 75 мм установлено следующее время операции нагрева: 6 сек. для коренных шеек и 4 сек. для шатунных шеек при глубине закаленного слоя 3—4 мм. Для устранения поломки валов в месте стыка шейки и щеки нагрев не доходит до щеки вала на расстояние, равное радиусу галтели; у этого места глу-

бина закаленного слоя снижается до минимума, как это видно из фиг. 87.

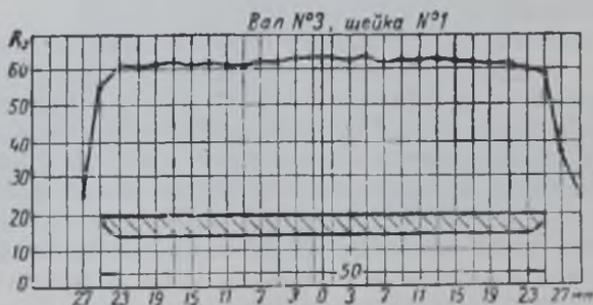
После закалки валов, изготовленных из стали марки 45, поверхность шеек имеет равномерную и высокую твердость (60—



Фиг. 86. Пульт управления станка для закалки коленчатых валов.

65 H_{RC150}). Структура закаленной поверхности представляет собой мартенсит весьма тонкого строения.

Твердость от поверхности к незакаленной сердцевине равномерно понижается (фиг. 88) и это обеспечивает прочную связь закаленного слоя с сердцевиной.

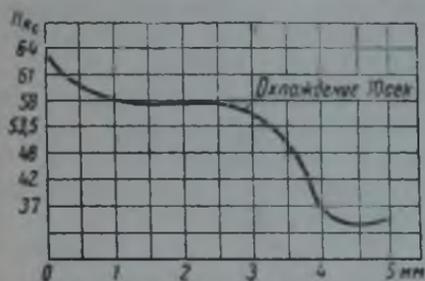


Фиг. 87. Распределение твердости по длине шейки коленчатого вала.

Статические испытания на кручение валов при пульсирующих нагрузках — 288 000 пульсаций в течение 12 час. при колебании нагрузки от 2,5 до 12 t — подтвердили особую прочность закаленного слоя шеек вала. При этом не было обнару-

жено какой-либо разницы в результатах, полученных при испытании валов, обработанных с самоотпуском и отпущенных после закалки в течение 2 час. при температуре 200°. Никаких дефектов закаленного слоя вала при рентген-анализе обнаружено не было.

Специальное испытание на смятие закаленного слоя стали марки 45 (фиг. 89) подтвердило, что слой прочно связан с основ-

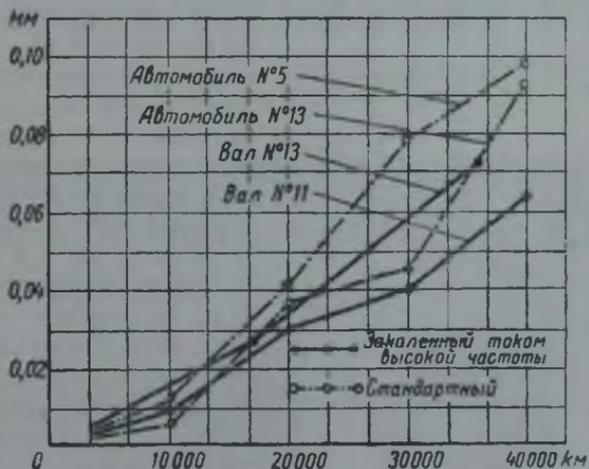


Фиг. 88. Изменение твердости по глубине закаленного слоя.



Фиг. 89. Закаленный слой, подвергавшийся испытанию на смятие.

ной массой металла. В слое не было обнаружено следов разрушения.



Фиг. 90. Сравнительная диаграмма среднего износа коренных шеек коленчатых валов, стандартных и нагретых токами высокой частоты под закалку.

Износостойчивость закаленных шеек коленчатых валов, выявленная при испытаниях длительными пробегами, оказалась значительно выше износостойчивости шеек коленчатых валов, подвергнутых обычной термической обработке (улучшению).

На диаграмме (фиг. 90) изображены кривые износа шеек валов, подвергнутых обычной термической обработке (улучшению) и поверхностной закалке при нагреве токами высокой частоты.

Результаты замеров коренных и шатунных шеек коленчатого вала после пробега 50 000 км

Замеряемая величина в мм	Коренные шейки						Шатунные шейки						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
	Диаметр до пробега	85,887	84,882	84,887	84,880	84,901	84,935	84,898	74,924	74,927	74,922	74,931	74,927
Диаметр после пробега	84,871	84,871	84,867	84,859	84,877	84,911	84,882	74,911	74,915	74,910	74,910	74,916	74,900
Износ	0,016	0,011	0,020	0,021	0,024	0,024	0,016	0,013	0,012	0,012	0,021	0,011	0,015
Овал	0,006	0,005	0,010	0,010	0,000	0,005	0,000	0,005	0,000	0,005	0,005	0,005	0,010
Конус	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005	0,000	0,005	0,005	0,005	0,000

Данные табл. 36 характеризуют высокое сопротивление износу коренных и шатунных шеек коленчатого вала дизеля после пробега 50 000 км.

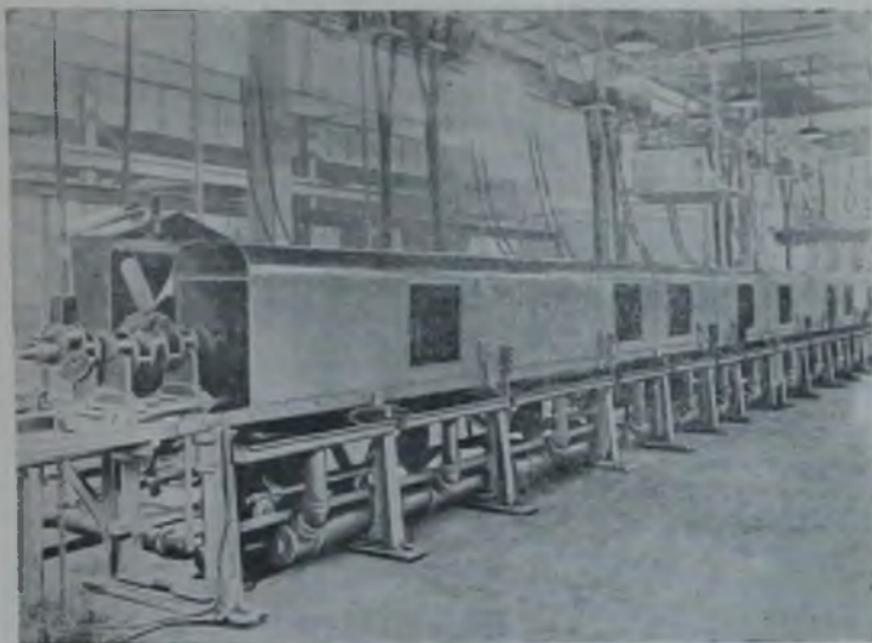
За границей также применяются установки для нагрева под закалку токами высокой частоты коленчатых валов. Установка типа Токко имеет коридорный вид (фиг. 91). Такая установка состоит из рольганга, на котором размещены закалочные камеры. В каждой камере располагается один индуктор.

Коленчатый вал, движущийся постепенно по рольгангу на специальной тележке, подводится соответствующей шейкой к индуктору. После включения тока, прогрева шейки и ее заковки с помощью струи воды, подающейся из автоматически включаемого спрейера, вал передвигается к следующей камере, где обрабатывается следующая шейка, и т. д. Затем вал отпускаяется в специальной печи при температуре 200 — 220° в течение 1 часа.

Аналогично сконструирована установка фирмы АЕГ (фиг. 92), с той лишь разницей, что в каждой закалочной камере производится нагрев и охлаждение двух шеек последовательно. В обоих случаях процесс получается длительным и требует для обслуживания большого штата.

Распределительный вал. Распределительные валы изготавливаются из цементируемых сталей марок 20, 15Х и улучшаемых сталей марок 40, 45.

Цементация распределительных валов производится на глубину 1,5—2 мм с учетом съема большого слоя при шлифовке.



Фиг. 91. Установка для нагрева под закалку токами высокой частоты фирмы „Тоссо“.

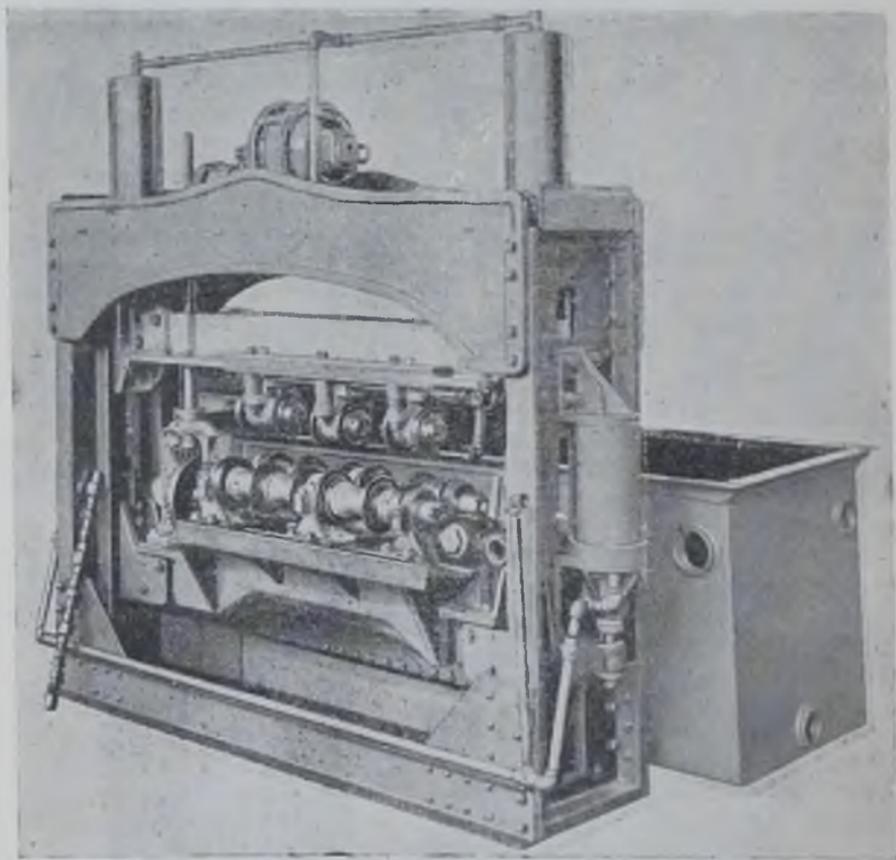


Фиг. 92. Установка фирмы АЕГ для обработки коленчатых валов.

Резьба на конце изолируется либо омеднением, либо надеванием жароупорного колпачка с асбестовой прокладкой.

Твердость после цементации, закалки и отпуска должна быть не менее $58HRC_{130}$ на кулачках и шейках. Цементация в газовой цементационной печи на глубину до 2 мм длится 18 час.

В печах газовой цементации распределительные валы в специальных приспособлениях укладываются в несколько рядов на поддон. По окончании цементации поддоны с валами охлаждаются на воздухе, затем валы проходят закалку, нагреваясь в отдельной печи. Для этого они укладываются на башмаки и, передвигаясь по печи, нагреваются до температуры 800° за 40 мин.

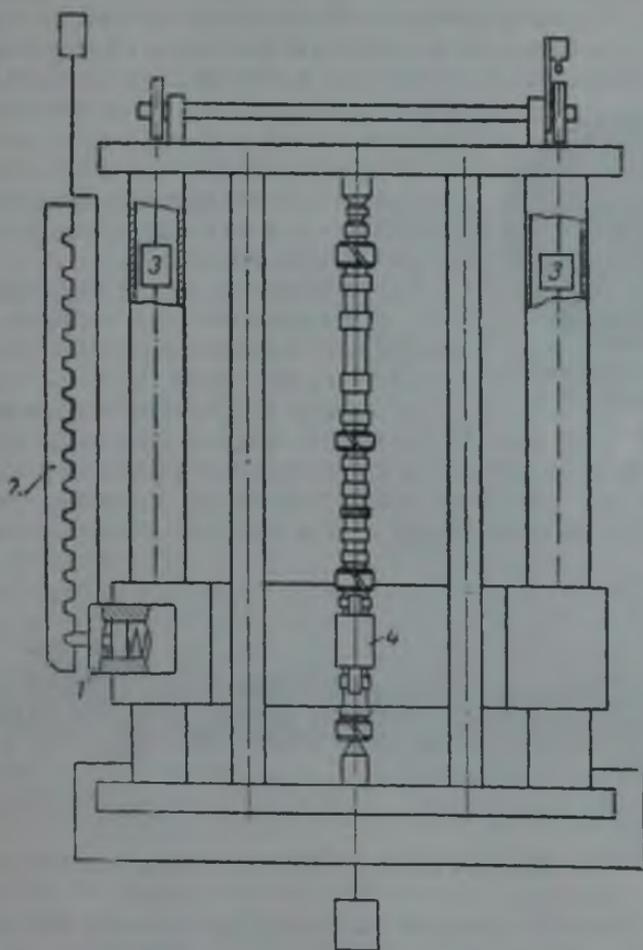


Фиг. 93. Пресс для закалки распределительных валов.

Закалка валов производится в специальной машине — прессе, изображенной на фиг. 93. Вал помещается шейками на направляющие ролики, которые в момент опускания верхней траверсы начинают вращаться, и когда ролики траверсы соприкасаются с шейками вала, рама прессы опускается в щелочной раствор плотностью 10° Бомэ.

При этом происходит одновременно правка и закалка. Степень правки недостаточна для шлифовки, и поэтому валы проходят еще дополнительную правку на 25-тонном прессе, где

достигается биение, не превышающее 0,5 мм. После закалки валы подвергаются отпуску при температуре 200° в воздушной или масляной ванне в течение 60 мин. Распределительные валы, изготовленные из стали марки 40, подвергаются после нагрева при температуре 850° С закалке в прессе в щелочном растворе плотностью 10—15° Бомэ; отпускаются при темпера-



Фиг. 94. Схема станка для нагрева распределительных валов токами высокой частоты:

1 — заселка; 2 — фиксирующая рейка; 3 — противовесы; 4 — индуктор.

туре 200° С и затем правятся перед шлифовкой. Твердость должна быть не ниже $58 H_{RC150}$.

Но наиболее рациональным методом термической обработки распределительных валов является закалка при нагреве токами высокой частоты.

В этом случае распределительные валы изготавливаются и стали марки 45 с суженными пределами по углероду (селектированной в пределах 0,42—0,47%). Зернистость стали должна быть не ниже № 6.

Станок для нагрева под закалку распределительных валов токами высокой частоты устроен значительно проще, чем для коленчатых валов.

На фиг. 94 изображена схема устройства такого станка. Распределительный вал помещается вертикально в зажимах. Индуктор 4 смонтирован на траверсе, которая под действием груза может передвигаться по ползунам рамы. Передвижение траверсы с индуктором, к которому подведены ток и вода, ограничивается клиньями, которые могут устанавливаться в заданном положении в пазах ползунов рамы.



Фиг. 95. Макроструктура кулачка.

Как движение, так и установка индуктора в положение для нагрева автоматизированы; автоматизировано также управление подачи тока и воды в индуктор.

Во время нагрева автоматически включается реле времени и длительность нагрева регулируется, благодаря чему можно получить желаемую скорость нагрева и охлаждения.

На фиг. 95 показана макроструктура кулачка, полученная после поверхностной заковки при нагреве токами высокой ча-



Фиг. 96. Макроструктура распределительного вала, разрезанного вдоль.

стоты. На фиг. 96 показана макроструктура того же вала в продольном разрезе.

Глубина закаленного слоя устанавливается на цилиндрической части около 2 мм, а на конусе кулачка она получается несколько больше.

Несмотря на то, что закалка производится с самоотпуском, распределительные валы тотчас после заковки подвергаются отпуску при температуре 150° в электрической отпускной печи, которая располагается непосредственно у заковочного станка в потоке механического цеха. Твердость после заковки и отпуска должна быть не ниже 58 H_{PC150} и получается она в том случае, если содержание углерода в стали не ниже 0,42%. Уве-

личение содержания углерода свыше 0,47% может вызвать образование закалочных трещин.

Зубья шестерни прогреваются и прокаливаются насквозь, что, однако, не вызывает поломок, так как закаленный слой плавно переходит к незакаленной сердцевине. Необходимо отметить преимущество поверхностной закалки по сравнению с цементацией. В последнем случае поверхность зубьев шестерни часто бывает перенауглерожена и вследствие этого хрупка. Для избежания хрупкости приходится принимать ряд мер: легкую обмазку зубьев шестерни глиной; помещение шестерни в коробочку, защищающую ее от резкого охлаждения при закалке в прессе; прогрев зубьев шестерни пламенем газовой горелки, вращая вал в центрах, и т. д. Все это усложняет технологию термической обработки.

Толкатель клапана. Для масляной поверхностной закалки толкателей клапана при нагреве токами высокой частоты применяется специализированный станок (фиг. 97). Производительность этого станка 2300 толкателей в час.

Пружина клапана. Из всех деталей автомобиля пружины клапана наиболее подвержены усталостным напряжениям. Около 2500—3000 колебаний в минуту испытывают пружины при работе двигателя. Поэтому основное внимание при назначении металла для клапанной пружины обращается на степень однородности металла по структуре и качество поверхности.

Для обеспечения надежности в эксплуатации клапанные пружины изготавливаются из термически обработанной, и даже шлифованной проволоки. Обычно такая проволока поставляется в прутках. Степень чистоты поверхности должна быть не выше 10 микродюймов.

Навитые на автоматических станках пружины подвергаются отпуску в соляной ванне (селитра) при температуре 400° в течение 30 мин.; после этого пружины охлаждаются в воде. 100% пружин контролируются на весах „Толидо“ и проверяются на магнитном дефектоскопе для обнаружения поверхностных пороков (рисок, волосовин). От каждой партии пружин, в особых случаях прошедших одинаковую термическую обработку, один комплект пружин испытывается на усталость в течение длительного времени (36—48 час.) в условиях, аналогичных работе в двигателе, т. е. при 2500—3000 циклах в минуту. Это испытание производится на специально приспособленном „холодном двигателе“, либо



Фиг. 97. Станок для нагрева под закалку тарелки толкателя клапана.

на машине типа Шенк. Ни одна из испытываемых пружин при этом не должна сломаться, в противном случае бракуется вся партия.

Такое жесткое испытание установлено в связи с тем, что даже самый тщательный осмотр не исключает пропуска в производство проволоки, имеющей некоторые поверхностные дефекты.

Для менее ответственных условий работы пружины клапана подвергаются лишь испытанию на сжатие на весах „Толидо“ и проверяются по размерам.

В случае необходимости клапанные пружины могут изготавливаться из отожженной проволоки. После навивки такие пружины закаляются и отпускаются. В этом случае для исправления витков, сильно деформирующихся при закалке, пружины насаживаются на стержни (приспособления), сжимаются на некоторую величину, устанавливаемую экспериментально и в зажатом состоянии поступают на отпуск в серитровую ванну. Отпуск дается при температуре 400° и выдержке 30 мин.



Фиг. 98. Структура пружины после закалки и отпуска.

После отпуска при температуре $400-410^{\circ}$ в течение 30 мин. пружины выходят более или менее ровными, рихтуются и поступают на приемку. Пружину из стали 50ХФА подвергается закалке в масле после выдержки 20 мин. при температуре 870° .

Структура после закалки и отпуска состоит из троостомартенсита тонкого строения, показанного на фиг. 98.

При работе пружин (на двигателе) наблюдается явление релаксации, т. е. ослабление пружины с последующим разрушением. Для снижения релаксации применяется так называемое заневоливание. Операция заневоливания заключается в том, что пружины выдерживаются в течение 48 час. сжатыми на специальных оправках до соприкосновения витков.

После заневоливания высота пружины несколько уменьшается, поэтому начальные размеры берут несколько большими с тем, чтобы после этой операции окончательный размер (высота) соответствовал требуемой величине.

При наличии поверхностных пороков в процессе заневоливания происходит разрушение пружин, так как создающиеся внутренние напряжения концентрируются и достигают максимальных значений в дефектных местах. Заневоливание является косвенным методом выявления качества пружинной проволоки, основное же назначение этой операции — стабилизация упругости и предупреждение релаксации. Для повышения усталостной прочности пружины после окончательной обработки подвергаются упрочнению дробью в специальных установках, в результате чего выдерживают до 23 миллионов колебаний вместо 7 миллионов у пружин, необработанных дробью.

Поршень. В современных двигателях поршни изготавливаются преимущественно из алюминиевых сплавов, так как эти сплавы по сравнению с чугуном обладают более высокой теплопроводностью и меньшим весом, а это способствует повышению мощности двигателя.

Поршни отливаются в кокиль. Приводим анализ одного из употребляемых сплавов следующего состава: $\text{Cu} - 4,5 - 7\%$; $\text{Si} - 5 - 7\%$; $\text{Mg} - 0,15 - 0,40\%$; $\text{Fe} < 1,5\%$; $\text{Mn} < 0,4\%$; $\text{Zn} - 0,5\%$; не более $0,5\%$ Ni ; Al — остальное.

В термически обработанном состоянии этот сплав имеет следующие механические свойства: $\sigma_b > 20 \text{ кг/мм}^2$; $\delta > 0,5\%$; $H_B = 100 \div 140$.

Термическая обработка поршней состоит из закалки и отпуска. Нагрев под закалку производится в электрических печах до температуры $500 - 510^\circ$ с выдержкой при данной температуре в течение 3 час. После этого они охлаждаются в воде, подогретой до $50 - 70^\circ$.

Отпуск производится при температуре $200 \pm 10^\circ$ в течение 6 час. в шахтной печи, далее поршни охлаждаются в воде.

Поршневые кольца. Поршневые кольца работают на износ при высокой температуре. Особенно в тяжелых условиях работает первое компрессионное кольцо в мощных быстроходных двигателях. Поршневые кольца должны при высокой температуре обладать высокой упругостью.

Неудовлетворительная работа поршневых колец, заключающаяся в пропуске масла, вследствие потери упругости приводит к потере мощности двигателя и увеличенному расходу масла.

Поршневые кольца имеют структуру, состоящую в основном из перлита, очень мелких включений графита, несколько повышенного содержания фосфидной эвтектики и феррита (не более 5% от поля шлифа). Для поршневых колец большинства автомобильных двигателей применяются обычные фосфористые чугуны и лишь для верхних компрессионных колец иногда применяются низколегированные чугуны. Высоколегированные чугуны применяются для колец форсированных двигателей.

По механическим свойствам эти группы чугунов характеризуются следующими цифрами:

	I группа	II группа	III группа
Предел прочности при растяжении в кг/мм^2	21 — 24	24 — 28	42 — 60
Твердость по Роквеллу (шкала D_{90})	40 — 45	44 — 52	55 — 60
Модуль упругости в кг/мм^2	8500 — 10 500	10 500 — 12 500	15 000 и более

Термическая обработка поршневых колец заключается в нагреве колец до температуры $550 - 570^\circ$, выдержке при этой температуре в течение $20 - 30$ мин. и охлаждении затем на воздухе.

Чтобы избежать деформации при нагреве, кольца насаживаются на болванку по несколько десятков штук и сжимаются с торцев, которые предварительно грубо шлифуются для удаления кромки, получающейся при обточке резцом.

Твердость колец должна быть 98—106 H_{RB} , и на одном кольце при нескольких замерах колебание твердости не должно превышать трех единиц.

Обработанные по данному технологическому процессу поршневые кольца как компрессионные, так и маслосъемные дают вполне хорошие результаты в эксплуатации.

Поршневые пальцы. Поршневые пальцы подвержены в работе большому давлению, под которым работают на износ, изгиб и срез, поэтому они как для грузовых, так и для легковых автомобилей изготавливаются из цементируемых марок сталей 20; 20ХЗ; 12Х2Н4А; 12ХНЗ и др.

Целесообразно изготавливать поршневые пальцы из трубы, цементировать, после науглероживания нормализовать, затем подвергнуть на глубине цементационного слоя нагреву под закалку токами высокой частоты. После закалки пальцы необходимо отпустить при температуре 180—200° в течение часа. Глубина слоя после шлифовки должна быть в пределах 0,8—1,0 мм. Твердость 58—62 H_{RC150} .

Валики масляного и водяного насосов. Валики масляного и водяного насосов подвергаются местной закалке до твердости 56 H_{RC150} и выше.

Изготавливаемые из малоуглеродистых цементируемых сталей, эти детали цементируются и закаляются, нагреваясь в соляных ваннах вертикально в специальных приспособлениях для уменьшения коробления. После отпуска при температуре 180—200° стержни правятся на прессе.

Наиболее рационально изготавливать их из среднеуглеродистой стали марки 45, подвергая местному нагреву токами высокой частоты под закалку с самоотпуском.

Ввиду небольшой глубины слоя (около 1 мм) нагрев может быть произведен на ламповом генераторе.

После закалки валики подлежат правке на прессе, которая легко осуществляется, так как сердцевина детали остается незакаленной.

Шестерни распределения. Улучшаемые шестерни распределения изготавливаются из стали марки 40Х и подвергаются термической обработке в штамповках. Твердость штамповок должна быть 207—255 H_B .

Окончательно изготовленные шестерни нагреваются в цианистой ванне в течение 15—20 мин. при температуре 830—860° и охлаждаются в масле. После закалки дается отпуск при температуре 180—200° в течение 60 мин. Глубина цианированного слоя должна быть 0,15—0,20 мм. Твердость по тарированному напильнику — не ниже 56 H_{RC150} .

Шестерни из стали марки 45 нормализуются в поковках и после нарезки зубьев нагреваются токами высокой частоты под закалку. Нагрев производится с помощью машинного генератора мощностью 150—200 квт, 2000 периодов; продолжительность нагрева 5 сек.; охлаждение водой. Прогрев зубьев может

быть сквозной. Допускается закалка с самоотпуском. Твердость на поверхности зуба—не ниже $56 H_{RC150}$. Шестерни из цементируемых сталей марок 20X, 20X3, 12X2H4A и др. проходят цементацию с непосредственной закалкой и отпускаются.

В некоторых случаях для уменьшения коробления шестерни, изготовленные из цементируемых сталей, после цементации охлаждаются на воздухе, нагреваются токами высокой частоты и охлаждаются эмульсией. После этого они отпускаются при температуре $180—200^{\circ}$ в течение 60 мин. Твердость при этом должна быть не ниже $56 H_{RC150}$.

Клапаны. Впускные клапаны изготавливаются из стали марки 40X и подвергаются улучшению. Температура закалки $830—850^{\circ}$; охлаждение в масле; отпуск при температуре $450—500^{\circ}$. Твердость должна быть $269—229 H_B$.

Выпускные клапаны изготавливаются из жаростойких сталей различных марок. Наиболее употребительные марки стали: ЭИ-107, ЭИ-72 и ЭСХ8.

Выпускные клапаны проходят сложную термическую обработку. Первоначальная обработка подготавливает сталь для механической обработки, а вторичная термическая обработка придает износоустойчивость концу клапана, работающего на износ.

Клапаны из стали ЭИ-107 и ЭСХ8 послековки подвергаются улучшению: температура нагрева под закалку 1100° ; выдержка в течение 30 мин; охлаждение в масле; отпуск при температуре 800° в течение 3 час.; охлаждение на воздухе; твердость по Бринелю 3,7 мн и выше.

Клапаны из стали ЭИ-72 проходят следующую термическую обработку: закалка при температуре 1050° в воде; отжиг при температуре 870° в течение 5 час. и охлаждение до 700° со скоростью 100° в час, затем охлаждение вместе с печью; нагрев при температуре 670° и охлаждение на воздухе; закалка при температуре 790° в масле.

После механической обработки концы как впускных, так и выпускных клапанов нагреваются в специальном электроприборе типа сварочного аппарата и охлаждаются в масле. Твердость конца должна быть не ниже $45 H_{RC110}$.

Венец маховика. Венец маховика изготавливается из стали марки 45. После нарезки зубьев венцы нагреваются в электрической шахтной печи до температуры 850° и в нагретом состоянии насаживаются на обод маховика. Эта операция нормализует сталь и увеличивает твердость зубцов маховика, работающих на трение. Твердость не ниже $35 H_{RC130}$.

В случаях изготовления обода из улучшаемой стали 50Г обод после нарезки зубьев подвергается улучшению. Закалка должна производиться в специальном штампе, отпуск—в шахтной печи.

Шатун. Шатун работает в весьма напряженных условиях, подвергаясь продольному изгибу, и испытывает большие напряжения от инерционной нагрузки, зависящей от массы движущихся ча-

стей и числа оборотов, поэтому стремятся к облегчению веса шатуна, что приводит к сложной форме его в отношении термической обработки. Переход от толстого сечения к тонкому служит часто местом образования на таврике шатуна закалочных трещин, а также здесь часто образуются закаты, которые служат местом возникновения напряжений.

Шатуны изготавливаются из углеродистой стали—марок 45, 40 и легированных марок 40X, 40XН, 40XНМ.

Шатуны подвергаются улучшению в поковках. Твердость устанавливается в пределах 229—241 НВ.

Шестерни коробки передач. Шестерни передаточных механизмов подвержены в эксплуатации переменной нагрузке, сопряженной с ударами при большом удельном давлении.

Для сильно нагруженных узлов (коробка передач, задний мост) шестерни для обеспечения требуемой прочности изготавливают из легированной стали и подвергаются сложной термической обработке.

Сильно нагруженные шестерни, испытывающие большое удельное давление при работе на трение, следует изготавливать из легированных цементируемых марок сталей: 12X2H4A, 15XF, 15X, 18XГМ, 20X3, 18XНМА, 18XГТ и 15НМ.

Для того, чтобы шестерни были прочными и работали бесшумно, необходимо их надлежащим образом обработать как механически, так и термически.

Для получения однородных результатов диапазон содержания углерода в стали необходимо иметь суженным до 0,05%.

Кроме того, в технические условия поставки цементируемых сталей необходимо включать требования на определенный размер аустенитового зерна. Целесообразнее иметь сталь с зернистостью № 6—7. Мелкозернистые стали не склонны к перегреву и сравнительно мало деформируются при термической обработке.

Шестерни подвергаются газовой цементации или газовому цианированию. Непосредственная закалка после цементации позволяет избежать получения в структуре цементитной сетки и скопления карбидов, что улучшает качество шестерен.

При применении непосредственной закалки после газовой цементации процесс термической обработки упрощается и сводится к трем операциям:

- 1) цементация с непосредственной закалкой,
- 2) промывка и
- 3) отпуск.

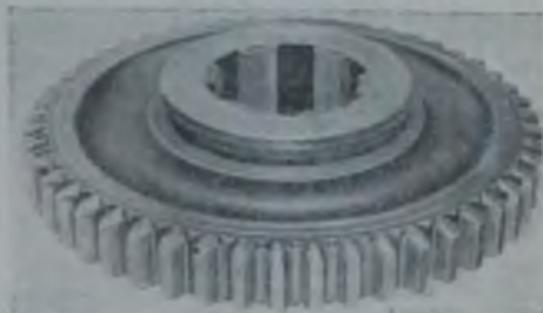
При таком цикле термической обработки из-за отсутствия окисления отпадает необходимость в очистке шестерен от окалины, приводящей к некоторому искажению профиля зубцов.

Обработанные указанным методом шестерни характеризуются минимальной деформацией, большой эксплуатационной стойкостью и бесшумностью в работе. Твердость поверхности зубцов после отпуска при 180—200° должна быть не ниже 58HRC₁₅₀.

а сердцевины в пределах $35-45 H_{RC150}$. В случае, если твердость поверхности зубцов получается ниже $58 H_{RC150}$, вследствие наличия остаточного аустенита, необходимо шестерни обработать холодом и затем дополнительно отпустить в течение часа при $180-200^\circ$.

Основным показателем качества термической обработки шестерен является биение по начальной окружности. При проверке деформации качество шестерен признается хорошим, если биение по начальной окружности не превышает $0,12$ мм для шестерен грузовых автомобилей, модуль $4-5$, причем первоначальное биение сырой шестерни не должно превосходить $0,03-0,04$ мм. Для термически обработанных шестерен легковых автомобилей биение по начальной окружности не должно быть более $0,05-0,06$ мм.

При обычной обработке с применением цементации в твердом карбюризаторе с последующей двукратной или одинарной закалкой получается биение зуба шестерен коробки скоростей по начальной окружности в пределах $0,20-0,35$ мм.



Фиг. 99. Шестерня типа А.

Это вызывает плохое зацепление и шум в коробке скоростей автомобиля, а в эксплуатации — износ и поломку шестерен.

Для оценки эффективности непосредственной закалки по сравнению с обычным методом термической обработки цементированных деталей приводим диаграммы, характеризующие биение по начальной окружности шестерен типа А, модуль $4-5$ (фиг. 99).

При обычной термической обработке шестерен типа А (двойная закалка и отпуск) допускается биение зуба по начальной окружности до $0,12$ мм.

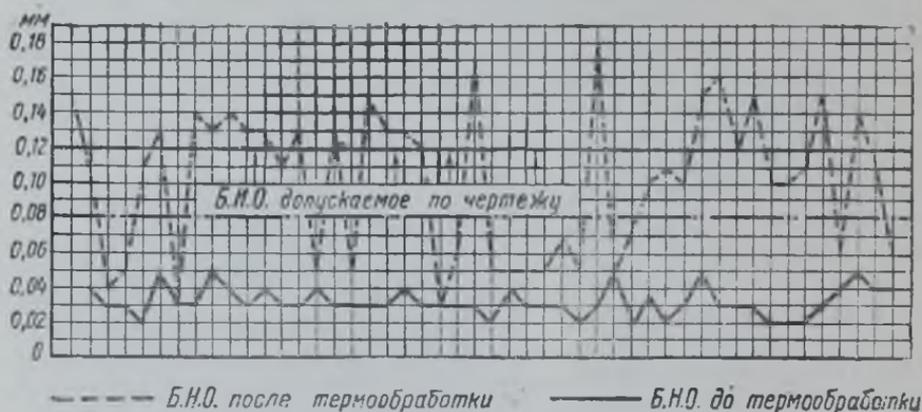
При применении сложной термической обработки: двукратная закалка в масле при температуре первой закалки 930° и второй 830° , отпуск в течение часа при температуре 200° , получаются неудовлетворительные результаты, например (фиг. 100) почти 50% шестерен (21 из 47) имели биение свыше $0,12$ мм.

При непосредственной закалке в масле после газовой цементации с последующим отпуском при температуре 200° достигаются лучшие результаты (фиг. 101), которые подтверждают, что непосредственная закалка является наиболее эффективной, так как лишь одна шестерня из 43 в приводимом примере имела биение свыше $0,08$ мм, шесть — равное $0,08$ мм и остальные — ниже $0,08$ мм.

Внедрение в производство непосредственной закалки цементруемых шестерен, кроме улучшения качества, уменьшения и

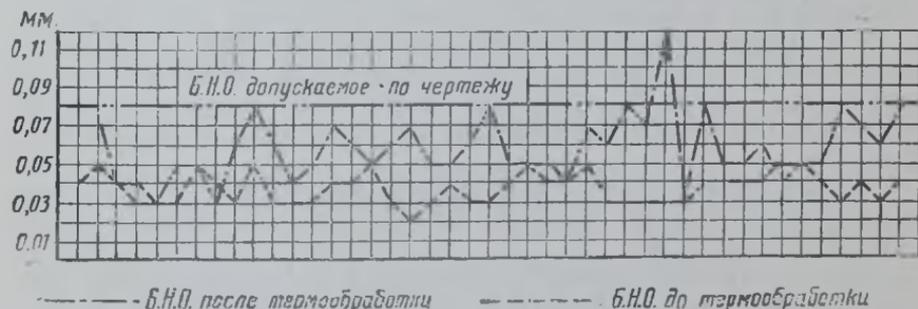
сокращения брака, снижает стоимость термической обработки. Последнее характеризуется следующими данными:

Тип шестерни	Стоимость обработки за 1 шт. в коп.	
	при обычном способе	при непосредственной закалке
А	5,21	2,04
Б	8,1	2,7



Фиг. 100. Биение по начальной окружности шестерен, прошедших сложную термическую обработку (двухкратную закалку).

Применение непосредственной закалки позволяет внедрить циклический метод термической обработки, соединяя в одном



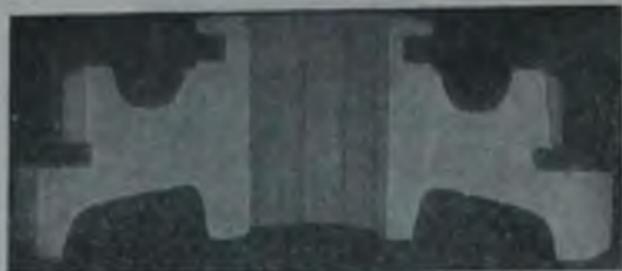
Фиг. 101. Биение по начальной окружности шестерен, закаленных непосредственно после газовой цементации.

агрегате цементационную печь, закалочное устройство, моечную машину и отпускную печь. Качество термической обработки шестерен во многом зависит от качества штамповки заготовок шестерен.

На фиг. 102 изображена макроструктура шестерни, исследованной в связи с резкой неоднородностью деформации зубьев. Как видно по фотографии, штамповка была произведена неудовлетворительно, так как заметная рыхлота является следствием различного уплотнения металла по сечению; особенно это



Фиг. 102. Макроструктура шестерни каретки, неравномерно деформированной при штамповке.



Фиг. 103. Поперечный макрошлиф шестерни, показанной на фиг. 102.



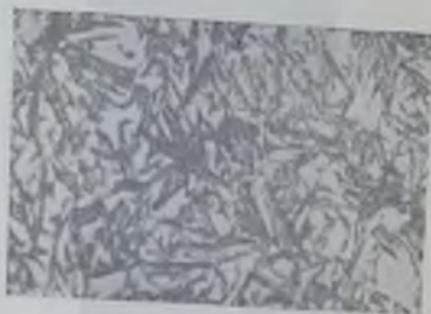
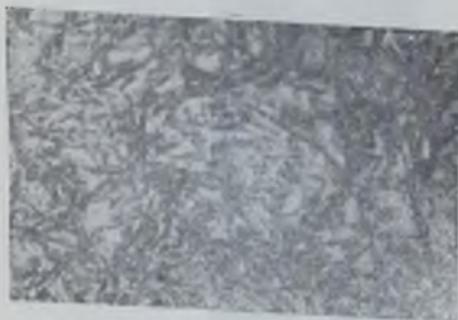
Фиг. 104. Макроструктура правильно отштампованной шестерни.



Фиг. 105. Поперечный макрошлиф шестерни, показанной на фиг. 104.

заметно на поперечном макрошлифе (фиг. 103) у отверстия и края.

Заготовка была маломерной, и металл заполнил форму штампа неравномерно. Это легко можно установить по внешнему виду поковок: у правильно отштампованных поковок края острые, а при плохом заполнении края закруглены. На фиг. 104 показана микроструктура другой шестерни, у которой поковка была от-



а
б
Фиг. 106. Микроструктура поверхности зубьев шестерен.

штампована правильно; резко выраженной рыхлоты в этом случае не заметно (фиг. 105). Нарушения технологии термической обработки также влекут за собой снижение качества; так, например, влияние неравномерного нагрева и охлаждения при



а
б
Фиг. 107. Микроструктура сердцевины зубьев шестерен.

по остуживанию перед закалкой резко сказывается на результатах деформации, вызывая так называемые провалы по биению зуба по начальной окружности в отдельных секторах шестерни.

На фиг. 106, показаны микроструктуры поверхности зубьев шестерен, вырезанных из участка с нормальной деформацией "а" и из участка с провалом "б".

Зуб, имеющий ненормальную деформацию, имеет структуру, состоящую из среднеигльчатого мартенсита и остаточного аустенита, а зуб, имеющий нормальную деформацию, имеет структуру, состоящую тоже из среднеигльчатого мартенсита, но остаточного аустенита имеется меньше. Заметна также разница и

в структуре сердцевины зубьев (фиг. 107, а и б). Исходная структура поковок (фиг. 108) состояла из равноосных зерен феррита и сорбитообразного перлита.

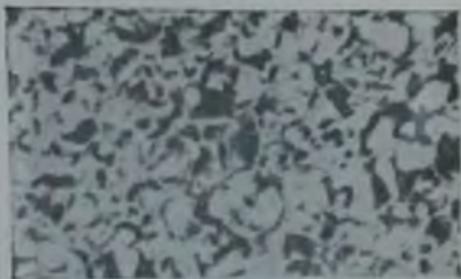
Неоднородность структуры получилась в результате неравномерного подстуживания и вызвала биение зубьев в месте провала до 0,4 мм; в остальных местах биение не превышало 0,12 мм. Твердость на всех зубьях была в пределах $60 H_{RC150}$, а сердцевины $44-45 H_{RC150}$. Глубина цементированного слоя около 1,0 мм.

Неравномерность подстуживания перед закалкой произошла оттого, что с одного края шестерни находились в камере близко у горячей заслонки печи, а с другой — охлаждались воздухом, проникающим в камеру подстуживания со стороны разгрузочного конца, заслонка у которого была неплотно закрыта. Вследствие этого произошел неодновременный и неравномерный распад аустенита, вызвавший различное изменение объема металла.

Практика показывает, что на деформацию шестерен в сильной степени влияет также качество механической обработки. Примером может служить следующее наблюдение. Шестерни, изготовленные из заготовок безковки, нарезанные из штанги стали 20ХЗ, цементировались в совершенно идентичных условиях: на одной оправке и на одном поддоне, одновременно подохлаждались и закаливались в масле вместе с поддоном. И тем не менее одна из них после отпуска была принята по шлицевому калибру, а другая забракована. Наблюдение установило, что дорновка велась при неудовлетворительной смазке, вследствие чего дорн в некоторых шестернях надирал поверхность на шлицах, сминая зерна металла. Наблюдение установило также, что обычно заметная деформация получается при цементации до закалки, что указывает на большое влияние качества механической обработки на деформацию.

Большое значение имеет зернистость металла. Наблюдение, проведенное над шестернями, изготовленными из стали марки 20ХЗ с зерном № 3 и зерном № 7, показало, что шестерни имевшие зерно исходной структуры № 7, получили минимальную деформацию шлицевого отверстия и были приняты по шлицевому калибру, а шестерни, имевшие зерно № 3, получили большую деформацию и по калибру не были приняты.

Практика предусматривает влияние зернистости стали на деформацию, поэтому при массовом производстве, предварительно изучая величины деформаций, устанавливают припуск на калибровку шлицевых отверстий для определенной зернистости



Фиг. 108 Исходная микроструктура поковки шестерни.

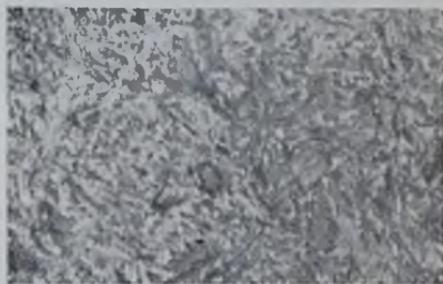
стали. Шестерни после закалки и отпуска не прошедшие по калибру подвергаются калибровке специальным дорном. Калибруют отверстия при твердости закаленного цементированного слоя 56—62 H_{RC150} .

Многочисленные данные по замеру шестерен показывают, что шестерни до термической обработки, вследствие неодинаковых условий нарезки зубьев, вызванных работой станка и качеством инструмента, имеют отклонения в размерах по толщине зуба в пределах 0,01—0,04 мм, которые после термической обработки увеличиваются до 0,02—0,10 мм¹.

Для уменьшения влияния наклепа применяется отпуск предварительно обточенных поковок при температуре 550° в течение 1½ час. с последующим медленным охлаждением.



а



б

Фиг. 109, *а, б*. Структура зубьев шестерни, претерпевших максимальные объемные превращения.

Рассмотрение приведенных примеров дает основание считать, что в условиях максимальных объемных структурных превращений, когда почти весь аустенит превращен в мартенсит (фиг. 109, *а* и *б*), решающее значение для получения минимальной деформации шестерен при термической обработке имеют условия штамповки, механической обработки и точное соблюдение технологии нагрева и охлаждения шестерен.

Термическая обработка шестерен из улучшаемых марок сталей 40Х, 35ХН, 35ХНМ заключается в закалке после нагрева в соляных ваннах и отпуске.

Ванны для нагрева под закалку состояются из смеси солей: 1) 60% $CaCl_2$ + 40% $NaCl$; 2) 85% $CaCl_2$ + 15% $NaCN$. Первая служит для подогрева, вторая — для нагрева под закалку. Выдержка в первой ванне при температуре 650° составляет 20 мин. и во второй ванне при температуре 850° составляет 20 мин.; охлаждение в масле.

¹ При выпуске шестерен из одной марки стали необходимо установить путем массовых замеров величину увеличения по толщине зуба после термической обработки и соответственно уменьшить толщину зуба при нарезке шестерен.

После закалки детали промываются в щелочном растворе, горячей воде и поступают на отпуск. При массовом производстве целесообразно иметь механизированный агрегат для цианирования с автоматической регулировкой температуры.

Шлицевые шестерни нагреваются на оправках из жароупорной стали; размеры оправок подбираются экспериментальным путем в зависимости от марки стали и формы шестерен¹.

Примером обработки шестерен из улучшаемых сталей могут служить данные, приведенные в табл. 37.

Таблица 37

Режим термической обработки шестерен из стали 40X

Наименование шестерен	Концентрация NaCN в ванне %	Температура в °C	Время выдержки в мин.	Среда охлаждения	Температура отпуска в °C	Время отпуска в мин.	Твердость //RC150
Ведомая шестерня заднего моста	20—25	815±10	20	Масло	200±10	90	48—55
Сателлит дифференциала	20—25	815±10	10	••	200±10	90	48—55
Ведущая шестерня . . .	20—25	815±10	10	••	200±10	90	48—55
Главная ведущая шестерня	20—25	815±10	30	•••	200±10	90	48—55
Промежуточный вал . . .	20—25	815±10	20	••••	200±10	90	48—55
Шестерня стартера . . .	20—25	815±10	5	•••••	200±10	90	48—55
Крестовина сателлита . .	20—25	815±10	10	•••••	200±10	90	48—55

После закалки, тщательной промывки от масла и отпуска в воздушной печи шестерни могут очищаться от легкой окислы металлическими щетками. Очистка песком должна быть исключена и заменена обдувкой дробью.

Пазовый вал. Пазовый вал в настоящее время изготавливается из улучшаемой стали. Деталь сложная, склонная к короблению при закалке после цементации и трудно правится под прессом. Пазовый вал изготавливается из среднеуглеродистой стали марки 45 или 40X и подвергается нагреву под закалку токами высокой частоты.

В том случае, когда пазовые валы изготавливаются из стали марки 40X, они предварительно должны подвергнуться в заготовках улучшению и после механической обработки поступать на нагрев под закалку токами высокой частоты.

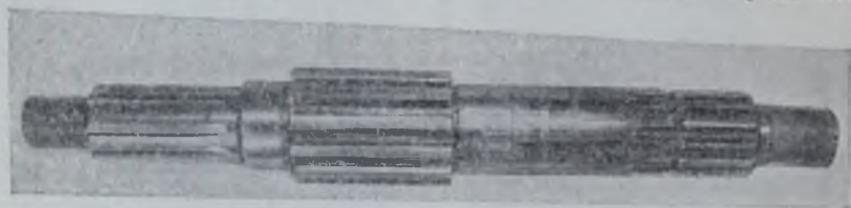
В некоторых конструкциях требуется придать твердость не по всей длине вала, а лишь в определенных местах (фиг. 110).

¹ Шлицевые шестерни, изготавливаемые из сталей минимально деформирующихся (18XНМА, 18ХГТ), сохраняют после термической обработки стабильность размеров; первоначальные размеры подбираются экспериментально, нагрев под закалку и закалка производятся без оправок.

В этом случае производится местный нагрев токами высокой частоты с последующей закалкой и самоотпуском. Твердость улучшенного вала 269—229 НВ. Твердость закаленных мест $> 56 H_{RC150}$.

Вилки и головки коробки передач. Вилки и головки коробки передач изготавливаются из среднеуглеродистой стали марки 35. Желательно для вилок, подлежащих правке, отбирать плавки с содержанием 0,30—0,35% С. Детали подвергаются цианированию на глубину 0,2—0,25 мм с закалкой в воде или масле (в зависимости от конфигурации). После закалки детали отпускаются при температуре 180—200° в течение одного часа. Твердость определяется тарированным напильником и должна быть не ниже 56 H_{RC150} .

Стержни коробки передач. Стержни коробки передач в связи с распространением применения высокочастотного нагрева изго-



Фиг. 110. Пазовый вал.

готавливаются из среднеуглеродистой стали марки 45 и подвергаются местному нагреву на глубину около 1 мм и закаляются с самоотпуском. Твердость после закалки должна быть не менее 56 H_{RC150} . В исключительных случаях после закалки стержни правятся под прессом.

Диски сцепления. Диски сцепления и другие плоские детали, изготавливаемые из среднеуглеродистых сталей, 50Г; 65Г и др. нагреваются под закалку в камерных печах, поштучно или в стопках. После закалки диски в специальной электропечи нагреваются между штампами в зажатом состоянии и отпускаются при температуре 450—500°. В этих штампах одновременно происходит правка дисков в нагретом состоянии. Твердость диска после отпуска должна быть 42—47 H_{RC150} .

Червяк руля и сошка руля. Червяк руля работает на трение и удар и находится в ответственном узле автомобиля, требующем весьма большой надежности в эксплуатации.

Для грузовых автомобилей червяк руля делается из стали марки 15Х или 20 и подвергается цементации на глубину 0,8—1,0 мм, закалке в масле и отпуску при температуре 200° в течение 60 мин., твердость при этом получается 56 H_{RC150} и выше.

Для легковых автомобилей, где деталь эта имеет меньшее сечение и работает в более маневренных условиях, применяется

легированная сталь марки 30ХНА или 35ХНА. В процессе механической обработки червяки подвергаются промежуточной термической обработке—нормализации для уменьшения деформации при последующем цианировании.

Нормализация полуфабриката производится при температуре 850° при выдержке в течение 30 мин. и охлаждении на воздухе; после этого дается отпуск при температуре 650° .

Цианирование производится на глубину 0,2—0,35 мм при температуре $820—830^{\circ}$ с последующей закалкой в масле; концентрация циана в ванне 0,4—1,0%.

Продолжительность пребывания в цианистой ванне 35 мин. В ванну одновременно погружается несколько червяков. Глубина слоя определяется под микроскопом по контрольному образцу.

После закалки дается отпуск при температуре $180—200^{\circ}$ в течение 60 мин. Твердость должна быть в пределах $54—60 H_{RC150}$ (замеренная при нагрузке 60 кг).

После очистки на щетках поверхности червяков они проверяются на магнитоскопе для выявления трещин.

Сошки руля изготавливают из цементируемой стали марок 15Х, 12Х2Н4А, 20ХЗ и др., а также и из улучшаемой стали марок 40Х, 40ХНМ и др. в зависимости от конструкции руля. Твердость сошки руля в улучшенном состоянии должна быть $255—229 H_B$.

Шаровые пальцы, шкворни. Эти детали должны иметь вязкую сердцевину и износоустойчивую поверхность, имеющую твердость не ниже $58 H_{RC10}$.

Шкворни цементируются и непосредственно закаливаются, а затем отпускаются при температуре $180—200^{\circ}$ в течение часа.

Шаровые пальцы изолируются по резьбе и конусу медью, цементируются, охлаждаются на воздухе, затем нагреваются в свинцовой ванне для закалки $\frac{2}{3}$ шаровой части и отпускаются при температуре $180—200^{\circ}$ в течение часа. Наиболее совершенным технологическим процессом термической обработки перечисленных деталей является следующий: цементация, охлаждение на воздухе, нормализация, поверхностная закалка при нагреве токами высокой частоты. Такая термическая обработка обеспечивает однородную структуру и высокое сопротивление износу поверхности.

Шестерни заднего моста. Шестерни заднего моста: 1) большая цилиндрическая; 2) малая цилиндрическая; 3) ведущая; 4) ведомая; 5) полуосевая; 6) сателлит изготавливают как для грузовых, так и для легковых автомобилей из цементируемых марок сталей.

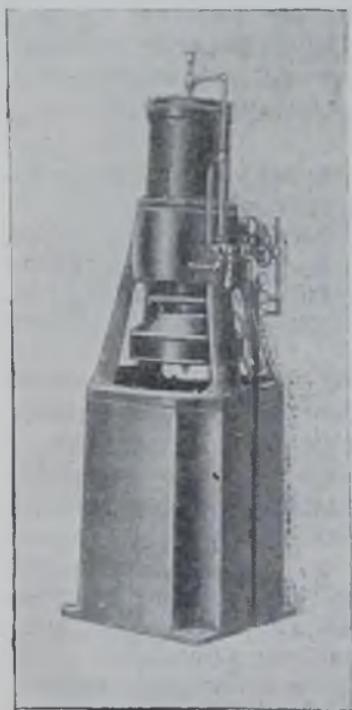
В зависимости от удельных давлений, испытываемых поверхностью зуба, доходящих до весьма значительных величин, назначается та или иная марка стали.

Наиболее употребительны марки: 12Х2Н4А, 20ХЗ, 18ХГМ, 18ХГТ, 18ХНМА. Наилучшей, но наиболее дорогой является марка 18ХНМА.

Применение цементируемых сталей вызвано требованием обеспечить высокую прочность при больших давлениях на поверхности зубьев.

Из перечисленных шестерен наименее нагружен сателлит, который можно изготавливать из менее легированных сталей и в отдельных случаях из марок 40X и 35XГС.

Все шестерни за исключением большой цилиндрической подвергаются газовой цементации с непосредственной закалкой. Большая цилиндрическая шестерня закаливается под прессом (фиг. 111); это вызвано сложной формой и значительным короблением шестерни.



Фиг. 111. Закалочный пресс.

Пресс имеет верхний и нижний штампы и разжимной конус, который при опускании верхнего штампа центрирует отверстие шестерни. После этого шестерня в зажатом состоянии опускается в масло, где и охлаждается. После закалки шестерни промываются от масла и отпускаются при температуре 180—200° в течение часа.

Ведомые шестерни со шлицевым отверстием подвергаются после цементации охлаждению на воздухе. Твердость получается после охлаждения 30—35 H_{RC150} . После этого шестерни дорнуются. Шлицевое отверстие имеет припуск на дорновку, устанавливаемый опытным путем.

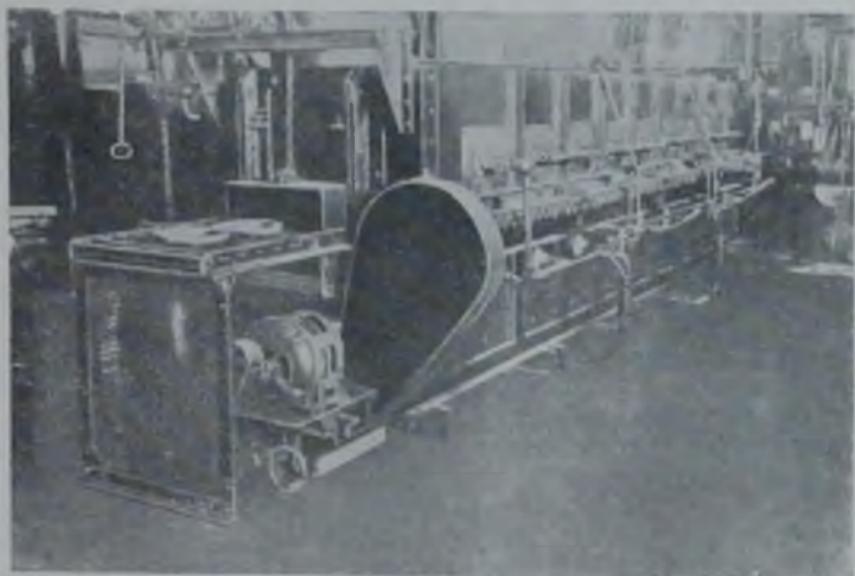
Дорнованная шестерня нагревается под закалку на поддонах в обычных конвейерных пламенных или электрических печах типа, изображенного на фиг. 112. Основным требованием является постепенный и равномерный нагрев с минимальным окислением. Поэтому на поддон вместе с шестернями насыпается древесный

уголь или в камеру вводится нейтральный газ.

Глубина цементированного слоя у группы шестерен заднего моста несколько выше, чем у шестерен коробки скоростей, и находится в пределах 1,0—1,5 мм. Требования твердости и структура цементированного слоя те же, что и для шестерен коробки скоростей. Шестерни заднего моста, имеющие в структуре остаточный аустенит, подвергаются обработке холодом.

Шестерни полуосевые, имеющие шлицевое отверстие, после непосредственной закалки и отпуска при температуре 180—200° калибруются специальным дорном. Необходимо иметь в виду и предусматривать при закалке, что отпуск снижает твердость на 2—3 единицы.

Шестерни, изготавливаемые из стали 18ХНМА, склонной к образованию большого количества остаточного аустенита, цементируются в шахтных печах. После цементации их подвергают нагреву под закалку с предварительным подогревом в соляных ваннах, а затем отпускают при температуре 180—200° в течение часа. Обработка холодом в данном случае применяется как исключение вследствие особого режима цементации, обеспечивающего равномерную диффузию углерода из поверхностного цементированного слоя к центру. Такие же результаты



Фиг. 112. Печь для нагрева под закалку шестерен.

могут быть получены в безмуфельных печах с радиационной системой нагрева, имеющих специальную зону для подстуживания деталей. После этого детали могут подвергаться непосредственной закалке.

В качестве примера обработки ведущей шестерни заднего моста, изготовленной из стали 18ХНМА (фиг. 113), приводим описание процесса нагрева ее под закалку.

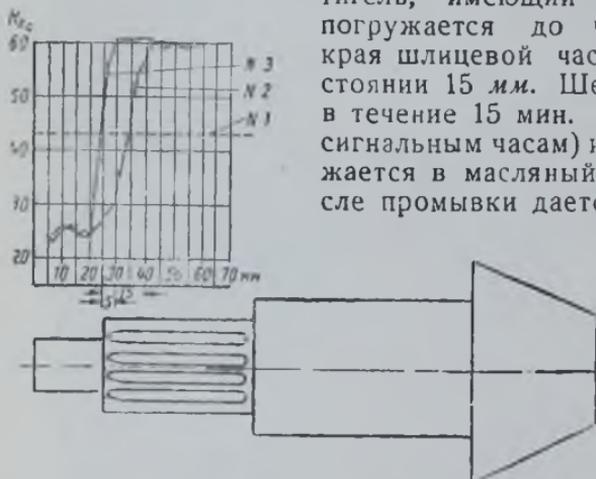
Шестерня в работе испытывает большой крутящий момент в хвостовой части и имеет предварительный натяг при сборке, обеспечивающий правильность зацепления.

Учитывая это, техническими условиями предусматривается следующее распределение твердости: на участке резьбы в хвостовой части не выше $30H_{RC150}$; на участке, расположенном на расстоянии 15 мм от начала шлицевой части хвоста, твердость должна быть не ниже $48H_{RC150}$ (для предупреждения от смятия шлиц); на остальных участках твердость должна быть выше $58H_{RC150}$

Ведение процесса цементации в шахтной печи по ниже описанному режиму обеспечивает получение твердости на хвостовой части с резьбой не выше $30H_{RC150}$. Резьба изолируется колпаком из жароупорной стали с асбестовой прокладкой и промазкой глиной по краю колпака.

Цементированная шестерня помещается в приспособление, позволяющее подвесить ее строго вертикально и погрузить в таком состоянии в соляную ванну, нагретую до температуры 750°C .

Подогрев производится в течение 10 мин., и после этого шестерня переносится в рядом расположенный в той же печи тигель, имеющий температуру 830° , и погружается до черты, отстоящей от края шлицевой части у резьбы на расстоянии 15 мм. Шестерня выдерживается в течение 15 мин. (время проверяется по сигнальным часам) и затем медленно погружается в масляный бак для закалки. После промывки дается отпуск при температуре $180\text{--}200^{\circ}$ в течение часа. Биение по оси не должно превышать 0,05 мм. Чаще всего биение либо укладывается в норму, либо незначительно превышает ее, и в этом случае шестерня правится.



Фиг. 113. Схема распределения твердости в сердцевине и по поверхности резьбового и шлицевой концов ведущей шестерни заднего моста после различных режимов термической обработки:

№ 1 — твердость цилиндрической части после закалки; № 2 — кривая твердости по поверхности конусной части после закалки с оставлением при нагреве над уровнем ванны резьбового конца на длине 15 мм шлицевой части; № 3 — кривая твердости по поверхности конусной части после закалки с оставлением при нагреве над уровнем ванны резьбового конца на длине 5 мм шлицевой части.

пустима, так как приводит к надрыву металла по резьбе, который служит причиной отрыва резьбовой части при сборке шестерни в момент создания натяга.

Следует обратить внимание также на правильность замера твердости. Гипоидный зуб почти не имеет площадки, достаточной для двух-трех замеров твердости по Роквеллу, поэтому твердость проверяется с торца при устойчивой установке шестерни в специальном приспособлении. Твердость должна быть не ниже $58H_{RC150}$.

Крестовины. Крестовины кардана и дифференциала изготавливаются из цементируемых сталей, а также и из стали марки 45.

Крестовины цементируются на глубину 1,0—1,3 мм с непо-

средственной закалкой. После цементации и закалки крестовины отпускаются в течение часа при температуре 180—200°; твердость при этом должна быть не ниже $56H_{RC150}$.

Как правило, все крестовины после отпуска правятся под прессом. Возможно также крестовины изготавливать из стали марки 45. В этом случае подвергаются нагреву токами высокой частоты только оси крестовины на глубину 2—2,5 мм. Твердость должна быть не ниже $58H_{RC150}$.

Крестовины могут изготавливаться также из стали марки 40X и нагреваться под закалку в цианистой ванне с последующим отпуском при температуре 180—200° в течение часа.

Лонжероны. Лонжероны штампуются из углеродистой или марганцовистой листовой стали марок 25, 1330. Для упрочнения лонжероны из марганцовистой стали 1330 подвергаются улучшению.

Нагревается лонжерон под закалку в специальной печи, на поду которой проложены жароупорные цепи, по которым он перемещается от загрузочного конца к выгрузочному. У выгрузочного конца лонжерон передается на решетчатый роликовый приемник; еще будучи нагретым, зажимается сверху роликами и погружается в закалочный бак с маслом. Для достижения равномерной закалки охлаждение происходит при непрерывном качании лонжерона в приспособлении в масле.

После закалки лонжерон передается в отпускную печь такой же конструкции, как и закалочная.

Для стали марки 1330 температура закалки 850°, температура отпуска 600—650°. Твердость получается в пределах 255—207H_B.

После термической обработки лонжероны правят.

Детали амортизатора. Ось амортизатора изготавливается из марки стали 45 и после предварительной механической обработки подвергается закалке при нагреве токами высокой частоты в местах, работающих на износ. Глубина закаленного слоя около 2,0—2,5 мм. Нагрев производится в течение 2—3 сек. при помощи генератора 150 ква, 2000 периодов. Закалка производится с самоотпуском. Твердость должна быть не ниже $58H_{RC150}$.

Головка амортизатора изготавливается из цементируемой стали 20X3, 12X2H4A и др. Глубина цементации должна быть 1,0—1,2 мм. Твердость после цементации, закалки и отпуска — не ниже $58H_{RC150}$.

Передняя ось. Передняя ось изготавливается из среднеуглеродистой стали марок 45, 40X, 40XH в зависимости от требуемой прочности. Штамповки передних осей после нормализации подвергаются улучшению.

Улучшение без предварительной нормализации не дает удовлетворительных результатов, так как штампуются передние оси при высокой температуре, вызывающей перегрев, который не уничтожается при нагреве под закалку.

Нагреваются оси под закалку при температуре 830—850°, отпускаются при температуре 500—600° (в зависимости от марки

стали). Длительность выдержки при отпуске также зависит от марки стали.

Оси из хромоникелевой стали выдерживаются при отпуске в течение 2—3 час. После отпуска штамповки необходимо обязательно замачивать в воде или масле. Твердость термически обработанной оси должна быть 217—255Н_В.

В условиях массового производства для нагрева под закалку применяются конвейерные печи. Передние оси грузятся на башмаки и продвигаются по поду печи от периодического толкания. Охлаждение происходит в конвейерном баке, отпуск—в печи, аналогичной закалочной. После улучшения оси правятся.

Полуоси. Полуоси изготавливаются из улучшаемых сталей марок 40X и 40XH. После штамповки полуоси нормализуются для устранения перегрева, затем обрабатываются механически, включая фрезеровку пазового конца, и после этого проходят улучшение.

Нагреваются под закалку полуоси в камерных печах с движением по поду печи на башмаках.

Закалка полуоси производится в масле.

В некоторых случаях, когда требуется для предотвращения скручивания получить более глубокую закалку по сечению в месте около фланца, этот конец полуоси перед полным охлаждением в масле охлаждается в течение нескольких минут в воде. Упрочнение этого места полуоси может быть произведено также при помощи высокочастотного нагрева и местной закалки с самоотпуском.

Отпуск улучшаемых полуосей производится в конвейерной печи такой же конструкции, как и закалочная. Температура закалки должна быть 830—850°; температура отпуска 450—500°, твердость 321—269Н_В.

Пружина подвески и рессоры. Пружины подвески и рессоры испытывают при большом числе колебаний ударные, мгновенно приложенные нагрузки, поэтому сталь для их изготовления должна обладать высокой усталостной прочностью (предел усталости > 52 кг/мм²).

Сталь не должна иметь неметаллических включений и других дефектов (флокены, пузыри, риски, волосовины).

Для первоклассных легковых автомобилей прутки для пружин подвески и рессорные листы не только шлифуются, но и полируются. Чистота поверхности после полировки должна быть не выше 10 микродюймов; продольные и кольцевые риски от шлифовки должны быть выведены.

Наличие риски, волосовины, шлакового включения при изгибе вызывает в месте изгиба возникновение трещины.

Пружины подвески навиваются либо в горячем, либо в холодном состоянии и после подготовки шлифовкой опорных витков закаляются и отпускаются.

Нагреваются они под закалку в камерной печи: электрической или пламенной. Пружина должна лежать на поду печи на поддоне. При нагреве в электрической печи необходимо обеспечить,

путем ввода в печь нейтрального газа, отсутствие обезуглероживания поверхности. Как профилактическая мера может быть применена смазка поверхности графитом перед посадкой в печь. Температура нагрева под закалку и время выдержки зависят от марки стали и сечения пружины.

Например, для пружины, навитой из стали марки 60С2 диаметром 19 мм, температура нагрева под закалку должна быть 960—980°, время нагрева 30 мин., охлаждение в масле. Твердость после закалки должна быть не ниже 58H_{R C150}. Отпуск производится в селитровой ванне при температуре 550—570° в течение часа, затем следует промывка в горячей воде.

Твердость после отпуска должна быть 42—48 H_{R C150}. После отпуска для повышения усталостной прочности пружины обдуваются дробью.

Одновременно с пружинами обрабатываются контрольные образцы, отрезанные от прутка, из которого навита пружина. Эти образцы привязываются к витку проволокой, поэтому условия обработки получаются вполне идентичными.

По микроструктуре и твердости контрольных образцов определяется качество термической обработки пружины. При массовом производстве такие испытания должны производиться для каждой партии пружин.

Окончательно обработанная и принятая по размерам пружина сжимается под нагрузкой на специальном прессе трехкратно до соприкосновения витков, после чего высота пружины должна отвечать требованиям чертежа.

Таблица 38

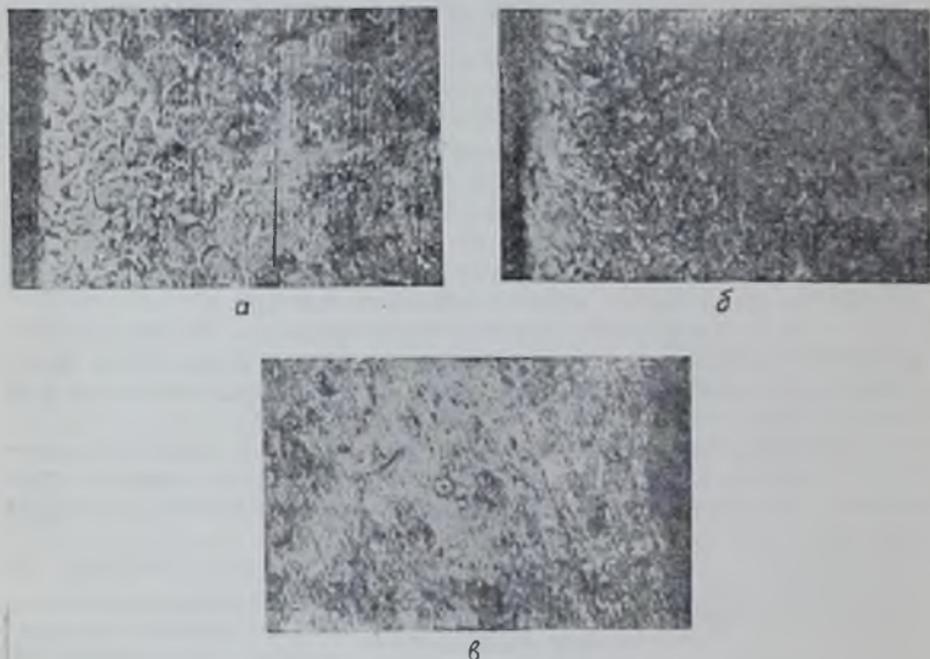
Результаты испытания пружин

№ пружин	Операция	Температура в °С	Время в мин.	Механические свойства						Результаты испытания при высоте 205 мм под нагрузкой					
				σ _с кг/мм ²	σ _б кг/мм ²	δ ₅ %	ψ ₀ %	Диаметр в мм	H _н	P кг	H мм	P кг	H мм	P кг	H мм
11	Закалка Отпуск	960 450	20 60	157	166	11,7	47	42	430	1278	403	1278	401	1272	400
27	Закалка Отпуск	920 450	20 60	143	155	13,3	54	44	430	1424	408	1428	408	1426	408
22	Закалка Отпуск	920 450	20 60	143	155	13	54	44	430	1340	404	1337	403	1335	402

В табл. 38 приведены результаты испытания пружин передней подвески, навитой из прутка стали марки 60С2, имеющего диаметр 18,9—18,75 мм.

Сталь марки 60С2 склонна к перегреву и обезуглероживанию, поэтому определение микроструктуры помогает отсортировать пружины по качеству. Микроструктура поверхности пружин № 11, 27 и 22 представлена на фиг. 114, а б, в.

Из данных табл. 38 можно сделать заключение о том, что повышение температуры под закалку до 960° вызвало повышение прочности, но в то же время сказалось на качестве поверхности. Сильное обезуглероживание вызвало большую осадку (с 403 до 400 мм) при нагрузке 1272 кг; несколько лучшие результаты получались у пружины № 27, которая имела менее сильное обезуглероживание поверхности; лучшие результаты меха-



Фиг. 114, а, б, в. Микроструктура поверхности пружины.

нических свойств сердцевины по сравнению с пружиной № 27 получились у пружины № 22, давшей минимальную осадку при высокой нагрузке. Структура поверхности пружины № 22 вполне удовлетворительная; структура сердцевины всех пружин—тро-остосорбит.

После контроля упругости на весах Толидо пружины подвергаются контролю поверхностных дефектов на магнитном дефектоскопе.

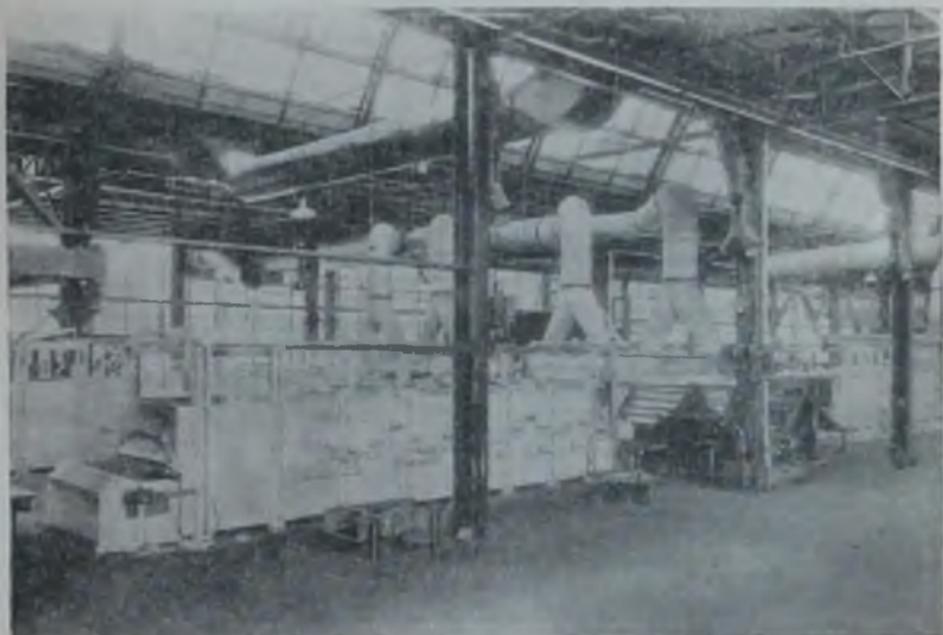
Автомобильные рессоры изготавливаются из полосовой стали, которая поставляется горячекатаной, как правило, с повышенным допуском на толщину для первоклассных автомобилей, и нормальным допуском для грузовых автомобилей.

Перед запуском стали на изготовление рессор необходимо убедиться, что твердость листов не выше $320 H_B$ и они необезуглерожены, так как наличие феррита в значительной степени снижает сопротивление усталости. Например, при обезуглероженном слое глубиной 0,4 мм лист выдерживает 45 000 колебаний,

в то время как лист, не имеющий обезуглероженного слоя,— 100 000 колебаний.

Для уничтожения вредного влияния пороков, имеющих на поверхности листа, их иногда шлифуют на 0,25—0,50 мм с каждой стороны. Этот способ дорог и может быть применен лишь для легковых автомобилей высшего класса.

Рессорные листы нарезаются в холодном состоянии, затем прокалываются отверстия для болта у тонких листов в холодном состоянии и в горячем состоянии у толстых. Оттягиваются



Фиг. 115. Конвейерная печь для нагрева рессорных листов.

концы и завиваются ушки в нагретом состоянии. После этого листы нагреваются в печи конвейерного типа (фиг. 115) и закаливаются в специальной машине (фиг. 116), затем отпускаются и рихтуются.

Режим термической обработки устанавливается в зависимости от марки стали и толщины листа.

Для листов из стали марки 60С2 при толщине 5—7 мм нагрев под закалку до температуры $950 \pm 10^\circ$ производится в течение 12—15 мин., затем листы отпускаются при температуре $450—500^\circ$ в течение 30 мин.

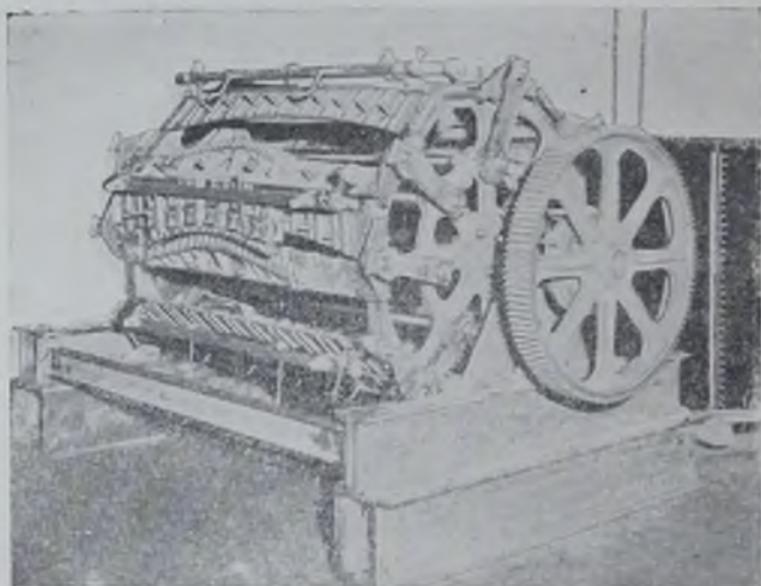
Твердость должна быть 415—363НВ.

После термической обработки рессорные листы легковых автомобилей должны проверяться на магнитном дефектоскопе и подвергаться обработке дробью с последующей смазкой графитом.

Собранные рессоры принимаются под грузом на специальном прессе; при установленном грузе рессора должна иметь заданную стрелу прогиба.

Для проверки результатов термической обработки рессоры в выборочном порядке подвергаются специальному испытанию на усталость. Считается, что рессора легковых автомобилей должна выдержать не менее 300 000 колебаний.

Рессорные пальцы. Рессорные пальцы, в зависимости от условий работы, изготавливаются из легированных улучшаемых или цементируемых сталей, а также из среднеуглеродистой стали марки 45



Фиг. 116. Машина для закалки рессор.

Для изготовления рессорных пальцев из улучшаемой стали применяют марки 40X, 40XН и 40XНМ в зависимости от требуемой прочности сердцевины. Нагреваются пальцы под закалку на поддонах в камерных тоннельных печах. Охлаждение производится в масле. После закалки пальцы отпускаются в конвейерной печи. Температура закалки 830—850°; температура отпуска 550—600°. Твердость после отпуска 269—229 H_B .

Рессорные пальцы, подлежащие цементации, изготавливаются из марок 20X, 20X3, 12X2H4A и др. в зависимости от требований, предъявляемых к ним в отношении прочности.

Глубина цементированного слоя после шлифовки должна быть 1,0—1,3 мм; окончательная твердость не ниже 56 H_{RC150} .

Резьбовой конец пальца после закалки и низкотемпературного отпуска должен быть дополнительно отпущен путем нагрева в свинцовой ванне при температуре 450—500° с охлаждением в сухом песке.

Рессорные пальцы, изготавливаемые из стали марки 45, нагреваются током высокой частоты на глубину 2—2,5 мм и охлаждаются водой. Твердость поверхности должна быть не ниже 58 H_{RC150} .

При изготовлении пальцев из гладкотянутого металла необходимо обращать внимание на отсутствие не только обезуглероженого, но и обедненного углеродом слоя, так как в противном случае получится твердость ниже 58 H_{RC150} .

Нормали—болты, винты, гайки, шурупы, шайбы. Термически обрабатываемые болты, винты, гайки, шурупы, шайбы изготавливаются из углеродистых или легированных сталей и подвергаются либо улучшению, либо цианированию в зависимости от того, работают детали на трение или нет. Шатунные болты и гайки являются наиболее характерными из числа нормалей, подвергающихся улучшению.

Процесс улучшения нормалей производится обычно в конвейерных электрических печах с защитной атмосферой для предохранения от обезуглероживания резьбы.

Загрузка нормалей производится насыпью на сетчатый конвейер печи.

Контроль твердости производится или на каждой детали (100%), как, например, на шатунных болтах, или в выборочном порядке на 5—10% деталей от партии.

Нормали, работающие на износ (упорные болты, шайбы и др.), подвергаются цианированию в цианистых ваннах на различную глубину, закалке и отпуску в течение 30—60 мин. при температуре 200°.

Под закалку нормали из улучшаемых сталей также нагреваются в соляных ваннах с добавкой цианистых солей. Концентрация NaCN должна быть не более 0,5—1%. Отпускаются нормали в этом случае также в соляной ванне, но уже без добавки циана. Температура отпуска в зависимости от требуемых твердостей должна быть 550—650°. Время прогрева зависит от сечения и количества одновременно загружаемых в ванну деталей. Твердость улучшенных нормалей должна быть в пределах 521—269 H_B .

Тормозной кулак Тормозные кулаки изготавливаются из стали марки 40. Назначение тормозных кулаков состоит в разжиме колодки тормоза в момент торможения. Стержень кулака работает на скручивание, а кулак—на трение, поэтому необходимо обеспечить максимальную износоустойчивость поверхности. Существуют два метода термической обработки тормозных кулаков: 1) цианирование на глубину 0,25—0,30 мм и 2) поверхностная закалка на глубину 1,5—2,0 мм при нагреве токами высокой частоты.

Цианирование производится в специальных приспособлениях; тормозные кулаки загружаются в цианистую ванну на длину самого кулака. После цианирования дается закалка в масле и отпуск при температуре 200° в течение 60 мин.

Наиболее совершенным является метод поверхностной закалки. Операция нагрева кулака производится с помощью генератора мощностью 150 *кв*а при частоте 2000 периодов и занимает 5 сек. Закалка производится с самоотпуском. После закалки твердость должна быть $56 H_{RC150}$ и выше.

Рычаг тормоза. Рычаги тормоза изготавливаются из улучшаемой стали марок 40X и 40XНМА (для легковых автомобилей).

Поковки рычагов подвергаются нормализации при температуре 860—880° и улучшению. Температура нагрева под закалку 840—860°; охлаждение в масле; отпуск при температуре 680—700° в течение 4 час. с охлаждением в воде.



Фиг. 117. Венец звездехода.



Фиг. 118. Направляющее колесо.

Этот режим термической обработки является наиболее эффективным. Твердость получается равной 255—229 по Бринелю.

Сталь марки 40XНМА в улучшенном состоянии при указанной твердости имеет следующие механические свойства, определяемые на образце, вырезанном из поковки $\sigma_s = 70,8 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_b = 83,5 \text{ кг/мм}^2$; $\delta = 23,3\%$; $\psi = 70\%$; $a_k = 18 \text{ кгм/см}^2$, $H_B = 229$.

Большая ударная вязкость получается как результат выдержки поковок в течение 4 час. при температуре отпуска.

Поворотные кулаки, вилки и наконечники карданного вала. Поворотные кулаки, вилки и наконечники карданного вала изготавливаются из улучшаемых марок стали 40X, 40XН, 40XНМ и др.

Основное требование, предъявляемое к этим деталям, заключается в том, чтобы они в результате термической обработки приобрели однородные механические свойства по сечению.

Термическая обработка—улучшение—производится в специальных печах, в которых поковки загружаются на поддоны или башмаки. Температурный режим устанавливается в зависимости от марки стали. Твердость обычно 269—229 H_B .

Механические свойства после термической обработки контролируются на образцах, вырезанных из средней части сечения контрольных поковок.



Фиг. 119. Установка для нагрева венца вездехода.

Венец вездехода и направляющее колесо (фиг. 117 и 118). Детали изготавливаются отливкой из углеродистой стали и подвергаются поверхностной закалке при нагреве токами высокой частоты.

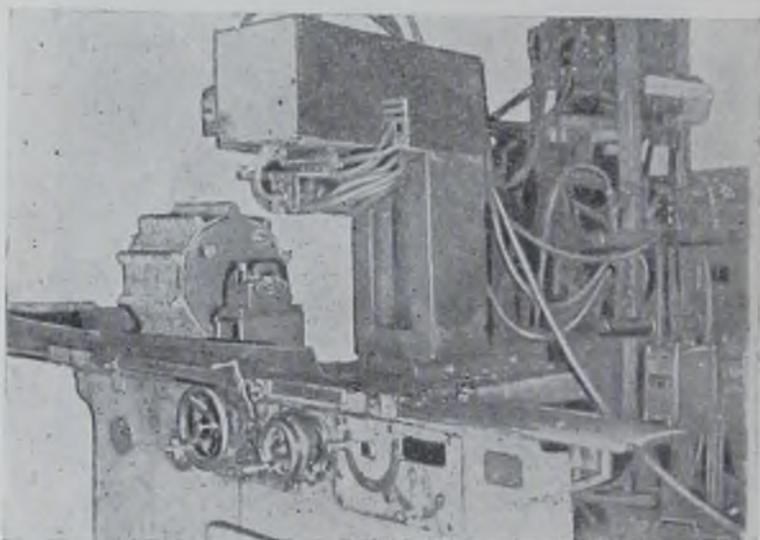
Нагрев после механической обработки производится в установках, показанных на фиг. 119 и 120. Венец вездехода нагревается в специальном индукторе, через который зубцы проходят постепенно и опускаются в рядом стоящий бак с водой. Колесо, вращаясь, проходит через индуктор и нагревается до температуры закали. Охлаждение осуществляется водой, подаваемой снизу из шланга.

На фиг. 121 изображена установка, в которой проводится одновременная закалка партии направляющих колец в количестве 10.

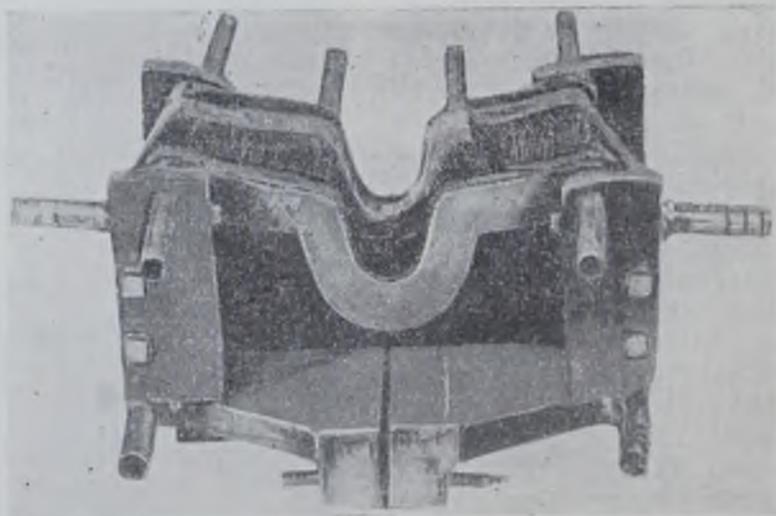
Кольца входят зубцами в индуктор (фиг. 122), постепенно прогреваются и затем охлаждаются (фиг. 123). Время нагрева одного ряда зубцов составляет



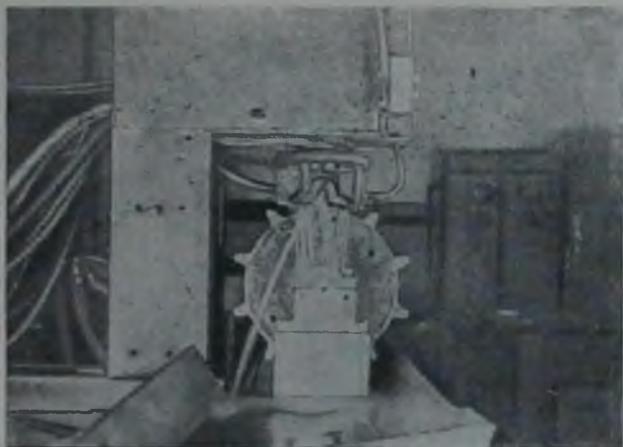
Фиг. 120. Установка для нагрева направляющего колеса.



Фиг. 121. Установка для закалки одновременно 10 венцов
вездехода.



Фиг. 122. Индуктор для нагрева венца вездехода.



Фиг. 123. Охлаждение
венца вездехода.



Фиг. 124.
Макрошлиф
венца вездехода.



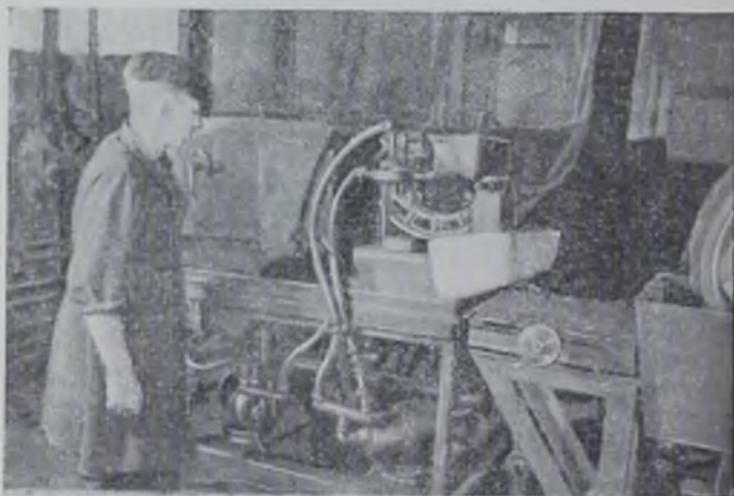
Фиг. 125. Микроструктура поверх-
ностного закаленного слоя венца
вездехода.



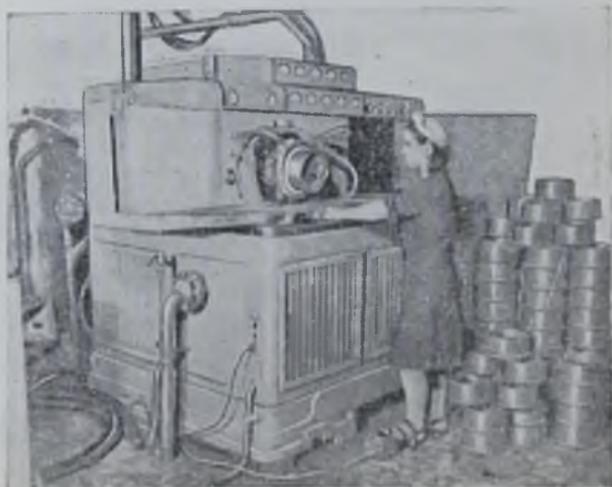
Фиг. 126. Структура исходного
металла.



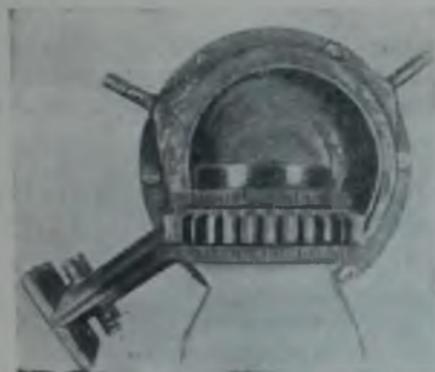
Фиг. 127. Колодка тормоза.



Фиг. 128. Станок для закалки колодок тормоза.

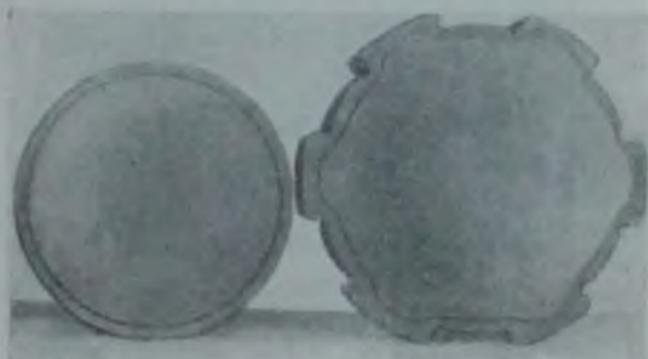


Фиг. 129. Универсальная установка фирмы „Тоссо“ для нагрева под закалку.



Фиг. 130. Индуктор для нагрева⁷ зубьев шестерен коробки передач.

Фиг. 131. Макроструктура закаленных зубцов.



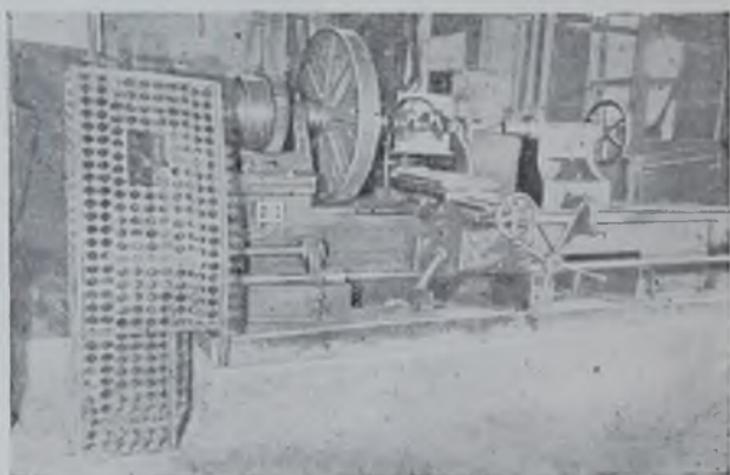
Фиг. 132. Гладкий и шлицевой валы, нагретые по контуру в специальных индукторах.



Фиг. 133. Установка для нагрева труб и простых цилиндрических деталей.

50 сек. Эта установка работает от генератора 2000 периодов мощностью 150 ква.

После закалки венцы подвергаются отпуску при температуре 200° в течение часа; твердость на рабочей части получается равной $56-58 H_{RC150}$. В промежутках между зубьями образуется отпущенная полоска шириной 15 мм с твердостью $42-37 H_{RC150}$. На фиг. 124 показан макрошлиф такого венца. Микроструктура поверхностного закаленного слоя изображена на фиг. 125, а структура исходного металла—на фиг. 126.



Фиг. 134. Установка для закалки серийных деталей.

Тормозная колодка. Для нагрева ушка колодки тормоза (фиг. 127) применяется станок, показанный на фиг. 128, в котором обрабатываются одновременно две колодки.

Разные детали. На фиг. 129 показана универсальная установка Тоссо для нагрева под закалку различных деталей. В этой установке применяются сменные индукторы, предназначенные для нагрева деталей различной конструкции.

Для каждой детали должен быть разработан свой индуктор, который обеспечит бы прогресс по контуру детали в заданном месте.

Например, нагрев зубьев шестерен коробки скоростей осуществляется с помощью индуктора, показанного на фиг. 130. Макроструктура зуба закаленной шестерни показана на фиг. 131.

На фиг. 132 изображено сечение гладкого вала и вала с пазами, нагретых в специальных индукторах по заданному контуру.

Нагрев простых цилиндрических тел, а также труб кардана производится в установках, подобно изображенной на фиг. 133, смонтированной на токарном станке.

Для индивидуальной обработки ремонтных или серийных деталей часто используются специально оборудованные приспособления токарные или иные станки (фиг. 134).

ГЛАВА V

ДЕФЕКТЫ, ВИДЫ БРАКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Брак и поломки автомобильных деталей, подвергающихся термической обработке, зависят от ряда причин, которые в каждом отдельном случае должны быть тщательно выявлены путем выяснения качества материала, правильности выполнения процессов термической обработки и условий, при которых произошли брак и поломка.

Случаи брака и поломок можно подразделить на четыре группы: 1) зависящие от качества металла; 2) зависящие от условий термической обработки; 3) зависящие от условий эксплуатации; 4) зависящие от неправильной сборки и конструктивных ошибок.

Рассмотрим несколько примеров, связанных с первыми двумя причинами.

ДЕФЕКТЫ И БРАК ВСЛЕДСТВИЕ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОГО КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА

Исследование случаев поломки деталей в эксплуатации и при правке в некоторых случаях обнаруживает наличие содержания

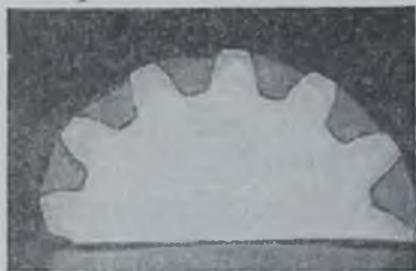


Фиг. 135. Макрошлиф сечения распределительного вала.

вредных примесей серы или фосфора выше установленных норм или высокое содержание углерода и элементов, склонных к образованию карбидов.

Примером такого брака может служить случай поломки при правке распределительных валов, подвергнутых цементации, закалке и отпуску. На фиг. 135 изображен макрошлиф по сечению

распределительного вала, на котором видно, что металл сильно загрязнен серой. Химический анализ металла кулачкового вала выявил, что содержание серы было 0,062%, вместо допустимого 0,035%. Скопления сернистого марганца столь велики, что наблюдаются в виде светловин на макрошлифе (фиг. 136), и особенно это заметно при исследовании микроструктуры (фиг. 137).

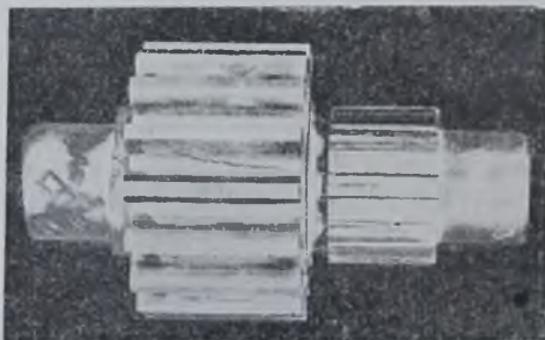


Фиг. 136. Макрошлиф со следами скопления сернистого марганца.



Фиг. 137. Микроструктура образца, показанного на фиг. 136.

Загрязнение металла шлаковыми включениями сверх установленной нормы приводит к массовому браку деталей на различных операциях термической обработки.



Фиг. 138. Малая цилиндрическая шестерня дифференциала.

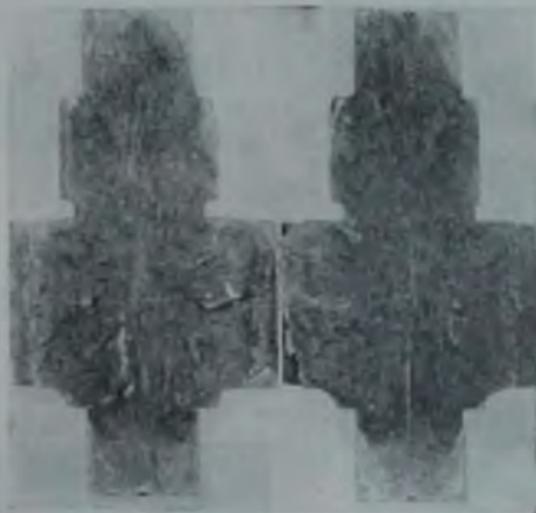
На фиг. 138 показана малая цилиндрическая шестерня дифференциала заднего моста с продольной трещиной. Макрошлиф (фиг. 139) указывает на сильную загрязненность металла неметаллическими включениями. На фиг. 140 изображено одно из мест, загрязненных шлаком. Иногда причиной поломки деталей может служить наличие пустот, пузырей, рыхлоты.

На фиг. 141 показан излом по шейке коленчатого вала, происшедший при работе мотора. Причиной послужила усадочная раковина, имевшаяся в металле (фиг. 142).

Неудовлетворительная штамповка, приводящая к закатам, служит причиной массового брака по трещинам, которые могут быть обнаружены иногда после шлифовки. На фиг. 143 изображена макроструктура места около трещины на стебле клапана.

Поверхностные пороки металла, раскатанные пузыри (фиг. 144) также приводят к массовому браку вследствие образования при термической обработке трещин по месту прохождения волосовины (фиг. 145).

Иногда пузыри столь малы, что при прокатке получаются не волосовины, а риски, которые под микроскопом выглядят в виде углубления на поверхности металла (фиг. 146). Эти риски также приводят к массовому браку при закалке изделий.



Фиг. 139. Макрошлиф шестерни.

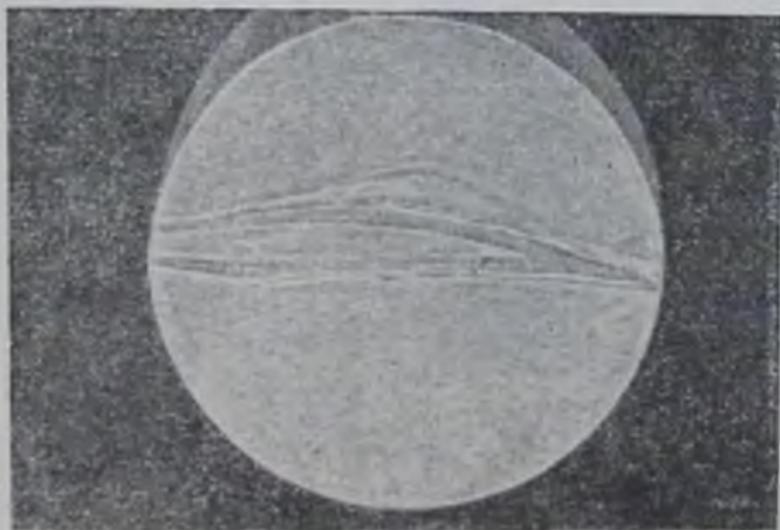
Наличие шлаковых включений и полосчатой структуры (фиг. 147) приводит к образованию трещин (фиг. 148).

Несоответствие состава стали марке, из которой должна изготавливаться деталь (главным образом по углероду), приводит часто к браку и поломкам деталей как во время термической и механической обработки, так и в эксплуатации. При закалке таких деталей с повышенным содержанием углерода возникшие напряжения вызывают образование трещин. Большие трещины обнаруживаются при контроле качества поверхностей, а мелкие и микроскопические не обнаруживаются и служат местом концентрации больших внутренних напряжений при работе деталей, что приводит к появлению очагов усталостного разрушения.

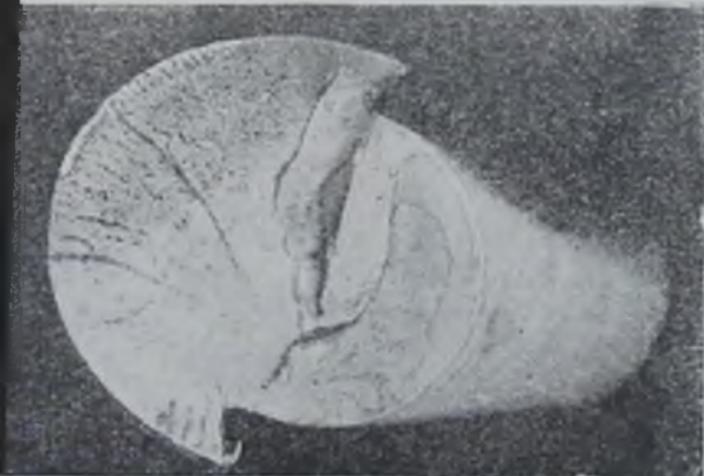
На фиг. 149 изображена кольцевая трещина на фланце коленчатого вала, изготовленного ошибочно из углеродистой стали с содержанием углерода, равным 0,59%. Несмотря на хорошую троостосорбитовую структуру (фиг. 150) валы имели трещины,



Фиг. 140.
Место, загряз-
ненное шлаком.



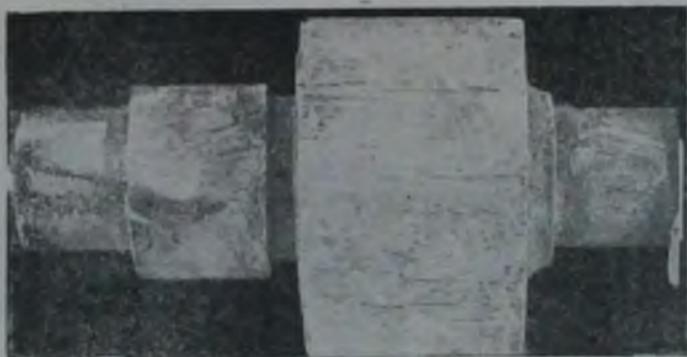
Фиг. 142. Усадочная раковина, послужившая
причиной излома вала.



Фиг. 141.
Излом коленчатого вала.



Фиг. 143. Макрструктура стебля клапана.



Фиг. 144. Макроструктура металла с поверхностными порками (раскатанными пузырями).



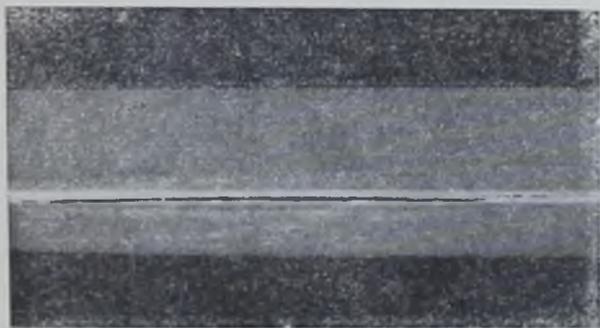
Фиг. 145. Трещины на цементированной поверхности.



Фиг. 146. Углубления на поверхности (риски), получившиеся в результате раскатки пузырей.



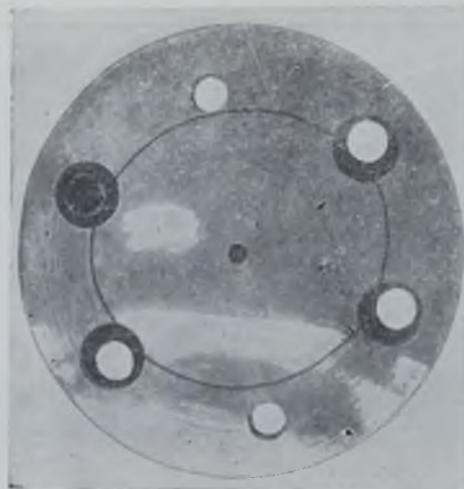
Фиг. 147. Структура со шлаковыми включениями и полосчатостью.



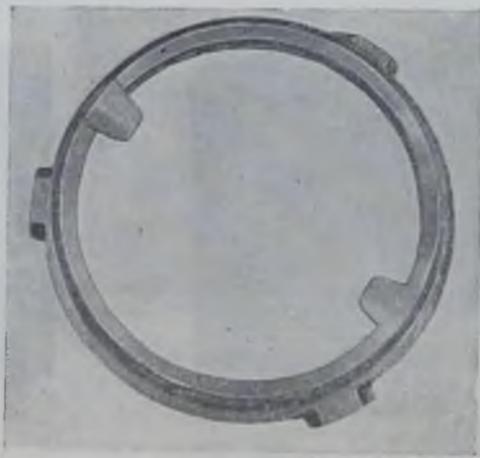
Фиг. 148. Лонжерон с трещинами.



Фиг. 150. Микроструктура колеччатого вала.



Фиг. 149. Фланец колеччатого вала.



Фиг. 151. Муфта сцепления.

образовавшиеся вследствие больших внутренних напряжений при закалке в месте перехода фланца к валу.



Фиг. 152. Трещины на муфте сцепления.



Фиг. 153. Стойка передней оси.

Отклонение в сторону увеличения содержания других элементов, особенно кремния, и элементов, образующих карбиды,



Фиг. 154. Пружина передней подвески.

приводит к браку по трещинам и поломкам. Например, изготовление роликов подшипника из стали с повышенным содержанием марганца и кремния при одинаковом содержании углерода приводит к поломке роликов еще при сборке во время запрессовки. Это происходит потому, что структура металла состоит из чрезвычайно хрупкого грубоиглочатого мартенсита.



Фиг. 155. Место излома пружины.

На фиг. 151 показана муфта сцепления, изготовленная из стали марки 40X, давшая трещины в местах выступа. Эти трещины появились как следствие напряжений, возникших при закалке муфты по месту насечки (фиг. 152) и вызвавших образование трещин при за-

прессовке медной полоски в муфту. Изготовление этой же муфты из стали марки 40, дающей меньшие закалочные напряжения при охлаждении в масле, резко снижает брак.

На фиг. 153 изображена стойка передней оси в сопряжении с поворотным кулаком. При аварии (удар о препятствие автомобиля во время движения) стойка сломалась, в то время как поворотный кулак, имеющий более сложное и тонкое сечение, не сломался. Стойка была ошибочно изготовлена из стали марки



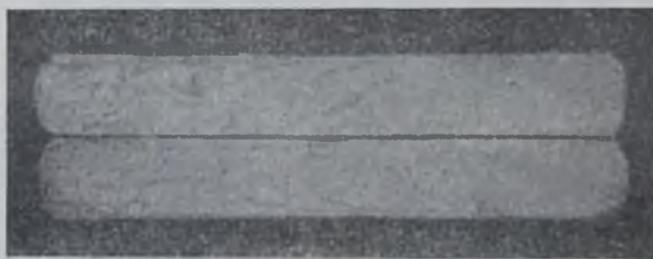
Фиг. 156. Структура пружины.



Фиг. 157. Излом рессорного листа.

40 вместо 40ХН. Кулак поворотный был изготовлен из стали марки 40ХН.

Наличие поверхностных пороков особенно плохо отражается на работе деталей, работающих в условиях знакопеременной



Фиг. 158. Рессорный лист с поверхностной трещиной.

нагрузки — пружины, рессоры. На фиг. 154 показана пружина передней подвески автомобиля, сломавшаяся при испытании вследствие наличия на поверхности рисок, которые имеют столь незначительную величину, что не обнаруживаются при контроле поверхности и выявляются только при травлении. На фиг. 155 видны излом и трещина. Качество материала и термическая обработка хорошие (см. структуру, изображенную на фиг. 156).

Особенно влияет качество поверхности на срок службы рессорных листов. На фиг. 157 изображен излом рессорного листа, происшедший по месту расположения поверхностной трещины (фиг. 158). Излом усталостного характера образовался

вследствие резкой концентрации напряжений в месте расположения трещины при работе листа в рессоре.

Закатанные шлаковые включения и окалина, волосовины, риски, незначительные трещины, поверхностное обезуглероживание являются причиной поломки пружин и рессорных листов.

Практика подтверждает, что шлифованная поверхность, не имеющая таких поверхностных пороков, способствует значительному удлинению срока службы пружин. Например, пружины клапана, изготовленные из шлифованной проволоки с чистотой поверхности 25 микродюймов, выдерживают на машине Шенк не более 4—5 час. испытания на усталость при 3000 об/мин, в то время как пружины из той же проволоки с полированной поверхностью и чистотой поверхности 10 микродюймов выдерживают 50 час. при тех же условиях.

Пружины клапана бракуются главным образом вследствие выявленных при магнитном анализе дефектов поверхности про-



Фиг. 159. Сломавшаяся пружина клапана.



Фиг. 160. Микроструктура края поверхности проволоки пружины



Фиг. 161. Пружина клапана, сломавшаяся после 18 час. работы.

волоки. В тех случаях, когда эти дефекты не удается выявить, пружины через некоторое время ломаются на моторах. Так, пружина клапана, изготовленная из стали марки 50ХФА, вполне удовлетворительно термически обработанная, имевшая твердость $46—47 H_{RC10}$ и однородную структуру (троостосорбит без обезуглероженного на поверхности слоя), сломалась при работе на моторе из-за трещины, идущей вдоль витка на глубине 0,4 мм (фиг. 159).

На фиг. 160 изображена микроструктура края поверхности проволоки пружины, давшей большую осадку при испытании на моторе. Структура имеет у поверхности обезуглероженный слой, который и послужил причиной брака при испытании на усталость. Такая пружина сломалась бы значительно ранее установленного срока.

На фиг. 161 показана пружина, сломавшаяся через 18 час. работы, вследствие наличия риски на поверхности. Брак по этой причине встречается наиболее часто, поэтому при магнитном контроле должно быть обращено особое внимание на тщательное выявление всех поверхностных дефектов.

ДЕФЕКТЫ И БРАК ВСЛЕДСТВИЕ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Брак, являющийся следствием неправильной или неудовлетворительной термической обработки и не выявленный при контроле или на первых операциях механической обработки, также служит причиной поломки деталей в эксплуатации.

Наибольший процент брака в производстве падает на шестерни коробки передач и заднего моста.

Качество шестерен, изготовляемых из цементируемых сталей, определяется, главным образом, свойствами цементированного слоя. Цементированный слой должен обладать высоким сопротивлением ударным и изгибающим знакопеременным нагрузкам и сопротивлением износу.

Стойкость цементированных шестерен в условиях нагрузки, вызывающих разрушения усталостного характера, определяется в значительной мере усталостной прочностью переходного слоя. Усталостная прочность переходного слоя уменьшается с повышением содержания в слое феррита.

В связи с этим рекомендуется применять цементируемые стали с повышенным содержанием углерода до 0,25% и в отдельных случаях даже до 0,30%. Это позволяет снижать глубину цементированного слоя.

Цементированный слой должен иметь плавный переход к сердцевине. Степень насыщения углеродом должна быть около 1%. В слое не должно быть цементитной сетки и больших скоплений карбидов, а также остаточного аустенита. Твердость слоя на поверхности должна быть не ниже $58 H_{RC150}$ и может достигать $65 H_{RC150}$. Твердость сердцевины должна быть в пределах 35—45 H_{RC150} .

На фиг. 162 показана ведущая шестерня заднего моста, изготовленная из стали марки 18ХГМ, сломавшаяся в эксплуатации по зубу вследствие избыточного содержания углерода в цементированном слое (фиг. 163). Микрофотография указывает на наличие грубой цементитной сетки, которая вызвала хрупкость и излом слоя при ударе.

На фиг. 164 показана ведущая шестерня коробки скоростей, изготовленная из стали марки 18ХНМА, с глубиной цементиро-



Фиг. 162. Ведущая шестерня заднего моста, сломавшаяся по зубу.



Фиг. 163. Микрошлиф зуба сломавшейся ведущей шестерни.



Фиг. 164. Ведущая шестерня



Фиг. 165. Зубцы ведущей шестерни, процемментированные насквозь.

ванного слоя 1,3 мм вместо 1,0 мм. Сквозная цементация малых зубьев (фиг. 165) привела к поломке их. Макроструктура при нормальной глубине имеет вид, изображенный на фиг. 166.

Перенасыщение слоя углеродом (фиг. 167) и низкая температура закалки (см. структуру фиг. 168) также являются причинами неудовлетворительной работы деталей. В цементированном слое имеется цементитная сетка, а в сердцевине — наличие феррита.

В зубе, который еще не был разрушен, под микроскопом была обнаружена трещина, появившаяся вследствие недостаточной прочности сердцевины; по этой трещине произошло бы разрушение металла шестерни.

Низкая твердость сердцевины (ниже $30 H_{RC150}$) приводит к изгибу зуба и к поломке.

На фиг. 169 показана структура с большим содержанием аустенита. Такая структура связана с низкой твердостью поверхности (менее $56 H_{RC150}$) и в эксплуатации вызывает разрушение поверхности, так как аустенит с течением времени распадается, особенно в условиях пониженных температур в зимнее время. Образующиеся частички мартенсита, занимая максимальный объем, вызывают большие внутренние напряжения и приводят к местным субмикроскопическим трещинам и к дальнейшему разрушению металла.

Необходимо обратить особое внимание на скалывание острых краев зубьев шестерен при включении, которое наблюдается при отличном качестве металла и правильно проведенном режиме термической обработки (фиг. 170). Все края зубьев шестерен должны быть тщательно закруглены.

Примером износа вследствие неудовлетворительной термической обработки может служить сошка руля (фиг. 171), которая в эксплуатации работает на износ выступа на рычаге сошки.

При малом насыщении поверхности углеродом цементированный слой быстро изнашивается, происходит смятие сердцевины и разрушение выступа.

Случаи поломки деталей вследствие неправильной сборки или эксплуатации, или конструктивных ошибок могут быть весьма разнообразны. Ограничимся иллюстрацией только двух примеров.

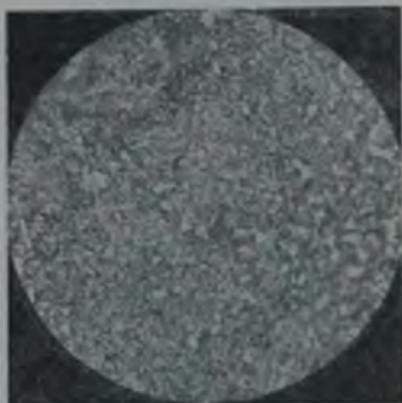
На фиг. 172, 173 показаны части шестерен заднего моста, ведомой и ведущей, работавших в паре и износившихся после пробега автомобиля всего лишь в несколько сот километров.

Причиной износа послужила плохая смазка, которая при работе выдавливалась и вследствие этого получалось сухое трение, приведшее к износу хорошего по качеству цементированного слоя, имевшего твердость $60 - 62 H_{RC150}$ и структуру, состоящую из мелкоигльчатого мартенсита с небольшими включениями аустенита.

На фиг. 174 показана ведомая шестерня заднего моста грузового автомобиля. Как видно по рисунку, шестерня имеет разрушения наружной стороны тарелки и зубьев. Поломка произошла



Фиг. 166. Макроструктура зубцов шестерни.



Фиг. 167. Микроструктура поверхностного слоя, перенасыщенного углеродом.



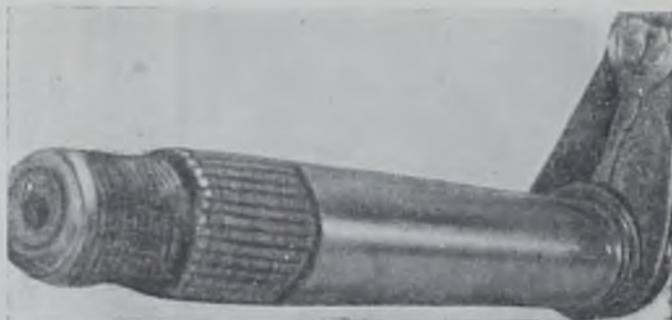
Фиг. 168. Микроструктура сердцевины.



Фиг. 169. Структура с большим содержанием бейнита.



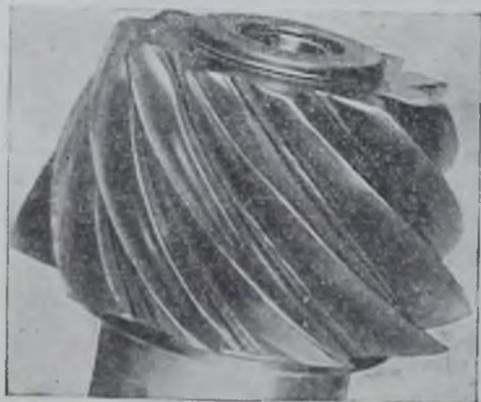
Фиг. 170. Сколотые зубцы шестерни.



Фиг. 171. Изношенная сошка руля.



Фиг. 172. Часть износившейся ведомой шестерни заднего моста.



Фиг. 173. Часть износившейся ведущей шестерни заднего моста.

вследствие неправильной сборки ведомой и ведущей шестерен, так как во время работы все усилие было сосредоточено у наружного конца зуба. Это вызвало деформацию не только зуба, но и тарелки с внешней стороны и послужило причиной откола в этом месте цементированного слоя, кусочки которого затем попали между зубьев, заклинили их и привели к дальнейшему разрушению.

КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ, ПРОШЕДШИХ ТЕРМИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Контроль качества термически обработанных деталей осуществляется как во время изготовления деталей, так и после окончания всех операций.

Основным и вместе с тем простейшим видом контроля является определение твердости. Твердость поковок и отливок замеряется на прессах Бринеля. Твердость улучшенных деталей также проверяется на прессах Бринеля. Замер твердости на приборе Роквелла может быть допущен в особых случаях, так как структура улучшенной стали имеет невысокую твердость даже в слоях, расположенных на некоторой глубине от поверхности, а наконечник прибора замеряет лишь твердость поверхности.

По Роквеллу определяется твердость после цементации, закалки и отпуска, а также после закалки при нагреве токами высокой частоты. При замере твердости после отпуска цианированных поверхностей пользуются прибором Роквелла, но при нагрузке 60 кг.

Для замера твердости тонких слоев, получаемых при азотировании и цианировании, применяется прибор Виккерса.

Для прецизионных испытаний твердости применяют аппарат Супер-Роквелл, на котором испытывают твердость тонких материалов при нагрузке 15, 30 и 45 кг. Кроме этого, часто замер твердости производится тарированными напильниками. Этот способ применяется для определения твердости резьбы и цианированной поверхности.

Контроль результатов улучшения поковок часто ведется на образцах, вырезанных из детали в направлении, параллельном, перпендикулярном или тангенциальном направлению волокон. К числу наиболее совершенных методов определения качества термически обработанных деталей относится магнитометрический метод, основанный на различной магнитной проницаемости структурных составляющих и фаз стали.

Методика испытания заключается в том, что по эталону (структура, предел прочности и предел пропорциональности ко-



Фиг. 174. Ведомая шестерня заднего моста грузового автомобиля.

торого установлены) определяется эквивалентная магнитная проницаемость металла данной детали из определенной марки стали.

Имея два образца с минимальным и максимальным показанием магнитной проницаемости, легко отсортировать детали, отвечающие и не отвечающие требованиям технических условий по показателям механической прочности, наблюдая за показаниями стрелок на градуированной шкале.

Отбраковка по магнитному методу точнее, чем по твердости, так как твердость в зависимости от наличия в структуре феррита, хотя бы и в незначительном количестве, изменяется не резко, предел же пропорциональности в образцах, имеющих феррит, резко падает.

Важное значение имеет определение структуры стали в поковках для установления режима обработки на станках, так как при вполне удовлетворительной твердости иногда происходит поломка инструментов. Причиной этому является отклонение от нормальной структуры, каковой необходимо считать структуру, не имеющую обособленных крупных участков феррита.

При помощи магнитометрических замеров, согласованных с эталонным замером, можно с достаточной точностью рассортировать заготовки для механической обработки. На фиг. 189 изображен магнитный анализатор для поковок шестерен коробки скоростей.

Магнитный метод контроля широко применяется для обнаружения поверхностных скрытых дефектов (рисок, включений, волосовин, трещин). Детали намагничиваются, помещаясь между полюсными наконечниками электромагнита, получают остаточное намагничивание и затем помещаются в ванну, где в керосине взвешен железный крокус.

Магнитный поток, прошедший по стали, пересекая трещину, риску или другой дефект, выходит на поверхность и образует на краях дефекта полюсы. Взвешенный железный порошок притягивается к полюсу, и благодаря этому обрисовывается контур дефекта.

Поток всегда должен быть направлен перпендикулярно дефекту, поэтому для выявления дефектов в продольном и поперечном направлении необходимо применять различные методы намагничивания (продольное, поперечное, кольцевое).

Помимо мокрого метода магнитного анализа, существует сухой метод, при котором магнитный цветной порошок наносится из пульверизатора на поверхность намагниченной детали.

Принципы выявления дефектов одинаковы в обоих методах. Сила тока зависит от сечения детали. После контроля детали должны быть размагничены.

Магнитная дефектоскопия широко применяется для контроля качества пружин клапана, пружин подвески, рессорных листов, штамповок поворотных кулаков, шкворней, деталей рулевого управления и др. Для массового контроля разработаны различные аппараты.

Контроль качества цементированных, цианированных и нагретых под закалку токами высокой частоты деталей осуществляется с помощью микроскопического метода.

Качество цементированных и цианированных деталей проверяется по эталонным образцам, изготовленным из того же материала, что и детали, или по бракованным деталям, подвергнутым термической обработке одновременно с годными.



Фиг. 175. Структура избыточно науглероженного поверхностного слоя.



Фиг. 176. Структура менее насыщенного углеродом слоя.

Под микроскопом замеряется глубина слоя и устанавливается качество структуры. Практически удобно определять глубину цементированного слоя до появления в поле зрения феррита, хотя при определении глубины цементированного слоя должна



Фиг. 177. Структура с явно выраженной цементитной сеткой.



Фиг. 178. Структура с наличием остаточного аустенита и включений цементита.

учитываться и переходная зона. Эта зона в сталях марок 12Х2Н4А, 20ХЗ, 20Х составляет обычно 20—25% от глубины слоя, замеренного до появления феррита. Микроскопический анализ цементированных деталей ведется на шлифах отожженных образцов. Режим отжига образцов различен в зависимости от марки стали.

Ниже приводим систематизированные данные по определению качества цементированного слоя. При рассмотрении структур поверхностного слоя необходимо обращать внимание на степень науглероживания.

На фиг. 175 показана структура поверхностного слоя, избыточно науглероженного, состоящая из аустенита, с иглами мартенсита; на фиг. 176 — структура, менее насыщенная углеродом, но также неудовлетворительная. В обоих случаях детали подлежат дополнительной термической обработке — выдержке при температурах ниже нуля (-70 ; -183°) или нагреву выше A_{c1}

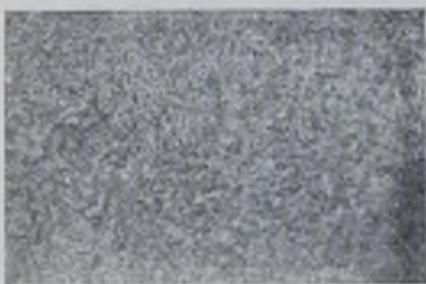


Фиг. 179. Структура поверхностного слоя с наличием зернистого цемента.



Фиг. 180. Структура, состоящая из троостомартенсита.

при длительной выдержке. На фиг. 177 показана структура с явно выраженной цементитной сеткой. Детали, имеющие такую структуру, подлежат дополнительной закалке при температуре выше A_{c3} . Удовлетворительной считается структура с наличием



Фиг. 181. Структура поверхности, слабо насыщенной углеродом.



Фиг. 182. Грубозернистая структура сердцевины зуба шестерни.

небольшого количества остаточного аустенита и включений цемента (фиг. 178) и с наличием отдельных включений зернистого цемента (фиг. 179).

Удовлетворительной считается структура слоя, изображенная на фиг. 180, состоящая из троостомартенсита. На фиг. 181 изображена структура со слабым насыщением поверхности углеродом. Детали при наличии такой структуры после закалки будут иметь пониженную твердость, поэтому должны подвергаться дополнительной цементации.

При контроле качества после повторной цементации проверяются, кроме специального образца, одна или две детали. Кроме качества цементированного слоя, по микроструктуре проверяется также и качество закалки сердцевины. На фиг. 182 показана неудовлетворительная грубозернистая структура сердцевины зуба шестерни, свидетельствующая о перегреве металла. Детали в этом случае подлежат повторной закалке и вторичному контролю.



Фиг. 183. Структура с наличием феррита.



Фиг. 184. Удовлетворительная структура сердцевины.

На фиг. 183 показана структура сердцевины с наличием феррита, свидетельствующем о низкой температуре закалки. Детали с такой структурой также подлежат повторной закалке и отпуску.



Фиг. 185. Структура границы глубины закаленного слоя.



Фиг. 186. Структура переходного слоя.

На фиг. 184 показана вполне удовлетворительная структура сердцевины.

Аналогично цементируемым деталям проверяется по образцам и качество цианированных деталей. В этом случае определяется глубина слоя и наличие ϵ -фазы.

У деталей, закаленных после нагрева токами высокой частоты, проверяется глубина закалки с помощью микроскопического анализа.

Граница глубины закаленного слоя определяется зоной, имеющей структуру мартенсита с весьма незначительным количеством ферритовых включений (фиг. 185).

Закаленный переходный слой при нагреве токами высокой частоты имеет вид, изображенный на фиг. 186; исходная структура стали марки 45 изображена на фиг. 187. Качество готовых термически обработанных деталей определяется путем замера твердости на приборе Шора, чтобы не повредить отшлифованной поверхности, а также при помощи магнитного дефектоскопа, выявляющего наличие поверхностных пороков металла и шлифовочных трещин.



Фиг. 187. Исходная структура.

МАГНИТНЫЙ АНАЛИЗАТОР СТРУКТУРЫ ПОКОВОК

Прибор для магнитного анализа структуры поковок построен на основе зависимости между магнитными параметрами металла и его структурой. Поковки, помещенные в сильное магнитное поле, вначале намагничиваются. Если потом направление поля переменить на обратное и постепенно увеличивать силу тока, то при некотором значении поля остаточное намагничивание детали исчезает, дальнейшее увеличение магнитного поля в обратном направлении поведет к намагничиванию детали тоже в обратном направлении.

Напряжение магнитного поля, при котором исчезает остаточное намагничивание, называется коэрцитивной силой. Остаточное намагничивание и коэрцитивная сила определяют форму петли гистерезиса. Форма и площадь петли гистерезиса зависят от строения металла. Например, внутренние напряжения, обусловливаемые количеством фазы, создающей неоднородность, и расширением отдельных фаз, делают петлю гистерезиса более пологой. Пластическая деформация и дисперсное состояние фазовых составляющих расширяют ее. Петля гистерезиса закаленной стали расширяется по сравнению с петлей той же стали в отожженном состоянии.

Так как петля гистерезиса определяется величинами остаточного намагничивания и коэрцитивной силой, то, следовательно, изменения формы петли происходят за счет изменения этих величин.

При исследовании металла в термически обработанном состоянии фиксируется изменение коэрцитивной силы и остаточного намагничивания в зависимости от фазового состояния стали. На фиг. 183 изображена схема магнитного анализатора структуры поковок, построенного на изложенном выше принципе. Прибор имеет две электрические цепи — намагничивающую и

индикаторную. В намагничивающую цепь входят: намагничивающие катушки, реостат, потенциометр, амперметр, миллиамперметр, перекидной и однополюсный рубильники. Источником постоянного тока, питающего намагничивающую цепь, служит умформер постоянного тока 220 в.

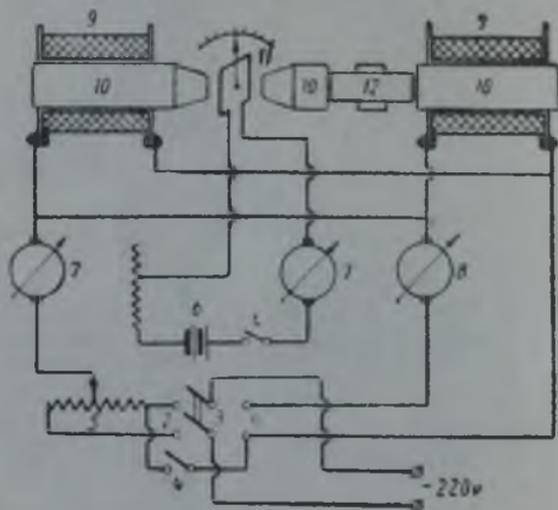
Намагничивающая цепь создает сильное поле между полюсами электромагнита при намагничивании детали. В этом случае перекидной рубильник ставится в положение 1. В положении рубильника 2 создается слабое магнитное поле обратного направления. Через катушки пропускается ток в обратном направлении. Величина этого поля регулируется потенциометром и характеризуется показанием миллиамперметра. Магнитное поле обратного направления необходимо для замера коэрцитивной силы.

Индикаторная цепь состоит из индикатора, источника постоянного тока, реостата, миллиамперметра и выключателя. Показания индикатора характеризуют величину магнитного потока в магнитопроводе, создаваемого остаточным намагничиванием деталей.

При испытании деталей меняется величина остаточного намагничивания, создающего магнитный поток в магнитопроводе.

Работа на анализаторе структур поковок заключается в следующем: поковка зажимается между полюсами электромагнита; через намагничивающие катушки пропускается ток, после включения которого поковка сохраняет величину остаточного намагничивания; включается ток в индикаторной цепи, и стрелки индикатора отклоняются на величину, пропорциональную величине остаточного намагничивания.

Для характеристики коэрцитивной силы необходимо магнитный поток в магнитопроводе сделать таким же, каким он был, когда поковка не была намагничена. Для этого перекидной рубильник ставится в положение 2, потенциометром повышается сила обратного тока через катушки электромагнита; сила тока при этом контролируется миллиамперметром. В тот момент, когда стрелка индикатора займет положение первоначального отклонения, показание стрелки миллиамперметра будет пропорционально коэрцитивной силе.

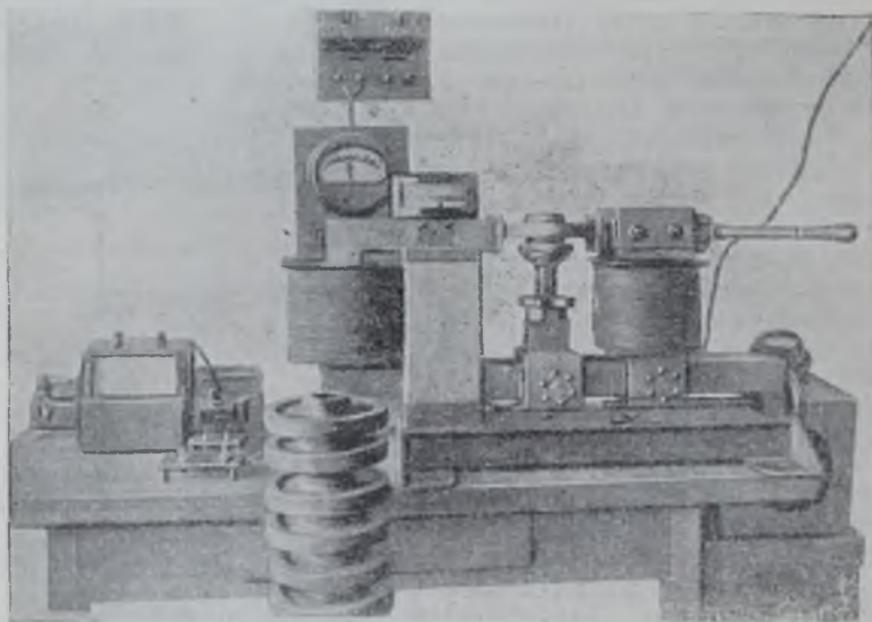


Фиг. 188. Электрическая схема структурного анализатора поковок шестерен.

1, 2 — клеммы; 3 — перекидной рубильник; 4 — реостат; 5 — реостат; 6 — батарея; 7 — миллиамперметр; 8 — амперметр; 9 — намагничивающие катушки; 10 — сердечники; 11 — индикатор; 12 — поковка шестерни.

Для суждения о структуре экспериментальным путем разрабатывается эталонная рабочая шкала, по которой производят сортировку деталей.

Изображенный на фиг. 189 магнитный анализатор представляет собой два электромагнита, связанные в одно целое общим магнитопроводом. Сверху электромагнит имеет полюса, расстояние между которыми может меняться за счет перемещения одного из сердечников с катушкой по нижней части магнитопровода.



Фиг. 189. Магнитный анализатор.

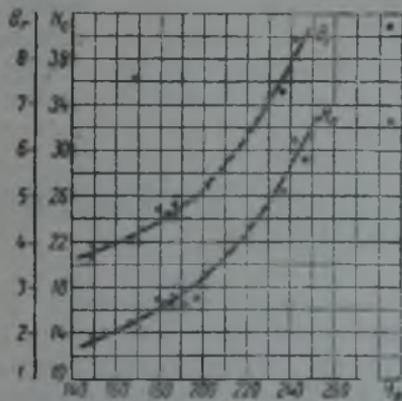
Между полюсами смонтирован столик, на который кладется поковка. Перед испытанием поковка ручкой плотно зажимается полюсными наконечниками. В верхней части магнитопровода сделан зазор с цилиндрической выточкой. В зазоре помещается индикаторная рамка с железным цилиндром в центре; с рамкой связана стрелка, конец которой перемещается вдоль шкалы при повороте рамки. Зазор в магнитопроводе, рамка со стрелкой и шкала помещены в алюминиевый корпус и представляют собой индикатор.

На приборе может быть произведена сортировка поковок по структуре, твердости и, кроме того, его можно использовать для рассортировки поковок по маркам стали.

Измерение твердости поковок с помощью магнитного анализатора производится более точно, чем на аппарате Бринеля, так как магнитный анализатор отражает структуру и свойства по всему сечению металла, в то время как диаметр отпечатка

шарика характеризует твердость только на поверхности, которая может быть обезуглероженной или подкаленной.

Методика разработки шкалы заключается в следующем: партия поковок, термически обработанных по строго установленному режиму, подвергается замеру магнитных показаний, затем



Фиг. 190. Диаграмма сопоставления магнитных свойств и твердости:

H_C — коэрцитивная сила; H_B — твердость по Бригелю; V_r — величина остаточного намагничивания.

поковки разрезаются по диаметру и производится исследование структуры и твердости. Из сопоставления магнитных показаний, микроструктурного состояния и твердости составляется диаграмма (фиг. 190) и разрабатывается рабочий интервал шкалы прибора для данной марки стали и ее состояния после соответствующей термической обработки.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОЧНО-МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХАХ

Массово-поточное производство требует наличия ритма в работе всех цехов завода. Механизация и автоматизация управления технологическими процессами способствуют созданию ритма. Конвейеризация потока обеспечивает связь между линиями и цехами, побуждая к сохранению ритма во всех цехах завода и обеспечивая непрерывность сборки.

Организация массово-поточного производства в механических цехах хорошо изучена и внедрена на многих предприятиях. Сложнее обстоит дело в горячих цехах, особенно в термических.

Процессы термической обработки еще до сего времени не стандартизованы и строятся часто применительно к имеющемуся оборудованию. В соответствии с достижениями в области технологии термической обработки стальных изделий, связанными с внедрением нагрева токами высокой частоты и газовой цементации, резко изменяется организация производства термических цехов, благодаря чему может быть разрешена задача создания ритма в работе термических цехов.

Существующая схема технологического процесса на большинстве машиностроительных заводов в термических цехах представляется в следующем виде.

Обработка цементируемых деталей: 1) подготовка деталей к цементации (упаковка в ящики); 2) цементация; 3) охлаждение в ящиках; 4) распаковка; 5) нагрев и первая закалка; 6) нагрев и вторая закалка; 7) промывка; 8) низкий отпуск; 9) очистка от окалины; 10) приемка отделом технического контроля.

Обработка цианируемых деталей: 1) цианирование с закалкой; 2) промывка; 3) отпуск; 4) приемка отделом технического контроля.

Обработка улучшаемых деталей: 1) закалка; 2) отпуск; 3) очистка от окалины; 4) приемка отделом технического контроля.

При такой схеме и расположении оборудования, показанном на фиг. 191, грузопотоки нередко пересекаются. Работа на отдельных участках не синхронизирована. Одна цементационная печь выдает продукцию на несколько закалочных печей и все закалочные печи на одну отпускную.

Очистка деталей производится в специальных помещениях, что связано с их движением по цеху на электрокарах с многократными перегрузками, вследствие чего график обработки деталей постоянно нарушается.

Внедрение высокочастотного нагрева для закалки деталей было началом в создании условий поточности в процессе термической обработки.

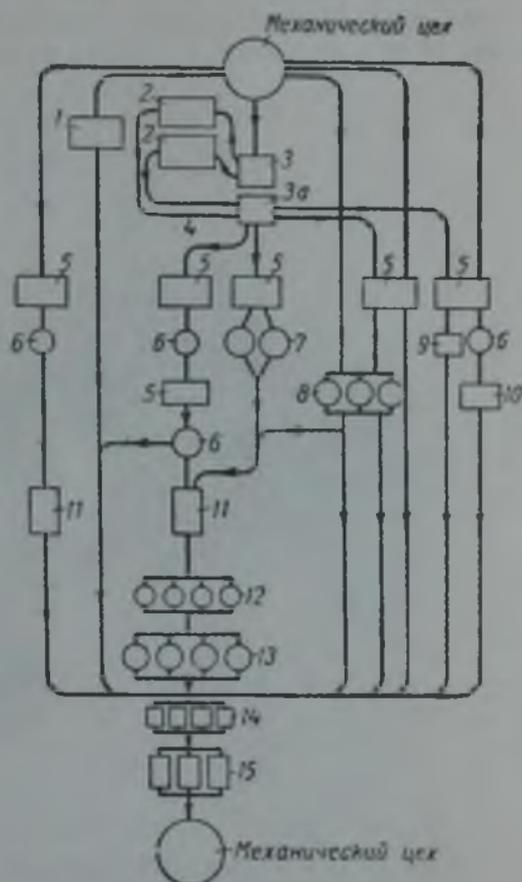
Благодаря применению высокочастотного нагрева многие детали из группы цементируемых переведены в группу закаливаемых и среди них детали больших габаритов, склонные к деформации: распределительные валы, стержни, оси и др.

Взамен цементации твердым карбюризатором в настоящее время на многих заводах применяется процесс газовой цементации. Одновременное внедрение высокочастотного нагрева и газовой цементации вызвало модернизацию технологии термической обработки и оборудования.

Внедрение процесса газовой цементации в значительной степени изменило схему технологического процесса, а именно — вместо десяти операций осталось всего четыре: 1) цементация с непосредственной закалкой; 2) промывка; 3) отпуск; 4) приемка отделом технического контроля.

Уменьшение числа операций сократило длительность пребывания деталей в цехе и видоизменило схему грузопотока, упростив ее.

Анализируя новую схему технологии цементации, можно сделать вывод, что сложный и длительный по времени процесс цементации, требующий большого количества обслуживающего персонала, а также больших площадей для вспомогательного и производственного оборудования, связанный к тому же с по-

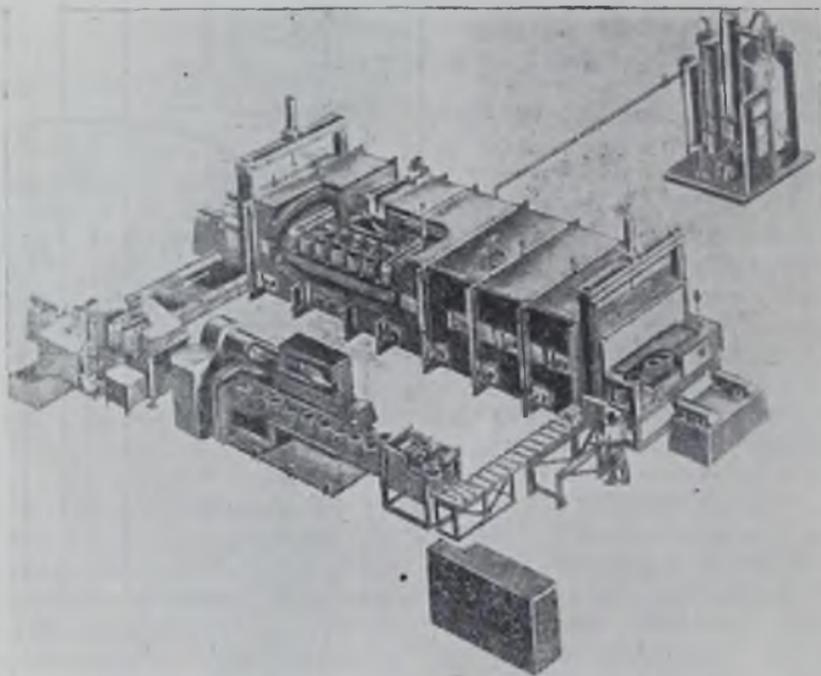


Фиг. 191. Схема потока по индивидуальным установкам:

1 — ретортная цементационная печь; 2 — пламенная цементационная печь; 3 — место для упаковки; 3а — место для распаковки; 4 — ролиганг охлаждения; 5 — закалочные ванны; 6 — баки; 7 — закалочные прессы; 8 — цинкостанная ванна; 9 — шахтная печь; 10 — печь для отпуска; 11 — моечные машины; 12 — корзины; 13 — закалочный пресс; 14 — зачистные станки; 15 — правильные прессы.

следующими двумя нагревами под закалку, превращен в простой процесс, сходный с процессом улучшения.

Агрегат для газовой цементации (фиг. 192) является наиболее совершенной установкой, которая обслуживается одним человеком, загружающим изделия. Цикл обработки совершается побудительным порядком, так как движение деталей происходит с момента погрузки их в печь по конвейеру. Требуемое качество обеспечивается автоматизацией управления процессом горения и регулировкой скорости движения конвейера.



Фиг. 192. Агрегат для обработки цементруемых деталей.

Агрегат состоит из цементационной печи с камерой подсуживания, закалочного бака, моечной машины, отпускной печи и камеры охлаждения.

При П-образном размещении цементационной и отпускной печей получается замкнутый цикл операций, и детали могут быть направляемы в механический цех по тому же конвейеру, по которому они подаются в термический (фиг. 193). Благодаря этому получается сокращение фронта рабочей линии и сокращение количества обслуживающего персонала.

Таков принцип циклического метода работы в термических цехах. Этот метод вполне применим и для процесса цианирования или нагрева под закалку в цианистых ваннах.

При наличии соответствующего оборудования циклический метод обработки может быть организован во всех термических цехах на заводах массово-поточного производства.

Циклический метод термической обработки, помимо того, что гарантирует идентичность качества продукции, дает и большую экономию как на капитальных затратах, так и на эксплуатационных расходах, вследствие того, что отпадает необходимость в закалочных печах, установке для очистки деталей от окалины и транспортных средствах для межоперационного обслуживания. Сокращается количество обслуживающего и технического персонала. Сокращается время обработки деталей, межоперационный и цеховой задел. При работе по старой схеме требуется иметь в термическом цехе 2–3-дневный задел цементируемых деталей; при работе по циклическому методу детали возвращаются в механический цех через несколько часов.

Схема организации потока по агрегатным установкам, основанная на применении циклического метода в термическом цехе, изображена на фиг. 194.

Глубина цементированного слоя деталей тяжелого грузового автомобиля

Наименование деталей	Глубина слоя в мм	
	по технологическим условиям на цементацию	по чертежу
Распределительный вал	1,3—2,0	0,8—1,5
Ось промежуточной шестерни	0,8—1,0	0,5—0,8
Вал масляного насоса	0,8—1,0	0,5—0,8
Вал водяного насоса	0,8—1,0	0,5—0,8
Болт упорный	0,8—1,0	0,8—1,0
Упорный сухарь	0,8—1,0	0,8—1,0
Толкатель клапана	0,8—1,0	0,5—0,8
Болт толкателя	1,0—1,2	0,8—1,0
Ось холостой шестерни	0,8—1,0	0,5—0,8
Палец поршня	0,8—1,0	0,5—0,8
Шестерня ведущая заднего моста	1,0—1,5	1,0—1,5
Втулка распорная	1,0—1,2	0,8—1,0
Шестерня малая цилиндрическая	1,0—1,5	1,0—1,5
ведомая заднего моста	1,0—1,5	1,0—1,5
полуси	0,8—1,0	0,8—1,0
Крестовина дифференциала	0,8—1,0	0,5—0,8
кардана	1,0—1,2	0,8—1,0
Сателлит	0,8—1,0	0,8—1,0
Шестерня большая цилиндрическая	1,0—1,5	1,0—1,5
Червяк руля	0,8—1,0	0,8—1,0
Вал кривошипа	0,8—1,0	0,8—1,0
Крышка картера руля	0,8—1,0	0,8—1,0
Шкворень передней оси	1,0—1,2	0,8—1,0
Клин шкворня	0,8—1,0	0,8—1,0
Сухарь головки тяги	1,0—1,2	0,8—1,0
Шаровой палец рулевой тяги	1,0—1,2	0,8—1,0
Конец продольной тяги	0,8—1,0	0,8—1,0
Шаровой палец продольной тяги	1,0—1,2	0,8—1,0
Палец задней рессоры	1,0—1,2	0,8—1,0
передней	1,0—1,2	0,8—1,0
Вал демультипликатора	0,8—1,0	0,5—0,8
Передаточный вал	0,8—1,0	0,5—0,8
Передаточная шестерня	0,8—1,0	0,8—1,0
Каретка реверса	0,8—1,0	0,8—1,0
Ведущая шестерня коробки передач	0,8—1,0	0,8—1,0
Каретка 1-й и 2-й передач	0,8—1,0	0,8—1,0
3-й и 4-й	0,8—1,0	0,8—1,0
Вал пазовый	1,0—1,2	0,8—1,0
Промежуточный вал коробки передач	0,8—1,0	0,8—1,0
Шестерня 3-й передачи	0,8—1,0	0,8—1,0
постоянного сцепления	0,8—1,0	0,8—1,0
заднего хода	0,8—1,0	0,8—1,0
Ось шестерни заднего хода	0,8—1,0	0,5—0,8
Стержень 1-й и 2-й передачи	0,8—1,0	0,5—0,8
3-й и 4-й	0,8—1,0	0,5—0,8
заднего хода	0,8—1,0	0,8—0,8
Направляющий валик	0,8—1,0	0,5—0,8
Шестерня насоса для шин	0,8—1,0	0,8—1,0
скользящая	0,8—1,0	0,8—1,0
Ось скользящей шестерни	0,8—1,0	0,8—1,0
Сухарь вкладыша	0,8—1,0	0,8—1,0

Примечания: 1. Для деталей, подвергающихся шлифовке, глубина цементированного слоя устанавливается с припуском на шлифовку.

2. Глубина слоя замеряется на отожженном образце.

Рекомендуемые марки сталей для автомобильных деталей

Наименование деталей	Марки стали для грузовых автомобилей	Марки стали для легковых автомобилей высшего класса	Марки стали для легковых автомобилей среднего класса и малолитражных
Коленчатый вал	45 сел.	45 сел. ¹	45 сел.
Распределительный вал	45 "	45 "	45 "
Поршневый палец	20X	20X	20X
Валик водяного насоса	45 сел.	45 сел.	45 сел.
Валик масляного насоса	45 "	45 "	45 "
Распределительная шестерня	45 "	45 "	45 "
Венец маховика	50Г	50Г	50Г
Болт шатуна	40X	40XНМА	40X
Шагун	40X	40XНМА	40X
Клапан впускной	40X	40XН	40X
Клапан выпускной	ЭИ-107	ЭИ-73	ЭИ-107
Пружина клапана	У8	50ХФА	У8
Шестерня масляного насоса	40X	40X	40X
Шестерня водяного насоса	40X	40X	40X
Шестерня насоса для шин	45 сел.	45 сел.	45 сел.
Шестерня спидометра	20	18ХГТ	20
" коробки передач	18ХГТ	18XНМА	18ХГТ
Пазовый вал	40X	40XНМА	45 сел.
Стержни коробки передач	45 сел.	45 сел.	45 сел.
Вилки " "	35	35	35
Головки " "	35	35	35
Карданный вал	40X	40XНМА	40X
Полуось	40X	40XНМА	40X
Шкворни	12X2Н4А	12X2Н4А	12X2Н4А
Шаровые пальцы	12X2Н4А	12X2Н А	12X2Н4А
Рессорные "	45 сел.	12X2Н4А	45 сел.
Кулаки тормозные	45 "	—	45 "
" поворотные	40X	40XНМА	40X
Рулевые рычаги	40X	40XНМА	40X
Рессоры	60С2	50ХГФА	50ХГ
Пружины подвески	—	60С2А	60С2А
Крестовина кардана	18ХГТ	12X2Н4А	18ХГТ
" дифференциала	18ХГТ	12X2Н4А	18ХГТ
Шестерня заднего моста ведущая	18ХГТ	18XНМА	18ХГТ
Шестерня заднего моста ведомая	18ХГТ	18XНМА	18ХГТ
Сателлиты	18ХГТ	18ХГТ	38X
Шестерни полуоси	18ХГТ	18ХГТ	38X
Ланжерон	1330-25	25	25
Диск сцепления	50Г	50Г	50Г
Пружина сцепления	65Г	Р	65Г
Тормозные пружины	65Г	Р	65Г
Крепежные болты	35	40X	35
" гайки	35	40X	35
Ось шестерни заднего хода	18ХГТ	18ХГТ	18ХГТ
Рычаг переключения передач	20	20	20

¹ Сел—селект., т. е. с суженными пределами по углероду.

Наименование деталей	Марки стали для грузовых автомобилей	Марки стали для легковых автомобилей высшего класса	Марки стали для легковых автомобилей среднего класса и малолитражных
Шестерня привода спидометра	20	18ХГТ	20
Червяк руля	20	35ХНЗА	20
Сошка руля	18ХГТ	40ХНМА	18ХГТ
Вал сошки руля	18ХГТ	40ХНМА	40Х
Передний и задний концы карданного вала	40Х	40ХНМА	40Х
Муфта сцепления	45	45	45
Стойка передней подвески	—	40ХНМА	40Х
Болт крепления маховика	40Х	40Х	40Х
Вилка карданного вала	40Х	40ХНМА	40Х
Фланец кардана	40Х	40ХНМА	40Х
Палец передней рессоры	40Х	40ХНМА	40Х
Стремянка рессоры	40Х	40ХНМА	40Х
Торсион	—	60С2	60С2
Ось амортизатора	45 сел.	45 сел.	45 сел.
Головка амортизатора	18ХГТ	12Х2Н4А	18ХГТ

ПРИЛОЖЕНИЕ III

Инструкция по отбору проб газа

I. Применяемая аппаратура:

1. Газовая пипетка на 300—500 мл с двумя кранами.
2. Водонапорная склянка емкостью 500—10 000 мл.
3. Резиновый шланг с пробкой.
4. Железная трубка диаметром 10—12 мм (для отбора пробы из разных зон печей).

II. Подготовка аппаратуры.

1. Хорошая газовая пипетка должна отвечать следующим требованиям: а) не иметь трещин; б) иметь хорошо притертые краны, снабженные резинками.
2. Краны газовой пипетки должны быть смазаны вазелином, ланолином или специальной смазкой.
3. Газовая пипетка должна быть проверена на утечку газа следующим образом: заполненная водой пипетка при обоих закрытых кранах не должна давать утечки воды.
4. Резиновый шланг должен быть подобран по диаметру трубки пипетки, резиновые пробки также должны быть хорошо пригнаны.

III. Отбор пробы.

1. Заполняют пипетку раствором из водонапорной склянки.
2. Соединяют отросток от газопровода с краном пипетки резиновым шлангом, который предварительно промывают испытуемым газом, проверяя выход газа рукой.
3. Открывают оба крана пипетки при расположении водонапорной склянки ниже пипетки.
4. Закрывают после вытеснения газом раствора сначала нижний кран и через одну минуту верхний кран для создания давления в пипетке.

5. Закрывают кран отростка газопровода; разъединяют пипетку и записывают данные, при которых взята проба: а) время и дата отбора пробы; б) на каком газе работает печь; в) наименование печи, газогенератора; г) расход керосина и воды на пиролизных установках; д) температуры пиролизных установок и печи и е) давление газа по манометру.

IV. Меры предосторожности.

1. Так как растворы для заполнения пипеток содержат серную кислоту, то при работе с ними следует остерегаться попадания растворов на тело, одежду и обувь во избежание ожогов тела и порчи одежды и обуви.

2. При попадании раствора на тело следует немедленно хорошо смыть его водой или слабым раствором соды; одежду, обувь также следует промывать.

3. Так как длительное нахождение в газовой атмосфере может привести к отравлению, то необходимо при обнаружении сильного запаха светильного газа работу по отбору пробы прекратить и сообщить дежурному по печи или установке о случившемся.

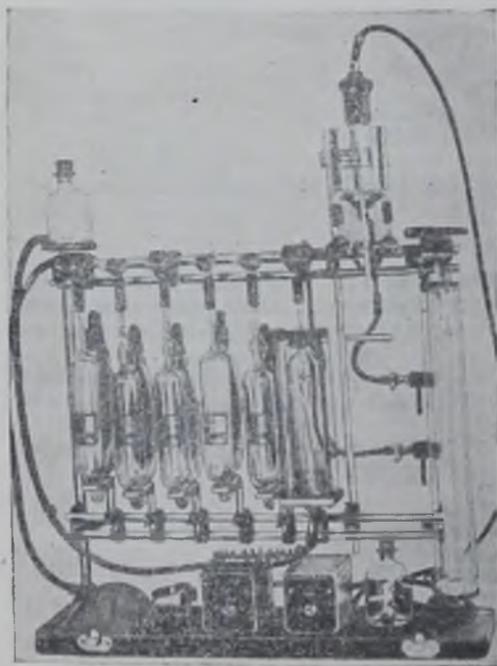
4. Необходимо помнить об обязательном закрытии после отбора проб кранов отростков в газопроводе, откуда отбираются пробы, так как оставление открытыми кранов может привести к взрыву газа и отравлению работающих на установке или печи.

ПРИЛОЖЕНИЕ I'

Инструкция к газоанализатору типа Бюрель

На газоанализаторе типа Бюрель (фиг. 195) можно определить следующие компоненты газа: CO_2 , C_nH_{2n} , O_2 , CO , H_2 , CH_4 , C_2H_6 , N_2 .

Сернистый и серный ангидриды, сероводород могут присутствовать в газе, но они определяются другими приборами.



Фиг. 195. Газоанализатор типа Бюрель.

1. Подготовка газоанализатора к работе

После того как стеклянные части установлены на раме прибора, приступают к заполнению емкостей растворами и проверке газоанализатора на утечку.

1. Необходимо проверить чистоту кранов трубопровода. Удалить из муфты кранов пыль и смазать краны чистым тавотом или вазелином, еще лучше ланолином. При этом необходимо следить за тем, чтобы отверстия кранов и трубопровод не были покрыты смазкой. При смазке кранов следует избегать избытка вазелина, так как при этом невозможно создать герметичность в трубопроводе, кроме того, избыточная смазка засоряет отверстия кранов.

2. Налить в водонапорную склянку бюретки 3-процентный раствор серной кислоты и проверить бюретку на утечку, под-

нимая и опуская склянку при закрытом кране бюретки. Если уровень жидкости в бюретке не меняется, то она считается пригодной для работы. Измеряется объем газа в бюретке обычно поднятием водонапорной склянки вверх до совпадения уровня жидкости в бюретке с уровнем жидкости в склянке.

3. Проверить трубопровод, для чего бюретку газоанализатора соединить с трубопроводом и проверить его на герметичность, опуская и поднимая склянку бюретки вниз и вверх при определенном объеме воздуха. Если объем воздуха в бюретке не изменился, то считают, что утечки в гребенке и бюретке нет.

4. Налить в 1-ю емкость 30-процентный раствор едкого кали и заполнить его до уровня на 20—30 мм от капиллярной части гребенки. Отметить уровень жидкости в капилляре поглотителя карандашом на стекле или лаком. Если уровень жидкости в поглотителе не снижается в течение нескольких минут, то можно считать, что в кране, гребенке и в месте соединения гребенки с емкостью утечки нет. Если же при нескольких перегонах определенного объема воздуха из бюретки в емкость и обратно объем воздуха в бюретке не изменился, то можно считать секцию газоанализатора от бюретки до 2-й емкости проверенной.

5. Налить раствор 2 (см. инструкцию приготовления растворов) во 2-ю емкость и проверить на утечку в соответствии с „а“ (см. проверку 1-й емкости).

6. Налить раствор 3 в 3-ю емкость и проверить герметичность емкости по „а“ (см. проверку 1-й емкости).

7. Налить раствор 4 в 4-ю и 5-ю емкости и также проверить на герметичность.

8. Налить в 6-ю емкость 30-процентный раствор едкого кали.

9. Наполнить зерновой окисью меди кварцевую трубку, находящуюся между 5-й и 6-й емкостью.

10. Для окончательной подготовки аппарата к анализу необходимо, чтобы а) все емкости были наполнены до определенной метки (метка должна находиться на 20 мм от края капилляра);

б) трубопровод гребенки должен быть промыт жидкостью из склянки бюретки;

в) бюретка должна быть заполнена до крана.

II. Отбор пробы газа

Один конец газовой пипетки с отобраным газом соединяют резиновым шлангом с водонапорной склянкой емкостью 0,5 л, которая наполнена 3-процентным раствором серной кислоты. Водонапорная склянка должна быть установлена выше пипетки (необходимо следить, чтобы в пипетку с пробой не попадали пузырьки воздуха). В момент присоединения к крану пипетки резинового шланга он должен быть заполнен жидкостью из водонапорной склянки.

Другой кран газовой пипетки надо соединить через каучковую трубку с трехходовым краном, который соединен с краном бюретки газоанализатора. Соединить кран бюретки с трехходовым краном и поднимать водонапорную склянку вверх. Когда из трехходового крана польется ровная струя жидкости, надо повернуть трехходовой кран так, чтобы жидкость водонапорной склянки проходила в пипетку. Уровень жидкости в бюретке не должен снижаться при закрытом кране в пипетке. При открывании нижнего и верхнего кранов пипетки газ из нее поступает в бюретку газоанализатора.

2—3 раза надо набрать приблизительно по 30—40 мм испытываемого газа и выбросить поворотом трехходового крана на воздух. Затем набрать 100 мм испытываемого газа, повернуть кран бюретки в сторону гребенки и, если объем не изменился, можно приступить к анализу.

III. Определение углекислого газа CO_2

Переводят взятый для анализа газ из бюретки в 1-ю емкость с раствором едкого кали и обратно, делать так 5—6 раз. Измеряют полученный новый объем газа, а затем его вновь пропускают 2 раза через раствор щелочи, после чего опять измеряют полученный объем. Разность в объемах газа

до и после поглощения равна содержанию углекислоты в газе. Таким образом,

$$\text{CO}_2 = \frac{(A - B) \cdot 100}{A} \%.$$

где A — объем газа, взятого для анализа;

B — объем того же газа после поглощения углекислоты.

Если A равно 100, то процентное содержание $\text{CO}_2 = A - B$ %.

IV. Определение непредельных углеводородов — C_nH_{2n} .

Полученный остаток газа после поглощения CO_2 пропускают через раствор брома (2-я емкость) до тех пор, пока окраска метилоранжа в верхнем слое жидкости бюретки начнет обесцвечиваться. Удаляют пары брома из газа, пропуская его через 1-ю емкость с подачей раствора до тех пор, пока объем не останется постоянным. Пусть новый объем газа равен C , тогда

$$\text{C}_n\text{H}_{2n} = \frac{(B - C) \cdot 100}{A} \%.$$

Если $A = 100$, то $\text{C}_n\text{H}_{2n} = B - C$ %.

V. Определение кислорода O_2

Переводят несколько раз оставшийся газ через раствор пирогаллола (3-я емкость) до получения постоянного объема. Предположим, что новый объем после поглощения кислорода равен D , тогда

$$\text{O}_2 = \frac{(C - D) \cdot 100}{A} \%.$$

VI. Определение окиси углерода — CO

Остаток газа переводят в 4-ю емкость с аммиачным раствором полухлористой меди и обратно в бюретку до получения постоянного объема. Затем переводят его в 6-ю емкость, наполненную тем же раствором до постоянного объема.

Допустим, что вновь полученный объем газа равен E , тогда

$$\text{CO} = \frac{(D - E) \cdot 100}{A} \%.$$

VII. Определение водорода H_2

Остаток газа переводят в 6-ю емкость, на кварцевую трубку надевают печку, вставляют термометр, подставляют горелку и нагревают. Когда температура достигнет $290 - 310^\circ$, переводят газ из поглотителя в бюретку и обратно до постоянного объема. Затем печку снимают, кварцевую трубку охлаждают струей сжатого воздуха и измеряют полученный объем газа.

Предположим, что он будет равен L , тогда

$$\text{H}_2 = \frac{(E - L) \cdot 100}{A} \%.$$

VIII. Определение метана и этана

Полученный остаток газа переводят в 6-ю емкость. Кварцевую трубку нагревают горелкой до $800 - 850^\circ$ и переводят газ из поглотителя в бюретку и обратно до получения постоянного объема. Затем охлаждают трубку и измеряют полученный объем газа.

Предположим, что он равен M , тогда

$$\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 = \frac{(L - M) \cdot 100}{A} \%.$$

Остаток газа после сжигания метана и этана принимается за содержание азота в анализируемом газе.

Инструкция

по приготовлению растворов для газоанализатора Бюрель

1. Водонапорная склянка заполняется 3-процентным раствором серной кислоты, подкрашенной метилоранжем. 15 мл H_2SO_4 с удельным весом 1,84 разбавляют в 1 л дистиллированной воды и приливают 2—1 мл метилоранжа.
2. Первая емкость заполняется 30-процентным раствором едкого кали, 15 г едкого кали растворяют в 350 мл дистиллированной воды (на две емкости).
3. Вторая емкость заполняется раствором брома и бромистого кали. 22 г бромистого кали растворяется в 200 мл воды и в раствор приливают 3 мл брома.
4. Третья емкость заполняется щелочным раствором пирогаллола или щелочным раствором гидросульфита.
5. Для приготовления раствора пирогаллола растворяют 20 г его в 135 мл воды; отдельно растворяют 34 г едкого кали в 55 мл воды; оба раствора смешивают вместе.
6. Для приготовления щелочного раствора гидросульфита 29 г едкого кали растворяют в 200 л воды и заливают после полного растворения вазелиновым маслом. Прибавляют 58 г заранее взвешенного гипосульфита. Все это взбалтывают и, не дав отстояться осадку, берут пипеткой раствор из-под масла и переносят в емкость, затем снова заливают вазелиновым маслом.
7. Четвертая и пятая емкости заполняются аммиачным раствором полухлористой меди: 250 л хлористого аммония растворяется в 750 мл воды; 68 г полухлористой меди растворяется в 240 мл раствора хлористого аммония, затем добавляют 170 мл аммиака и хорошо взбалтывают до полного растворения осадка.
8. Шестая емкость заполняется 30-процентным раствором едкого кали.
9. Кварцевая трубка заполняется зерненной окисью меди.

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

Инструкция

по пуску и работе пиролиз-крекинг-установки

1. Подготовка к пуску пиролизной установки
 1. Заполнить керосином цистерну.
 2. Залить в бак соляровое масло для скрубберов.
 3. Перекачать насосом масло из бака в скрубберы до уровня ниже контрольного краника на 100—150 мм.
 4. Залить водой гидравлик и гидравлические затворы в системах пиролизного и крекированного газов.
 5. Выпустить смолу из трубы пиролизного газа, идущую от гидравлика в скрубберы.
 6. Спустить воду из трубопроводов крекированного газа.
 7. Проверить манометры и тягомер, установив последний по уровню на ноль.
 8. Убедиться, что моторы насосов, подающих воду и керосин, работают.

II. Разогрев пиролизной печи

1. Проверить, закрыты ли на всей пиролизной установке краны светильного газа, пиролизного и крекированного.

2. Открыть воздушный шибер у печи, открыть воздушные краны у горелок, открыть постепенно краны воздуха у регуляторов и продуть печь воздухом. После продувки закрыть воздушные краны у регуляторов и горелок, оставив шибер открытым.

3. Присоединить резиновый шланг с тремя металлическими наконечниками к газопроводу светильного газа и поджечь выходящий из шланга газ (кран газовый расположен около манометра; давление газа должно быть не меньше 70 мм вод. ст.).

4. Открыть общий газовый вентиль, подающий газ в печь.

5. Вставить наконечники с горящими факелами в запальные отверстия трех горелок и открыть газовый кран у регулятора зажигаемой секции, а затем постепенно открывать краны у газовых горелок до вспышки газа, после чего постепенно открывать воздушный кран и довести пламя до цвета нормального горения. Убедившись в нормальном горении зажженных горелок, факелы вынуть и зажигать остальные горелки этой секции, следя при розжиге за горением вставленных в запальные отверстия факелов.

Примечание. При нормальном горении всех горелок давление на газовых манометрах должно быть около 50 мм вод. ст.

6. Включить самопишущие приборы и вести постепенно нагрев пиролизной печи до температур: в 1-й зоне пиролиза керосина до 650–700°; во 2-й зоне пиролиза керосина до 800–830°; в камере крекинг-газа до 950–970°.

7. Пустить керосиновый насос, подающий керосин в бачок у печи, как только установится нормальная температура по длине пиролизной печи (т. е. соответственно 650, 800, 950°). Пустить воду в бачок. Проверить по обратным сточным трубам сток керосина и воды.

8. Открыть вентиль в системе пиролизного газа, выпускающий газ на воздух.

9. Открыть краны, подающие керосин и воду в реторту.

10. Включить первый, второй и третий скрубберы, нажав пусковые кнопки на моторах насосов.

11. Открыть краны на керосинопроводе в намеченных к работе ретортах и, убедившись в том, что керосин поступает в реторты (что видно по манометру и гидравлику), приступить к регулированию количества подаваемого керосина, пользуясь мензуркой и секундомером, доведя это количество на обеих ретортах примерно до 7,2 л/час.

12. По прошествии 30–40 мин. действия пиролизной установки открыть контрольный краник (для взятия проб на анализ) и проверить газ на горение.

13. Приступить к пуску пиролизного газа на крекинг, убедившись в том, что он горит нормально, без хлопков. Для этого: а) открыть кран для выхода крекированного газа на воздух; б) открыть кран в трубе, идущей от последнего скруббера пиролизного газа к диафрагме у пиролизной печи; в) открыть кран у диафрагмы и краны у реторт крекинга; г) прикрыть кран, выпускающий пиролизный газ на воздух для создания давления у диафрагм в 2–3 дюйма.

14. Приступить к подаче в насосы немедленно после пуска пиролизного газа на крекинг. Для этого: а) залить водой из мензурки емкости у насосов; б) открыть вентили, подающие воду в реторты, и установить расход воды, приблизительно равный 0,9 л/час на три реторты, регулируя подачу ее в зависимости от показания тягомера и по конденсации в трубе, отводящей крекированный газ из печи для очистки.

15. Сделать пробу крекинг-газа, пропуская его в течение 20 мин. для чего зажечь газ, выходящий из контрольного краника, находящегося на последнем скруббере. Зажигать газ следует на высоте 100 мм от отверстия краника.

16. Убедившись, что газ горит без хлопков, пустить пиролизный и крекированный газы в цемента ионную печь, открыв краны у соответствующих газопроводов, закрыв выходы газа на воздух и предупредив персонал цементационной печи о подаче газа в печь (на цементационной печи краны крекированного и пиролизного газа должны быть открыты).

17. Давление на манометрах при работе пиролизной печи устанавливается следующее:

- а) на манометре у гидравлика 150—200 мм вод. ст.;
- б) на манометре у первого скруббера 152—180 мм вод. ст.;
- в) на манометре у второго скруббера 130—150 мм вод. ст.;
- г) на манометре у последнего, седьмого скруббера, работающего на крекинг, 80—70 мм вод. ст.;
- д) на манометре у диафрагмы 4,5—5,5 мм вод. ст.;
- е) у дифференциального тягомера 0,6—0,8 мм вод. ст.

18. Сделать контрольный анализ пиролизного и крекированного газов.

III. Порядок остановки пиролизной печи

При остановке печи необходимо:

1. Выключить питание реторт керосином и водой.
2. Выключить светильный газ.
3. Прекратить подачу воздуха.
4. Закрыть краны горелок, а также воздушные и газовые краны у регулятора.
5. Закрыть краны, подающие пиролизный и крекированный газы.
6. Закрыть кран, подающий газ на крекинг и кран на скрубберы.
7. Открыть краны, выпускающие пиролизный и крекированный газы на воздух.
8. Прекратить подачу керосина из цистерны.

IV. Чистка гидравлика

1. Выключить подачу керосина.
2. Дать испариться керосину в течение 10—15 мин.
3. Закрыть вентиль, подающий газ в цех.
4. Открыть вентиль, выпускающий газ на воздух.
5. Выпустить газ из реторт и газопровода на воздух.
6. Открыть пиролизные реторты.
7. Слегка открыть пробку на трубе выходящего газа на гидравлике.
8. Выпустить газ из гидравлика постепенно, в течение не менее часа и только после этого спускать воду.
9. Спустить через кран жидкую смолу.
10. Выпустить через люк осадок смолы.

V. Чистка реторт

1. При засорении пиролизной реторты керосин выбивается из сифонных трубок, подающих его в реторту, и снижается давление пиролизного газа. Работают обычно две пиролизные реторты, а третья находится в чистке. Каждая труба должна чиститься не реже чем через 4—5 час.

Прекратив подачу керосина в выключенную пиролизную реторту, дают возможность оставшемуся в ней керосину превратиться в газ (10—15 мин) и, ослабив винты у фланца со стороны гидравлика, поджигают выходящий из реторты газ. Когда он загорится, отвинчивают и снимают крышку. Затем отвинчивают пробку с передней стороны реторты (трубы). Сажа снимается скребком, а затем пускается воздух низкого давления, для чего вводится железная трубка, соединенная с воздушным краном шлангом.

2. Чистка реторт для крекинг-газа нормально производится раз в неделю.

Инструкция по уходу за печью газовой цементации

1. Пуск печи непрерывной газовой цементации

1. Проверить давление городского светильного газа, которое нормально должно быть равным 140—150 мм вод. ст.
2. Открыть центральный и все воздушные краны у горелок и пропустить воздух в течение 5—6 мин. через печь, закрыв краны опять после продувки.
3. Открыть центральный газовый вентиль на печи.
4. Открывать последовательно газовые краны нижнего ряда горелок печи и поджигать горелки одну за другой факелом через отверстия для наблюдения, расположенные с противоположной стороны печи.
5. Открыть воздушные краны одной секции, когда горелки этой секции зажжены, и отрегулировать горение. Затем перейти на другие секции нижнего ряда.
6. Открыть краны газа и воздуха у верхнего ряда горелок после нагрева печи до температуры 600—700° и поднимать температуру печи до рабочей: в первой зоне до 900—925°; во второй зоне до 925—935°; в третьей зоне до 925—935°; в разгрузочной камере до 860—870°.
7. Разогревать печь медленно во избежание перегрева отдельных секций муфеля; нагрев всего муфеля должен быть равномерный. Во время работы печи должны гореть все горелки и при регулировании температуры отдельные горелки полностью не закрывать. Для снижения температуры в муфеле уменьшать интенсивность горения по всем горелкам данной зоны. Строжайше воспрещается допускать переход температуры в какой-либо зоне свыше 950°.
8. Проверить, все ли впускные краны на печи закрыты передпуском пиролизного газа и газа крекированного в цементационную печь.
9. Открыть заслонку муфеля со стороны загрузки и зажечь горелки в предварительной камере.
10. Открывать последовательно краны на своде печи в газопроводе пиролизного газа и затем крекинг-газа. Начинать надо с третьей зоны в направлении к загрузочной камере, и как только газ, вытесняющий из муфеля воздух, пойдет до заслонки у загрузочной камеры, клапан закрыть.
11. Открыть кран на трубе, отводящей газ из муфеля в гидравлик, и кран на вертикальной трубе факела, пустив предварительно воду в водяной затвор (гидравлик), поддерживая постоянный уровень воды, обеспечивающий в муфеле давление 8—10 мм вод. ст.
12. Газы вводятся в муфель в различных местах по его длине, в количествах, определяемых величиной отверстий в газопроводах. Диаметры отверстий для подачи газов следующие:

	Пиролизный газ в мм	Крекинг-газ в мм
1-а подача	2,3	3,1
2-я "	2,7	2,9
3-я "	3,0	2,6
4-я "	2,7	2,0
5-я "	1,9	2,0

13. На дифференциальных тягомерах показания должны быть у печи следующие:

- на тягомере пиролиз 1,8—2 дюйма;
- на тягомере крекинг газа 0,8—1 дюйм.

14. Печь считается закрытой, когда:

- а) горелки, нагревающие печь, закрыты;
- б) горелки, установленные в предварительной камере, также закрыты;
- в) автосчетчики, записывающие показания контрольных приборов, выключены;

- г) вода к гидравлику не подается;
- д) крекинг-газ и пиролизный газ в муфель не подаются;
- е) горелки, нагревающие разгрузочную камеру, закрыты;
- ж) установки пиролиз-крекинг процесса остановлены.

II. Работа на цементационной печи.

1. Загружать печь деталями в следующей последовательности: детали грузятся на поддон, находящийся на площадке перед камерой загрузки. После загрузки поддон продвигается в камеру подогрева вручную, закрывается наружная заслонка, открывается внутренняя заслонка — клапан муфеля, включается мотор толкателя, поддон продвигается в муфель, и заслонки закрываются.

2. Когда в печь загружены поддоны полностью, дальнейшая загрузка требует предварительного выталкивания из печи поддона, находящегося у заслонки-клапана муфеля со стороны разгрузочной камеры. Выталкивание поддонов происходит в такой последовательности: открывают заслонку-клапан муфеля с разгрузочной стороны и кочергой вытаскивают поддон в разгрузочную камеру; клапан муфеля после этого закрывают. Детали оставляют для подстуживания в разгрузочной камере или закаливают непосредственно.

После выгрузки поддона с цементированными деталями в муфеле освобождается одно место и можно протолкнуть в печь новый поддон.

Примечание. Должно быть обращено особое внимание на число находящихся в муфеле поддонов, так как при толкании в загруженную полностью печь лишнего поддона неизбежна крупная авария с толкателем и клапаном.

III. Чистка труб, подводящих и отводящих в муфель газ.

1. Трубы, подводящие газ в муфель, закоксовываются и требуют чистки, которая производится периодически.

2. При пропуске газа в соединении наружной трубы с муфелем необходимо срочно устранить утечку.

3. Труба, отводящая газ из муфеля к водяному затвору, должна очищаться от сажи ежедневно.

IV. Остановка цементационной печи на чистку.

1. Все поддоны с деталями из печи выталкиваются, вводя поддоны с грузом.

Поддоны с грузом удаляют из муфеля длинными клюшками.

2. Прекращают подачу газа в муфель. Если чистка муфеля производится с выжиганием сажи, то горелки, нагревающие муфель, продолжают работать, но температура снижается до 800—850°.

3. Открывают обе заслонки клапана, чтобы дать возможность саже в муфеле выгореть. Сажу, накопившуюся на дне муфеля, удаляют скребками.

4. Коксовидные наросты, не поддающиеся скребку, выжигают, подавая к ним воздух низкого давления по трубке. Воздух надо подавать в таких количествах, при которых отдельные части муфеля не будут перегреваться.

5. Во время остановок должны быть осмотрены и исправлены все дефекты, появившиеся во время работы печи.

6. Одновременно с печью очищают и исправляют пиролизную установку.

7. При длительной остановке цементационной печи светильный газ выключают, закрывают горелки, перекрывают воздух, и муфель при этом охлаждается.

8. Печь считается закрытой, когда:

- а) горелки, нагревающие печь, закрыты;
- б) горелки, установленные в камере предварительного нагрева, также закрыты;
- в) горелки, нагревающие разгрузочную камеру, закрыты;
- г) автосчетчики, записывающие показания контрольных приборов, выключены;
- д) вода к гидравлику не подается;
- е) крекинг-газ и пиролизный газ в муфель не подаются.

Технологические процессы термиче-
тяжелого

Наименование деталей	Марка стали	Вес в кг	Цементация или цианирование				
			Аппарат	Температура в °С	Время в мин.	Среда охлаждения	Глубина слоя в мм
Болт креплен. маховика	40X	0,051	—	—	—	—	—
Болт верхней головки шатуна	40X	0,05	—	—	—	—	—
Распределительный вал	20	6,87	ГЦП	920—950	960	Воздух	1,5—2,0
Упорный сухарь	20	0,2	РП	920—950	300	Масло	0,8—1,1
Толкатель клапана	15X	0,10	ГЦП	920—950	600	Газ	1,0—1,3
Червяк ведущий распределения зажигания	35	0,41	—	—	—	—	—
Шестерня спиральная масляного насоса	15X	0,18	ЦВ	840—860	45	Масло	0,25—0,30
Болт упорный промежуточной шестерни	20	0,025	РП	920—950	270	Воздух	0,8—1,1
Болт крышки шатуна	40X	0,05	—	—	—	—	—
Гайка болта шатуна	35	0,018	—	—	—	—	—
Шестерня распределения зажигания	35	0,05	—	—	—	—	—
Ось промежуточной шестерни распределения	20	0,60	ГЦП	920—950	600	Воздух	0,8—1,1
Шестерня масляного насоса	20	0,12	ЦВ	840—860	45	Вода	0,25—0,3
Вал масляного насоса	15X	0,46	ГЦП	920—950	600	Воздух	0,8—1,1
Ось ведущей шестерни	20	0,14	РП	920—950	300	"	0,8—1,1
Тормозной кулак	35	4,04	ЦВ	840—860	100	Вода	0,25—0,30
Шестерня малая цилиндрическая	20X3	6,3	ГЦП	920—950	600	Газ	1,0—1,5
Шестерня ведомая	20X3	4,66	ГЦП	920—950	600	Масло	1,0—1,5
Шестерня ведомая после протяжки шлицевого отверстия	—	—	—	—	—	—	—
Шестерня полуоси	20X3	2,35	ГЦП	920—950	480	Газ	0,8—1,3
Крестовина дифференциала	20X3	1,59	ГЦП	920—950	600	"	0,8—1,3
Сателлит дифференциала	20X3	0,57	ГЦП	920—950	600	"	0,8—1,3
Шестерня большая цилиндрическая	20X3	10,21	ГЦП	920—950	720	"	1,0—1,5
Болт крепления шестерни	40X	0,09	—	—	—	—	—
Полуось	40X	15,23	—	—	—	—	—
Гайка внутренняя колеса правая	A12	0,11	ЦВ	840—860	35	Вода	0,2—0,4
Гайка внутренняя колеса левая	A12	0,11	ЦВ	840—860	35	"	0,2—0,4
Шестерня ведущая коническая	12X2H4	3,6	ГЦП	920—950	600	Газ	1,0—1,5
Распорная втулка подшипника ведущей шестерни	20	0,775	ГЦП	920—950	480	Воздух	0,8—1,2

¹ Твердость по Бринелю (H_B)

³ Пресс закалочный

Технология обработки автомобильных деталей
автомобиля З-5 т

Закалка				Отпуск			
Агрегат	Температура в °С	Время в мин.	Среда охлаждения	Агрегат	Температура в °С	Время в мин.	Твердость H_{RC150}
ЭПК	850—860	15	Масло	ЭПК	640—660	30	285—255 ¹
ЭПК	850—860	15	•	ЭПК	640—660	30	285—255 ¹
ККП	760—780	60	Раствор каустика	ЭОП	210	90	58—60
Непосредственная закалка				ЭОП	210	60	56—60
ГЦП	850—860	10	Масло	ЭОП	210	60	56—60
ЭПК	830—850	30	Вода	ЭПК	530—550	30	321—280 ¹
Непосредственная закалка				ЭОП	210	90	56—60
ЭПК	760—780	10	Вода	ЭОП	210	60	56—60
ЭПК	850—860	15	Масло	ЭПК	640—660	30	321—268 ¹
ЭПК	830—850	10	Вода	ЭПК	530—550	30	25—30
ЭПК	830—850	15	Воздух	ЭПК	530—550	30	25—30
ЭПК	760—780	45	Вода	ЭОП	210	60	56—60
Непосредственная закалка				ЭОП	210	60	56—60
СВ	760—780	30	Вода	ЭОП	210	60	56—62
СВ	760—780	20	Раствор каустика	ЭОП	210	60	56—60
—	—	—	—	ЭОП	210	90	Тарированный напильник на 56 и выше
ГЦП	820—830	8	Масло	ЭОП	210	90	58—62
—	—	—	—	ККП	680	225	28
ККП	870—850	52	Масло	ЭОП	210	90	58—62
ГЦП	820—830	10	•	ЭОП	210	90	58—62
ГЦП	820—800	10	•	ЭОП	210	90	56—62
ГЦП	820—830	10	•	ЭОП	210	90	56—62
ГЦП	920—875	15	•	ЭОП	210	90	58—62
ЭПК	850—860	22	•	ЭПК	640—610	28	285—255 ¹
ККП	850—860	54	•	ККП	550—600	64	341—302 ¹
				Тарированный напильник на 56 и выше			
				То же			
ГЦП	840—860	10	•	СВ	210	90	56—62
ККП	760—780	40	Вода	ЭОП	210	90	56—62

Наименование деталей	Марка стали	Вес в кг	Цементация или цианирование				
			Агрегат	Температура в °С	Время в мин.	Среда охлаждения	Глубина слоя в мм
Ведущая шестерня . . .	20X3	2,75	ГЦП	920—950	870	Газ	0,7—1,1
Каретка 1 и 2-й передач	20X3	5,75	ГЦП	920—950	480	"	0,7—1,1
Каретка 3 и 4-й передач	20X3	1,27	ГЦП	920—950	600	"	0,7—1,1
Промежуточный вал . .	20X3	5,5	ГЦП	920—950	600	"	0,7—1,1
Шестерня 3-й передачи	20X3	2,0	ГЦП	920—950	600	"	0,7—1,1
Шестерня постоянного зацепления	20X3	2,5	ГЦП	920—950	600	"	0,7—1,1
Шестерня заднего хода	20X3	2,05	ГЦП	920—950	600	"	0,7—1,1
Ось шестерни заднего хода	15XФ	1,37	ГЦП	920—950	600	"	0,7—1,2
Рычаг переключения . .	20	1,402	ЦВ	840—860	60	"	0,25—0,30
Вилка переключения . .	20	0,603	ЦВ	840—860	50	Вода	0,2—0,4
Стержень переключения 1 и 2-й передач	20	0,49	ГЦП	920—950	600	Воздух	0,7—1,2
Вилка переключения . .	20	0,466	ЦВ	840—860	50	"	0,2—0,4
Стержень переключения 3-й передачи . .	20	0,49	ГЦП	920—950	600	"	0,7—1,2
Защелка тяги	10	0,025	ЦВ	840—860	75	Вода	0,25—0,30
Шестерня крившипная насоса для шин .	20	0,77	ГЦП	920—950	480	Воздух	0,7—1,1
Шестерня скользящая .	20	0,5	ГЦП	920—950	480	"	0,7—1,1
Ось скользящей шестерни насоса для шин . .	20	0,2	ГЦП	920—950	670	"	0,7—1,2
Червяк привода спидометра	20	0,16	ЦВ	840—860	45	Вода	0,2—0,4
Шестерня привода спидометра	20	0,10	ЦВ	840—860	45	"	0,2—0,4
Пазовый вал коробки передач	20X3	2,78	ГЦП	920—950	600	Газ	0,8—1,3
Стержень переключателя заднего хода	20	0,488	ГЦП	920—950	600	Воздух	0,7—1,2
Направляющая пружины	20	0,015	ЦВ	840—860	45	Вода	0,2—0,4
Болт ограничительный .	A12	0,03	ЦВ	840—860	35	"	0,2—0,4
Вилка переключения заднего хода	20	1,02	ЦВ	840—860	40	"	0,2—0,4
Направляющая вилки переключателя заднего хода	20	0,429	ГЦП	920—950	600	Воздух	0,7—1,1
Штифт запорный	65Г	0,0135	—	—	—	—	—
Головка стержня	20	0,275	ЦВ	840—860	50	Воздух	0,2—0,4
Предохранитель включения	A12	0,018	ЦВ	840—860	45	Вода	0,2—0,4

Примечание. ГЦП — газовая цементационная печь;
 РП — ретортная цементационная печь;
 ЦВ — цианистая ванна;
 СВ — свинцовая ванна;

Закалка				Отпуск				
Агрегат	Температура в °С	Время в мин.	Среда охлаждения	Агрегат	Температура в °С	Время в мин.	Твердость H_{RC150}	
ГЦП	840—860	10	Масло	ЭОП	210	90	53—62	
ГЦП	840—860	10		ЭОП	210	90	58—62	
ГЦП	840—860	10		ЭОП	210	90	58—62	
ГЦП	840—860	10		ЭОП	210	90	58—65	
ГЦП	840—860	10		ЭОП	210	90	58—62	
ГЦП	840—860	10	Вода	ЭОП	210	90	58—62	
ГЦП	840—860	10		ЭОП	210	90	58—62	
ГЦП	900—920	10		ЭОП	210	90	56—62	
ГЦП	840—860	10		ЭОП	210	90	Тарированный напильник на 56 и выше	
СВ	760—780	8		ЭОП	210	90	Тарированный напильник на 56 и выше	
СВ	810—820	10	—	ЭОП	210	90	56—62	
СВ	760—780	8		ЭОП	210	90	Тарированный напильник на 55 и выше	
СВ	810—820	10		ЭОП	210	90	56—62	
—	—	—		ЭОП	210	90	Тарированный напильник на 56 и выше	
ЭПК	760—780	36		Вода	ЭОП	210	90	56—62
ЭПК	760—780	36	—	ЭОП	210	90	55—62	
ЦВ	850—860	15	—	ЭОП	210	90	56—62	
—	—	—		ЭОП	210	90	Тарированный напильник на 55 и выше	
—	—	—		ЭОП	210	90	То же	
ГЦП	840—860	8		Масло	ЭОП	210	90	56—62
СВ	810—820	10		Вода	ЭОП	210	90	56—62
—	—	—	—	ЭОП	210	90	Тарированный напильник на 56 и выше	
—	—	—	—	ЭОП	210	90	То же	
—	—	—	—	ЭОП	210	90	—	
ЦВ	810—820	16	Вода	ЭОП	210	90	53—62	
ЭПК	840—850	20	Масло	Селитровая ванна	300	8	45—50	
СВ	760—780	8	Вода				Тарированный напильник на 56 и выше	
							То же	

ЭПК — электропечь конвейерная;
 ККП — камерная конвейерная печь;
 ЭОП — электропечь отпусковая.

Технологические процессы термической обработки

Наименование деталей	Марка стали	Вес в кг	Цементация.			
			Температура в °С	Глубина слоя в мм	Концентрация NaCN в %	Наименование приспособления
Коническая шестерня	12Х2Н4А	5,14	910	1,0—1,4	5—10	Ключ
То же	12Х2Н4А	4,4	910	1,0—1,4	5—10	"
Ступица заднего колеса	40	3,17	—	—	3—5	Диск
То же	45	14,2	—	—	1—3	"
Гайка внутренняя заднего колеса правая	20	0,16	—	—	20—25	Ковш
Гайка внутренняя заднего колеса левая	20	0,16	—	—	20—25	"
Втулка ступицы заднего колеса	45	1,07	—	—	5—10	Связка
То же	40	0,45	—	—	1—3	Подвеска
Колодка тормоза	20	0,50	—	—	20—25	Пруток
Ролик колодки тормоза	35	0,04	—	—	20—25	Ковш
Палец опорный колодки тормоза	40	0,12	—	—	20—2	"
Шайба опорного пальца	08	0,03	—	—	20—25	"
Втулка	1120	0,02	—	—	20—25	"
Винт регулировочный колодки тормоза	20	0,08	—	—	20—25	"
Конус регулировочный колодки тормоза	15	0,11	—	—	20—25	"
То же	15	0,20	—	—	20—25	"
Сухарь разжимной колодки тормоза	1120	0,06	—	—	20—25	"
Ушко опоры колодки ножного тормоза	15	0,04	—	—	20—25	Пруток
Наконечник колодки ножного тормоза	15	0,05	—	—	20—25	Ковш
Клин разжимного переднего тормоза	35	0,12	—	—	5—10	"
Рычаг приводной тормоза	08	0,13	—	—	20—25	"
Рычаг разжимной колодки тормоза	40	0,12	—	—	20—25	Связка
Фланец кронштейна вала заднего тормоза	08	0,04	—	—	20—25	Ковш
Кулачок заднего ножного тормоза	20	0,1	—	—	20—25	"

Угнетение и закалка				Отпуск			Твердость H_{RC150} и H_B
Температура в °С	Время выдержи в мин.	Охлаждающая среда	Глубина слоя в мм	Агрегат	Температура в °С	Время выдержи в мин.	
850	10	Масло	—	Конвейерная печь	200	90	56—60
850	10	"	—	"	200	90	56—60
815	5—6	РКС	—	"	200	90	55—60
815	7—8	РКС	—	"	—	"	56—60
850	10	РКС	—	—	—	—	Напильник
850	10	РКС	—	—	—	—	"
800	10	РКС	—	Конвейерная печь	200	90	48—58
800	10	РКС	—	"	200	90	52—58
850	20	Масло	0,08	—	—	—	Напильник
800	20	"	0,1	—	—	—	"
800	60	"	0,2	Конвейерная печь	200	90	"
850	20	РКС	0,12	—	—	—	"
850	40	РКС	0,15	—	—	—	"
850	40	Р С	0,15	—	—	—	"
850	30	РКС	0,15	—	—	—	"
850	30	РКС	0,15	—	—	—	"
850	60	РКС	0,2	—	—	—	"
850	20	РКС	0,12	—	—	—	"
850	40	РКС	0,15	—	—	—	45
815	10	РКС	—	Конвейерная печь	200	90	48—55
850	30	Масло	—	—	—	—	Напильник
815	60	РКС	0,18	Конвейерная печь	200	90	45—55
850	40	Масло	0,2	—	—	—	Напильник
850	20	РКС	0,12	—	—	—	"

Наименование деталей	Марка стали	Вес в кг	Цементация			
			Температура в °С	Глубина слоя в мм	Концентрация NaCN в %	Наименование приспособления
Валик кулачка заднего тормоза	35	0,3	—	—	20—25	Ковш
Муфта кулачка заднего ножного тормоза	35	0,16	—	—	20—25	"
Палец промежуточного рычага тяг	30	0,09	—	—	20—25	"
Наконечник трубы толкателя тормоза	20	0,05	—	—	20—25	Планка
Шайба болта рычага тормоза	65Г	0,005	—	—	—	Поддон
Поводок ленты ручного тормоза	С8	0,04	—	—	20—25	Ковш
Муфта соединительная коленчатого вала	20	0,11	—	—	20—25	"
Втулка передняя рессоры . .	20	0,03	—	—	20—25	"
Шпindel поворотного кулака правый	20X	0,56	910	0,9—1,2	5—10	Подвеска
То же	20X	0,34	910	0,6—0,9	5—10	"
Шпindel поворотного кулака правый	20X	0,13	910	0,9—1,2	5—10	Ковш
То же	20X	0,46	910	0,9—1,2	5—10	"
Шпindel поворотного кулака левый	20X	0,34	910	0,6—0,9	5—10	Подвеска
Шпindel поворотного кулака левый	20X	0,56	910	0,9—1,2	5—10	"
Штифт шпинделя поворотного кулака	20	0,05	—	—	20—25	Ковш
Палец с шаровой головкой .	20X	0,13	910	0,9—1,2	5—10	Связка
То же	40	0,12	—	—	1—3	"
Вкладыш шаровой передней тяги	30	0,01	—	—	20—25	Ковш
Вкладыш шаровой ножной тяги рулевого управления .	1112	0,03	—	—	20—25	"
Сухарь продольной тяги рулевого управления	1112	0,12	—	—	20—25	"
Пробка шаровой тяги рулевого управления	1112	0,06	—	—	20—25	"

Цилиндрование и закалка				Отпуск			Твердость H_{RC10} и H_V
Температура в °С	Время выдержи ки в мин.	Охлаждающая среда	Глубина слоя в мм	Агрегат	Температура в °С	Время выдержи ки в мин.	
815	15	Масло	0,10	Конвейерная печь	—	—	Напильник
815	15	"	—	—	—	—	"
850	30	"	0,15	Конвейерная печь	200	90	"
850	10	РКС	—	Шахтная печь	350	45	25—40
800	20	Масло	—	Селитровая ванна	425	15	38—45
850	15	РКС	—	—	—	—	Напильник
850	10	РКС	—	—	—	—	"
850	5	РКС	—	—	—	—	"
850	10	Масло	—	Конвейерная печь	200	90	56—64
850	10	"	—	"	200	90	59—64
850	10	"	—	"	200	90	56—64
850	10	"	—	"	200	90	56—64
850	10	"	—	"	200	90	56—64
850	10	"	—	"	200	90	56—64
850	15	РКС	—	Селитровая ванна	400	30	25—40
850	10	Масло	—	Конвейерная печь	200	90	56—64
850	15	"	—	Шахтная печь	625	60	20—26
815	15	"	—	—	—	—	Напильник
850	10	РКС	0,15	—	—	—	"
850	30	Масло	0,15	—	—	—	"
850	30	РКС	—	—	—	—	"

Наименование деталей	Марка стали	Вес в кг	Цементация			
			Температура в °С	Глубина слоя в мм	Концентрация NaCN в %	Наименование приспособления
Головка шарового упора тяги полуоси	35	1,16	—	—	20—25	Планка
Втулка червяка рулевого управления	20	0,57	910	0,9—1,3	5—10	Диск
Червяк рулевого управления	35X	0,40	—	—	20—25	Подвеска
То же	38X	0,68	—	—	20—25	Связка
Ось ролика вала сошки рулевого управления	20	0,04	910	0,9—1,2	5—10	Ковш
Ролик вала сошки рулевого управления	20X	0,14	910	1,2—1,5	5—10	Связка
Сектор рулевого управления	40X	0,89	—	—	20—25	Подвеска
Червяк заднего моста правый	20X	5,0	910	1,5—1,8		
Червяк заднего моста левый .	20X	5,6	910	1,5—1,8		
Направляющий фланец полуоси заднего моста	40	3,0	—	—	3—5	Диск
То же	40	2,0	—	—	3—5	"
Втулка кронштейна серьги передней рессоры	10	0,05	—	—	20—25	Ковш
Опорная пластина заднего моста	50XГ	0,07	—	—	Пл. печи	Крючок
Фланец полуоси	40	14,4	—	—	3—5	Диск
Ведомая зубчатка заднего моста	38X	10,2	—	—	20—25	Крючок
То же	38X	8,6	—	—	20—25	"
Ведомая зубчатка дифростера заднего моста	38X	2,4	—	—	20—25	"
Шестерня ведомая заднего моста	38X	5,2	—	—	20—25	"
Крестовина дифференциала	35X	0,8	—	—	20—25	Подвеска
Сухарь крестовины	20	0,07	910	0,9—1,3	5—10	Ковш
Сателлит дифференциала заднего моста	35X	0,11	—	—	20—25	Подвеска
Болт коробки сателлита заднего моста	35X	0,07	—	—	3—5	Крючок

Дизанирование и закалка				Отпуск			Твердость H_{RC150} и H_V
Температура в °С	Время выдержи ки в мин.	Охлаждающая среда	Глубина слоя в мм	Агрегат	Температура в °С	Время выдержи ки в мин.	
815	5—8	РКС	—	Шахтная печь	280	60	40—50
850	5—6	Масло	—	Конвейерная печь	200	90	56
815	30		—	"	200	90	45—51
815	90	"	—	"	200	90	45—50
850	10	РКС	—	"	200	90	56
850	10	Масло	—	"	200	90	56
850	20	"	—	Селитровая ванна	500	5—7	56—58
815	7	РКС	—	Конвейерная печь	200	90	45—58
815	7	РКС	—	"	"	"	45—58
850	5	Масло	—	—	—	—	Напильник
815	30	Масло	—	Шахтная печь	425	40	40—45
815	5—7	РКС	—	Конвейерная печь	200	90	50—60
815	20	Масло	—	"	200	90	48—55
815	20	"	—	"	200	90	48—55
815	10	"	—	"	200	90	48—55
815	10	"	—	"	200	90	48—55
815	25	"	0,12	"	200	90	40—50
850	10	РКС	—	Шахтная печь	275	60	50—58
815	10	Масло	—	Селитровая ванна	425	60	38—45
815	10	"	—	То же	500	60	31—37

Наименование деталей	Марка стали	Вес в кг	Цементация			
			Температура в °С	Глубина слоя в мм	Концентрация NaCN в %	Наименование приспособления
Полуось заднего моста	38A	4,6	—	—	—	Башмак
То же	40A	13,2	—	—	—	"
Шпонка полуоси заднего моста	40	0,03	—	—	3—5	Ковш
Ведущая зубчатка коническая передняя	20X	1,80	910	0,9—1,2	5—10	Подвеска
То же	20X	2,08	910	1,5—1,8	10—15	"
Внутреннее кольцо подшипника коническое	20X	0,03	910	1,2—1,5	—	Связка
Шайба ведущая зубчатки заднего моста	08	0,04	910	0,6—0,9	5—10	Ковш
Передний конец карданного вала	40X	2,2	—	—	3—5	Диск
Задний конец карданного вала	30	0,57	—	—	20—25	Подвеска
Соединительная муфта карданного вала	20	0,69	—	—	20—25	Ковш
Соединительная зубчатая муфта промежуточного вала	40X	0,28	—	—	20—25	Подвеска
Промежуточный вал	40	3,4	—	—	3—5	Крючок
Втулка резьбовая передней и задней рессоры	20	0,06	—	—	20—25	Ковш
Палец резьбовой передней и задней рессоры	35	0,1	—	—	20—25	"
Болт спецподвески	35	0,16	—	—	20—25	"
Втулка задней рессоры	10	0,09	—	—	20—25	"
Палец задней рессоры	40	0,37	—	—	20—25	"
Палец штанги переднего стабилизатора	1120	0,07	—	—	20—25	"
Поршневой палец	20	0,14	910	1,0—1,3	—	"
То же	15Г	0,12	910	1,1—1,4	5—10	Связка
Распределительный вал	40A	3,0	—	—	—	Башмак
Фланец упорный распределительного вала	65Г	0,13	—	—	1—3	Подвеска

Примечание. РКС — раствор каустической соды; напильник — тарированный на $H_{R_{C150}}$ 56.

Цианирование и закалка				Отпуск			Твердость H_{RC150} и H_B
Температура в °С	Время выдержи в мин.	Охлаждающая среда	Глубина слоя в мм	Агрегат	Температура в °С	Время выдержи в мин.	
815	50	PKC	—	Шахтная печь	480	40	48—52 з. б 302—364 конец
815	45	PKC	—	"	480	40	47—52 зуб 821—364 конец
815	10	Масло	—	"	500	30	18—27
850	10	"	—	Конвейерная печь	200	90	58—65
850	12	"	—	"	200	90	58—65 зуб 28—43 шлицы
850	20	"	—	"	200	90	58—62
800	10	PKC	—	"	200	90	Напильник
850	13—15	Масло	—	Селитровая ванна	430	24	418—444
800	40	"	0,15	—	—	—	Напильник
815	15	PKC	—	—	—	—	"
815	30	Масло	0,15	Конвейерная печь	200	90	48—53
815	10	PKC	—	Селитровая ванна	375	45	40—48 головка 37—45 шлицы
850	30	PKC	0,15	Конвейерная печь	200	90	Напильник
815	40	Масло	0,15	"	200	90	"
830	40	"	0,15	"	200	90	"
815	10	PKC	0,08	—	—	—	"
850	40	Масло	0,15	—	—	—	"
850	40	"	0,15	Конвейерная печь	200	90	"
850	15	PKC	—	"	200	90	58—64
850	10	Масло	—	"	200	90	58—65
800	25	PKC	—	"	200	90	50—60
800	10	Масло	—	Селитровая ванна	400	30	40—50

Термическая обработка поковок деталей грузового автомобиля 3—5 т

Наименование изделий	Марка стали	Нормализация		Закалка		Отпуск		Твердость H_V
		Температура в °С	Среда охлаждения	Температура в °С	Среда охлаждения	Температура в °С	Среда охлаждения	
Шатун	38А	850—870	Воздух	810—820	Вода	590—620	Вода	281—207
Крышка шатуна	38А	850—870	"	810—820	"	590—620	"	281—207
Коленчатый вал	45	850—870	"	820—830	"	590—620	"	281—207
Шестерня распределительная	35	860—880	"	—	—	—	—	269—229
Хромовик	45	850—870	"	—	—	—	—	197—163
Распределительный вал	45	850—870	"	—	—	—	—	197—163
Клапан впускной	40Х	—	—	850—860	Масло	600—630	Вода	302—241
" выпускной	ЭИ107	—	—	830—840	"	600—630	"	—
Ступица ведомых дисков	45	—	—	820—830	Вода	550—570	"	302—269
Ось педали сцепления	45	850—870	Воздух	—	—	—	—	197—163
Вилка тяги	20	900—920	"	—	—	—	—	156—126
Вилка включения сцепления	45	850—870	"	—	—	—	—	—
Вал первичной коробки передач	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
Вал промежуточной коробки передач	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
Шестерня 3-й передачи	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
" 5-й передачи	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
" постоянного включения	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
Шестерня ведущая	20Х	900—920	"	—	—	—	—	170—131
" заднего хода	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
Вал вторичный	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
Каретка 1-й передачи	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
" 2 и 3-й передач	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
Шестерня 3-й передачи	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
" 5-й передачи	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156
Каретка переключения передач	18ХГТ	950—970	"	—	—	—	—	207—156

Муфта каретки	18ХГТ	950—970	Воздух	—	—	—	—	207—156
Фланец вторичного вала	45	850—870	—	—	—	—	—	197—164
Вилка переключения 4-й и 5-й передач	20	900—920	—	—	—	—	—	156—125
Вилка переключения 2-й и 3-й передач	20	900—920	—	—	—	—	—	156—125
Вилка переключения 1-й переа	20	900—920	—	—	—	—	—	156—125
Головка переключения 2-й и 3-й передач	20	900—920	—	—	—	—	—	156—125
Головка переключения 1-й передачи	20	900—920	—	—	—	—	—	241—187
Шлицевой конец карданного вала	40Х	850—870	—	—	—	—	—	241—187
Вилка карданного вала	35	—	—	840—850	Вода	600—630	Вода	241—207
Фланец вилки вала	35	—	—	860—880	Масло	600—630	—	241—207
Крестовина кардана	20Х3	950—970	Воздух	—	—	—	Воздух	207—148
Вилка скользящая	45	—	—	820—830	Вода	650—670	Вода	207—148
Кольцо внутреннее	35	860—880	Воздух	—	—	—	—	177—148
Втулка распорная	45	—	—	820—830	Вода	590—620	Вода	268—229
Шестерня ведущая	12Х2Н4А	900—920	Воздух	—	—	630—670	Воздух	207—156
Фланец ведущей шестерни	35	—	—	830—840	Вода	590—620	Вода	241—207
Шестерня ведомая	12Х2Н4А	900—920	Воздух	—	—	650—670	Воздух	207—156
Шестерня ведущая цилиндрическая	18ХГТ	950—970	—	—	—	—	—	207—148
Шестерня ведомая цилиндрическая	18ХГТ	950—970	—	—	—	—	—	207—148
Шестерня полуоси	18ХГТ	950—970	—	—	—	—	—	207—148
Сателлит	18ХГТ	950—970	—	—	—	—	—	207—148
Крестовина	18ХГТ	950—970	—	—	—	—	—	207—148
Полуось	40Х	850—870	—	—	—	—	—	241—187
Крюк буксирный	45	850—870	—	—	—	—	—	197—161
Третьяк передней рессоры	40Х	850—870	—	—	—	—	—	241—187
Серьга передней рессоры	35	860—880	—	—	—	—	—	—
Палец кронштейна рессоры	20	900—920	—	—	—	—	—	—
Передняя ось	45	—	—	830—840	Вода	600—630	Воздух	255—229
Кулак поворотный	40Х	—	—	820—830	Масло	610—640	Вода	268—241
Рычаг поворотного кулака	40Х	—	—	820—830	—	610—630	—	268—241
Головка поперечной тяги	35	860—880	Воздух	—	—	—	—	177—148
Вал сошки руля	40Х	—	—	850—870	Масло	570—590	Вода	302—268
Сошка руля	40Х	—	—	850—870	—	610—630	Воздух	302—268
Кулак тормозной	45	850—870	Воздух	—	—	—	—	197—161
Вилка головки тяги	35	860—880	—	—	—	—	—	197—161
Рычаг тормозной	35	860—880	—	—	—	—	—	197—161
Червяк привода спид метра	20	900—920	—	—	—	—	—	156—125
Червяк руля	30ХНЗА	860—880	—	—	—	650—680	Воздух	229—170

Технологический процесс термической обработки деталей легкового автомобиля класса "Б"

Наименование детали	Марка стали	Цементация или цианирование				Закалка			Отпуск		Твердость
		глубина слоя, мм	тем- пера- тура, °C	время, час.	среда охла- ждения	темпера- тура, °C	время, мин.	среда охла- ждения	темпера- тура, °C	время, мин.	
Шпилька крышки	35	—	—	—	—	850	25	Вода	550—600	20	255—229 H _B
Шпилька крепле- ния	35	—	—	—	—	850	25	Вода	550—600	20	255—229 H _B
Шпилька маховика	35	—	—	—	—	850	25	Вода	550—600	20	255—229 H _B
Призма опорная	35	—	—	—	—	850	12	Вода	400—450	20	45—50 R _{C150}
Вкладыш опорный	35	—	—	—	—	850	15	Вода	450—500	30	321—285 H _B
Пластина демпфе- ра наружная	65Г	—	—	—	—	800	4	Соляная ванна	300—320	4	42—47 R _{C150}
Пластина демпфе- ра внутренняя	65Г	—	—	—	—	800	4	Соляная ванна	300—320	4	42—47 R _{C150}
Болт крепления мотора	45	—	—	—	—	840	10	Вода	500—550	20	285—255 H _B
Шестерня распре- деления	40X	—	—	—	—	850	20	Масло	550—600	20	268—229 H _B
Храповик	45	—	—	—	—	840	10	Вода	550—600	20	255—229 H _B
Болт крепления маховика	40X	—	—	—	—	850	20	Масло	550—600	20	302—268 H _B
Палец поршня	15X	1,0—1,2	900	8	Воздух	780	25	Масло	200	20	56—62 R _{C150}
Болт крышки шату- на	40X	—	—	—	—	850	25	Масло	550—600	20	302—268 H _B
Гайка коронная	35	—	—	—	—	850	10	Вода	550—600	20	302—268 H _B
Вал распределе- тельный	15X	1,5—1,7	900	12	Воздух	780	40	Вода	200	60	58—62 R _{C150}

Толкатель клапана	35	—	—	—	—
Ось ролика толка- теля	20	0,8—1,0	900	7	Воздух
Ролик толкателя	15X	0,8—1,0	900	7	Воздух
Наконечник верх- ний	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода
Клапан впускной	40ХН	—	—	—	—
Клапан выпускной	ЭИ107	—	—	—	—
Тарелка клапана	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода
Чека клапана	35	0,2—0,25	840	25 мин	Вода
Ось коромысла клапана	20	0,8—1,0	900	7	Воздух
Коромысло клапана	35	0,2—0,25	840	25 мин	Вода
Винт шаровой ре- гулирувочный	15X	0,8—1,0	900	7	Воздух
Болт головки блока	35	—	—	—	—
Ось ведомой ше- стерни	20	0,8—1,0	900	7	Воздух
Плунжер клапана	45	—	—	—	—
Валик повода ма- сляного насоса	15X	1,0—1,2	900	8	Воздух
Шестерня привода масляного насоса	15X	0,6—0,8	900	6	Воздух
Плунжер редук- ционного клапана	45	—	—	—	—
Фланец муфты во- дяного насоса	45	—	—	—	—
Валик водяного насоса	ЭЖ1	1,0—1,2	900	8	Воздух
Палец ведущего диска	20	—	—	—	—

850	30	Вода	500—550	20	268—241 H_B
780	20	Вода	200	60	56—62 R_{C150}
780	20	Вода	200	60	56—62 R_{C150}
—	—	—	200	60	По пиле
840	25	Масло	550—600	60	25—30 R_{C150}
1100	35	Масло	700	60	25—30 R_{C150}
—	—	—	200	60	По пиле
850	12	Вода	200	60	По пиле
780	8	Вода	200	60	56—62 R_{C150}
—	—	—	200	60	По пиле
780	8	Вода	200	60	56—62 R_{C150}
850	30	Вода	450—500	20	285—255 H_B
780	25	Вода	200	60	56—62 R_{C150}
840	10	Вода	350—400	20	40—45 R_{C150}
780	30	Вода	200	20	56—62 R_{C150}
780	10	Масло	200	30	56—62 R_{C150}
840	12	Вода	350—400	20	35—45 R_{C150}
840	5	Вода	350—400	20	35—45 R_{C150}
1100	40	Масло	350—400	20	56—62 R_{C150}
780	30	Вода	200	60	58—62 R_{C150}

Наименование детали	Марка стали	Цементация или цианирование				Закалка		
		глубина слоя, мм	тем- пера- тура, °С	время, час.	среда охла- ждения	Темпе- ратура, °С	время, мин.	среда охла- ждения
Скоба упорная	10	—	—	—	—	—	—	—
Диск сцепления	50Г	—	—	—	—	830	8	Вода
Стяжной болт ди- ска	40Х	—	—	—	—	850	25	Масло
Ось рычага сце- пления	20	0,2 — 0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—
Рычаг сцепления	20	0,2 — 0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—
Шестерня ведомая	20	0,15 — 0,20	840	20 мин	Вода	—	—	—
Ось педали	20	0,8 — 1,0	900	7	Воздух	780	30	Вода
Шестерня ведущая	45ХН	—	—	—	—	800 — 850	20	Масло
Шестерня ведомая	45ХН	—	—	—	—	800 — 850	20	Масло
Муфта синхрони- затора	45ХН	—	—	—	—	800 — 850	20	Масло
Шестерня 3-й ско- рости	45ХН	—	—	—	—	800 — 850	20	Масло
Каретка 2-й ско- рости	45ХН	—	—	—	—	800 — 850	20	Масло
Колонка синхрони- затора	45	—	—	—	—	840	12	Вода
Шестерня сколь- зящая	45ХН	—	—	—	—	800 — 850	20	Масло
Шестерня 2-й ско- рости	45ХН	—	—	—	—	800 — 850	20	Масло

Продолжение прилож. IX

Отпуск		Твердость
температура, °C	время, мин.	
200	20	По пиле
380—400	10	42—47 R_{C150}
450—500	60	321—285 H_B
200	60	По пиле
200	60	По пиле
200	60	По пиле
200	60	52—58 R_{C150}
250	30	50—58 R_{C150}
450—500	30	30—35 R_{C150}
250	30	50—58 R_{C150}
250	30	50—58 R_{C150}

Муфта синхронизатора	45ХН	—	—	—	—	800—850	20	Масло	250	30	50—58 R _{C150}
Шайба упорная	20	0,6—0,8	900	7	Воздух	80	3	Масло	200	60	50—58 R _{C150}
Вал пазовый	45ХН	—	—	—	—	800—850	20	Масло	250	30	50—58 R _{C150}
Блок шестерен	45ХН	—	—	—	—	800—850	20	Масло	250	30	50—58 R _{C150}
Ось блока	15Х	1,0—1,2	900	8	Воздух	780	40	Вода	200	30	58—62 R _{C150}
Шайба скользящая передняя	20	0,6—0,8	900	6	Воздух	760	3	Масло	200	30	56—62 R _{C150}
Шайба скользящая задняя	20	0,6—0,8	900	6	Воздух	780	3	Масло	200	30	56—62 R _{C150}
Шестерня заднего хода	45ХН	—	—	—	—	800—850	20	Масло	250	30	50—58 R _{C150}
Ось шестерни заднего хода	15Х	1,0—1,2	900	8	Воздух	780	30	Вода	200	30	56—62 R _{C150}
Валик 1-2 скорости	15Х	1,0—1,2	900	8	Воздух	780	25	Вода	200	30	56—62 R _{C150}
Кулачок валика	20	0,2—0,25	840	30 мин	Вода	—	—	—	200	60	По пиле
Вилка переключения	20	0,2—0,25	840	30 мин	Вода	—	—	—	200	60	По пиле
Валик переключения 2-3 скорости	15Х	1,0—1,2	900	8	Воздух	780	30	Вода	200	20	56—62 R _{C150}
Кулачок вала	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—	200	60	По пиле
Вилка переключения 3-4 скорости	15Х	1,0—1,2	900	8	Воздух	—	—	—	200	60	По пиле
Болт стопорный	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—	200	60	По пиле
Штифт запорный	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—	200	60	По пиле
Рычаг переключения	20	0,3—0,35	840	45 мин	Вода	—	—	—	200	60	По пиле
Вилка переключения	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—	200	60	По пиле
Сухарь рычага	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—	200	60	По пиле
Ось вилки переключения	35	—	—	—	—	850	25	Вода	500—550	20	255—229 H _B

Наименование детали	Марка стали	Цементация или цианирование				Закалка		
		глубина слоя, мм	тем- пера- тура, °C	время, час.	среда охла- ждения	темпе- ратура, °C	время, мин.	среда охла- ждения
Собачка рычага	20	0,6—0,8	900	6	Воздух	780	5	Вода
Сектор рычага тор- моза	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—
Червяк привода спидометра	12A	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—
Полуось	40X	—	—	—	—	850	45	Вода
Палец колодки тор- моза	15X	0,1—0,15	840	14 мин	Вода	—	—	—
Рычаг привода тор- мозов	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—
Рычаг разжимной правый	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—
Кривошип разжим- ной	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—
Ролик регулирую- щего эксцентрика	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода	—	—	—
Шестерня веду- щая	15XHM	1,2—1,5	900	12 мин	Воздух	780	35	Масло
Шестерня ведомая	15XHM	1,2—1,5	900	12 мин	Воздух	780	35	—
Ось сателлита	15X	1,2—1,5	900	12 мин	Воздух	780	35	Вода
Сателлит дифферен- циала	15XH	1,2—1,5	900	12 мин	Воздух	780	10	Масло
Шестерня полуоси	15XH	1,2—1,5	900	12 мин	Воздух	780	10	Масло
Шестерня корон- ная	15XHM	1,2—1,5	900	12 мин	Воздух	780	35	—
Шкворень пово- ротного кулака	15XФ	1,0—1,2	900	8	Воздух	780	30	Вода

Продолжение прилож. IX

Отпуск		Твердость
температура, °С	время, мин.	
200	60	56—60 R_{C150}
200	60	По пиле
200	60	По пиле
550—600	75	321—285 H_B
200	60	По пиле
200	60	58—62 R_{C150}
200	60	58—62 R_{C150}
200	60	56—64 R_{C150}
200	60	56—62 R_{C150}
200	60	56—62 R_{C150}
200	60	58—62 R_{C150}
200	60	56—62 R_{C150}

Наименование детали	Марка стали	Цементация или цианирование				Закалка		
		глубина слоя, мм	тем- пера- тура, °С	время, час.	среда охла- ждения	темпе- ратура, °С	время, мин.	среда охла- ждения
Палец передний рессоры	15X	0,2—0,25	840	25 мин	Вода			
Палец передней рессоры	20	1,0—1,2	900	8	Воздух	780	10	Вода
Палец задней рес- соры	15X	0,2—0,25	840	25 мин	Вода			
Палец рычага амортизатора	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода			
Втулка рычага амортизатора	10	0,15—0,20	840	15 мин	Вода			
Ключ оси колодок тормоза	45					840	10	Вода
Ключ эксцентрика	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода			
Плашка головки	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода			
Наконечник тавот- ницы	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода			
Пазовый конец кар- данного вала	40X					850	10	Масло
Стакан роликпод- шипника	15XФ	0,6—0,8	900	6	Воздух	780	20	Вода
Крестовина карда- на	15XН	1,0—1,2	900	8	Воздух	780	8	Масло
Кронштейн ручки	20	0,2—0,25	840	25 мин	Вода			
Пластина упорная	45							
Болт стяжной рес- сорный	35					850	20	Вода

Примечание. Испытание „по пиле“ производится напильником, тарированным на

Технологический маршрут для термически обрабатываемых деталей

В условиях массового поточного производства большое значение имеет правильно построенный маршрут для деталей, подлежащих термической обработке.

Применение новых высокопроизводительных прогрессивных методов термической и химико-термической обработки (нагрев токами высокой частоты, газовая цементация и нитроцементации) видоизменяет схему технологического процесса термической обработки деталей и влияет на технологический маршрут.

Маршрутная технология термически обрабатываемых деталей должна быть увязана с процессами холодной механической обработки и быть максимально короткой.

Технологические маршруты термической обработки в автомобильном производстве можно подразделить на следующие:

- 1) для деталей, изготавливаемых из поковок;
- 2) для деталей, изготавливаемых из штанговых материалов;
- 3) для деталей арматуры;
- 4) для нормалей;
- 5) для деталей, штампуемых из листа;
- 6) для рессор и пружин;
- 7) для отливок из чугуна белого, серого и стали.

Соответственно схемы маршрутной технологии базируются на следующих положениях:

Схема № 1. 1. Процесс термообработки штамповок из цементируемых сталей заключается в нормализации.

2. Процесс термообработки штамповок из улучшаемых сталей заключается в закалке и высоком отпуске.

3. Основными процессами термической обработки деталей являются: газовая цементация или газовое цианирование с непосредственной закалкой и высокочастотный нагрев под закалку с самоотпуском.

4. Термическая обработка деталей, нагреваемых токами высокой частоты, производится в потоке механического цеха.

Схема № 2. 1. Основными процессами являются газовая цементация с непосредственной закалкой и высокочастотный нагрев.

2. Термическая обработка деталей, нагреваемых токами высокой частоты, производится в потоке механического цеха.

Схема № 3. 1. Детали цементируемые обрабатываются в шахтных печах газовой цементации с непосредственной закалкой.

2. Нагрев под закалку производится в электропечах с нейтральной атмосферой.

Схема № 4. 1. Цементируемые детали обрабатываются в шахтных печах газовой цементации или газового цианирования с непосредственной закалкой.

2. Улучшаемые детали нагреваются в электропечах с нейтральной атмосферой.

Схема № 5. 1. Для подготовки металла к штамповке и снятия напряжений нагрев производится в электропечах с нейтральной атмосферой.

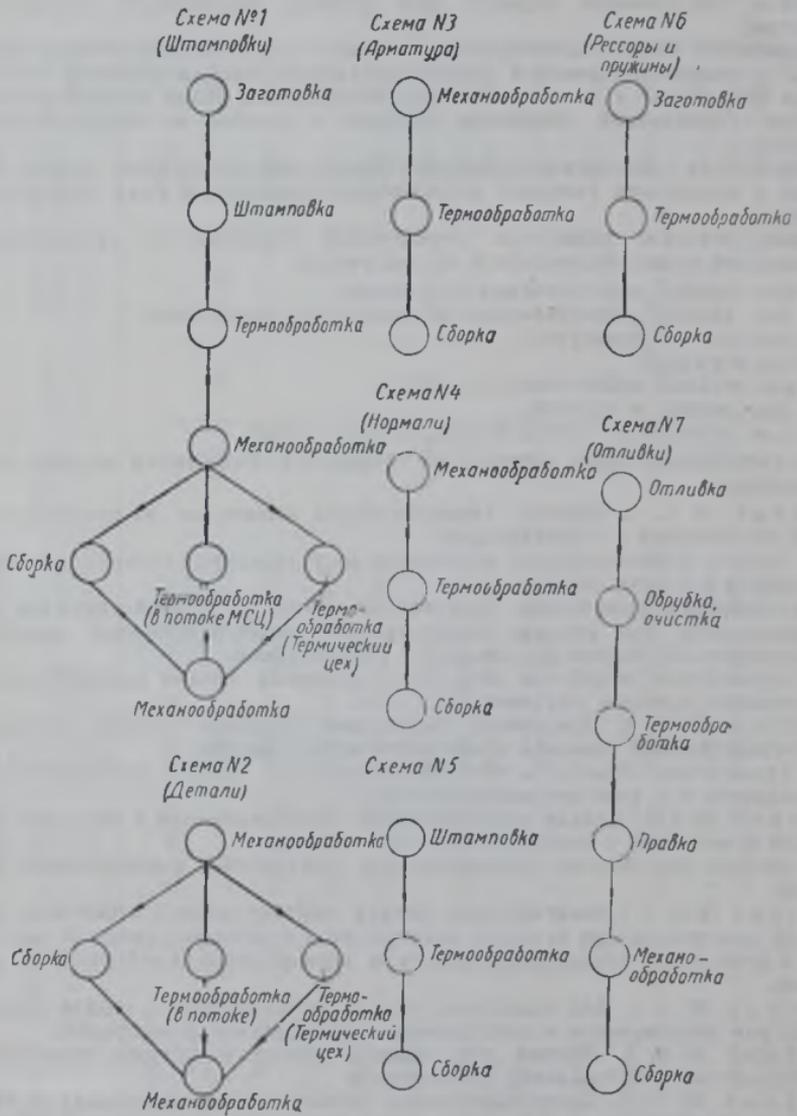
Схема № 6. 1. Нагрев под закалку рессор и пружин производится в электропечах с нейтральной атмосферой.

Схема № 7. 1. Графитизирующий отжиг отливок (крупных) из белого чугуна на ферритный ковкий чугун производится в электропечах с нейтральной атмосферой.

2. Отжиг средних и мелких отливок производится с предварительной закалкой.

3. Некоторые отливки из серого чугуна подвергаются нормализации в электропечах с нейтральной атмосферой или подвергаются изотермической закалке.

Схема технологических маршрутов (к прилож. X)



Организация лабораторного контроля

Массовое производство должно быть обеспечено в отношении идентичности качества исходных материалов, полуфабрикатов и готовой продукции.

Это может быть достигнуто лишь при наличии на производстве хорошо организованного лабораторного контроля.

Функции лабораторного контроля подразделяются на три вида: а) контроль материалов; б) контроль технологических процессов; в) контроль полуфабрикатов и готовых изделий.

Контроль материалов

Все материалы автотракторного производства, как для изготовления изделий, так и вспомогательные, подлежат лабораторному контролю до пуска их в производство.

Такой контроль необходим, несмотря на поступление всех материалов согласно существующему законоположению в сопровождении с сертификатами. Необходимость эта вызывается специфическими свойствами массового производства, не допускающего ошибок при подаче материалов в производство во избежание остановки конвейеров.

Материалы автотракторного производства весьма разнообразны и многочисленны.

Основными материалами являются: стали, чугуны, дерево, цветные металлы, бензин, моторные масла.

Вспомогательными материалами являются: топливо (мазут, газ, дрова, уголь), формовочные материалы (глина, песок, маршалит, графит), минеральные масла, краски, химикаты, текстиль, кожа и другие.

Из указанного далеко не полного перечня материалов большинство подлежит контролю по химическому составу, значительная часть кроме того подвергается механическим испытаниям и некоторая контролируется на основе, так называемых, технологических проб.

Контроль технологических процессов

Контролю подлежат главным образом процессы, осуществляемые в горячих цехах. Контролироваться должны:

1. В кузнице — состав травильных ванн.
2. В термических цехах — состав цементационного газа, состав цианистых ванн, состав нейтральных газов защитной атмосферы, качество цементированного и цианированного слоя, состав электролита.
3. В литейных цехах — состав формовочных смесей, анализ металла перед разливкой, структура металла.

Контроль полуфабрикатов и готовых изделий

В процессе изготовления деталей на различных стадиях производства полуфабрикаты и готовые изделия подвергаются тщательному контролю в экспрессных и центральных лабораториях. Контролю подлежат: а) структура поковок с целью определения обрабатываемости их на металлорежущих станках; б) структура изделий с целью определения качества произведенной термической обработки; в) механические свойства образцов, вырезанных из контрольных деталей на предмет определения прочности деталей и качества термической обработки; г) поверхность изделий или полуфабрикатов с целью определения поверхностных пороков; д) сердцевина изделий с целью выявления макро- и микродефектов; е) твердость изделий с целью определения качества термической обработки.

Контроль материалов, технологических процессов, полуфабрикатов и готовых изделий производится в следующих заводских лабораториях: 1) химической, 2) спектральной, 3) рентгеновской, 4) металловедческой, 5) механической, 6) газовой, 7) формовочных материалов, 8) топлива и смазок, 9) коррозии, 10) резания, 11) металлургической (литейной).

В зависимости от объема производства можно либо ограничиться наличием центральных лабораторий, либо параллельно с ними предусматривать организацию экспрессных лабораторий непосредственно в цехах.

**Организация контроля материалов и технологических процессов может
быть представлена в следующем виде:**

Объект контроля	Последовательность анализа	Где производится анализ
<p>Стальные материалы и полуфабрикаты. В соответствии с характером металла должен производиться контроль механических свойств и химического состава, а также технологическое испытание на осадку, гиб, проба на продавливание, прокаливаемость.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Спектральный анализ и определение углерода. 2. Химический анализ на фосфор и серу. 3. Определение механических свойств и технологические пробы. 	<p>Лабораторный пост на складе. Центральная химическая лаборатория. Центральная металлургическая лаборатория.</p>
<p>Чугунные материалы. Должен производиться контроль химического состава.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Спектральный анализ и определение углерода. 2. Химический анализ на фосфор, серу. 	<p>Лабораторный пост на складе. Центральная химическая лаборатория.</p>
<p>Цветные материалы и сплавы. Должен производиться контроль химического состава.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Спектральный анализ. 2. Арбитражный анализ. 	<p>Лабораторный пост на складе. Центральная химическая лаборатория.</p>
<p>Топливо, смазочные масла, технологические масла, кислоты, щелочи.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологические испытания. 2. Химический анализ. 	<p>Лаборатория масел и топлива Центральная химическая лаборатория.</p>
<p>Соли и прочие химические продукты.</p>	<p>Химический анализ.</p>	<p>Центральная химическая лаборатория.</p>
<p>Полуфабрикаты (поковки)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Химический анализ. 2. Анализ структуры. 3. Механические свойства. 	<p>Экспресс-лаборатория при кузнице. То же. Центральная металлургическая лаборатория.</p>
<p>Полуфабрикаты (отливки)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Химический анализ. 2. Анализ структуры 3. Рентгеноанализ. 	<p>Центральная литейная лаборатория. То же. Центральная металлургическая лаборатория.</p>
<p>Полуфабрикаты (изделия)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Химический анализ. 2. Анализ структуры. 3. Рентгеноанализ. 4. Магнитный анализ 	<p>Центральная химическая лаборатория и спектральная лаборатория. Центральная металлургическая лаборатория. То же. То же.</p>

Объект контроля	Последовательность анализа	Где производится анализ
Процесс цементации	1. Анализ газа.	Экспресс-лаборатория газовая.
	2. Анализ структуры деталей и образцов.	Экспресс-металловедческая лаборатория.
Процесс цианирования	1. Анализ состава ванн.	Экспресс-химическая лаборатория.
	2. Анализ структуры образцов и деталей.	Экспресс-металловедческая лаборатория.
Качество нагрева токама высокой частоты	1. Анализ структуры.	Экспресс-металловедческая лаборатория.
	2. Контроль качества поверхности.	Лабораторный пост магнитного анализа.
Электролитические процессы	Анализ ванн.	Экспресс-химическая лаборатория.
Состав технологической воды	Химический состав.	Центральная химическая лаборатория.

Наличие совершенных методов анализа (к числу которых можно отнести спектральный метод, магнитный метод и другие) позволяет организовать лабораторный контроль качества непосредственно в потоке производства.

Взятие проб по всем видам продуктов и материалов производится в соответствии с ГОСТ и заводскими инструкциями сотрудниками лабораторий — контролерами подотдела качества и пробоотборщиками лабораторий.

Методика контроля

Контроль качества материалов и продукции производится лабораториями в соответствии с ГОСТ и заводскими инструкциями.

Например, контроль качества термической обработки поковок и цементируемых изделий осуществляется путем определения механических свойств металла в сердцевине поковки по образцам, вырезанным из них в строго установленном месте, причем контрольные поковки берутся от установленной партии деталей, а по цементируемым деталям путем определения структуры цементированного слоя и сердцевины у контрольной детали, берущейся с каждого третьего поддона.

Должна быть установлена следующая система взятия проб на анализ:

- | | |
|--|---|
| 1. По контролю металлов | От каждой плавки, поступившей на склад. |
| 2. По контролю топлива, масел, кислот, щелочей | От каждого вагона, поступившего на склад. |
| 3. По химикатам | От каждой партии, поступившей на склад. |

- | | |
|--|---|
| 4. По контролю процесса термообработки поковок | От каждой партии по две поковки с верхним и нижним диапазоном твердости |
| 5. По контролю процесса газовой цементации | От каждого третьего поддона по контрольному образцу или детали. Контроль газа по пробе, берущейся два раза в смену. |
| 6. По контролю процесса цианирования. | Проба берется от ванны после каждого освежения. |
| 7. По контролю нагрева токами высокой частоты. | По каждому изделию берется в смену по образцу |
| 8. По контролю топливного газа | Проба берется два раза в сутки. |

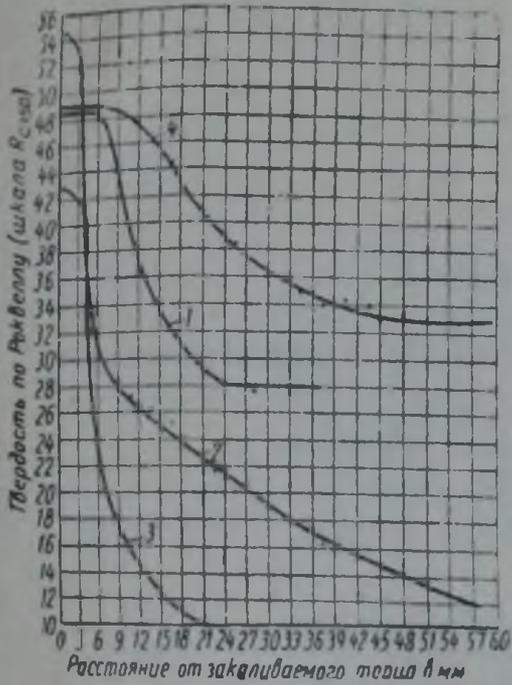
ПРИЛОЖЕНИЕ XII

О перспективной технологии

Состояние технологии термической обработки и результаты научно-исследовательских работ, проведенных отечественными институтами металловедения и технологии, а также заводскими лабораториями, обеспечивают значительный прогресс в области процессов термической обработки металлов и позволяют рекомендовать ряд мероприятий для усовершенствования технологии. К числу рекомендуемых мероприятий следует отнести:

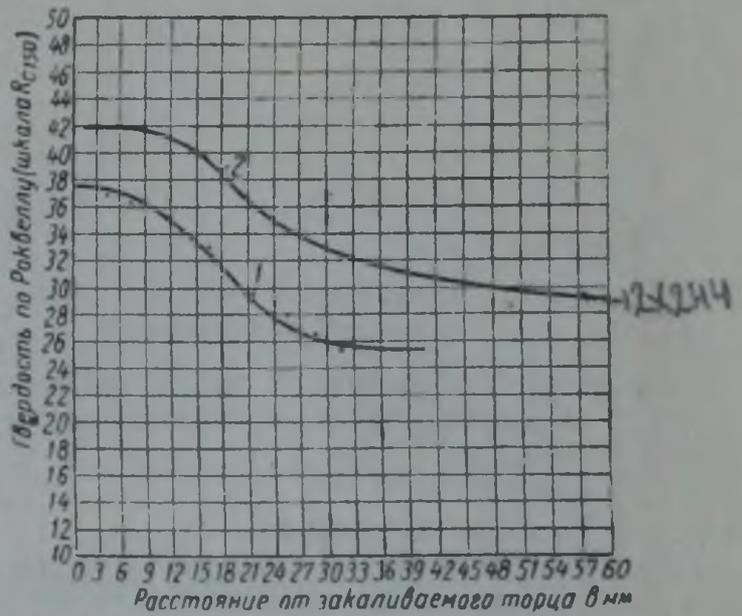
1. Замену процесса цементации в твердом карбюризаторе газовой цементацией.
2. Нагрев нормалей под закалку в печах с нейтральной атмосферой.
3. Нагрев токами высокой частоты с самоотпуском всех осевых деталей.
4. Перевод на метод непосредственной заковки деталей после цементации в газовых печах.
5. Отмену очистки поверхности цементированных и закаленных деталей в пескоструйных или дробеструйных аппаратах и замену этой операции крацовкой.
6. Использование для целей цементации природного газа в местностях, где таковой имеется.
7. Закалку плоских деталей непосредственно без штампов и отпуск их в штампах с электронагревом.
8. Замену нагрева в свинцовых и соляных ваннах деталей, для которых требуется конечной нагрев, нагревом в электролите.
9. Обработку холодом цементированных деталей, имеющих остаточный аустенит.
10. Высокотемпературное цианирование и жидкостную цементацию.
11. Применение безмуфельных печей для газовой цементации с радиационной системой нагрева.
12. Применение циклического метода термической обработки цементируемых деталей.
13. Применение электронагрева рессорных полос и пружин для заковки.
14. Применение газового цианирования взамен газовой цементации.
15. Изотермическую закалку деталей из серого чугуна с целью повышения прочности и износоустойчивости.

Кривые прокаливаемости стали
(определения произведены торцевой закалкой)



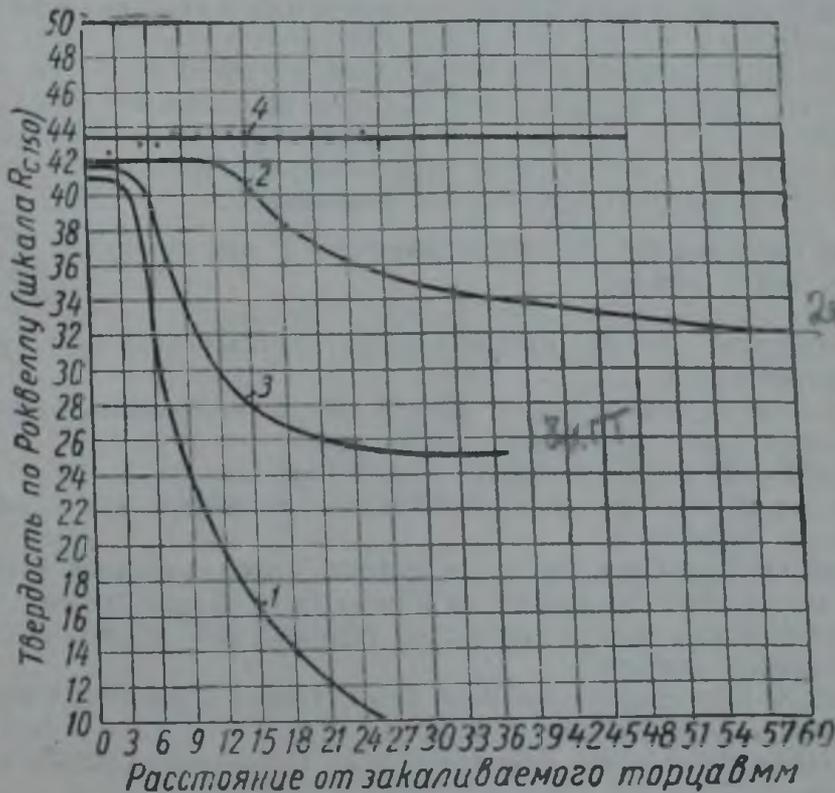
Фиг. 1. Стали улучшаемые:

1—сталь 40X, химический состав: 0,31 C; 0,65 Mn; 0,19 Si; 0,90 Cr; 0,029 S; 0,022 P; 0,06 Ni; сл. Мо. 2—сталь 35, химический состав: 0,33 C; 0,60 Mn; 0,19 Si; 0,09 Cr; 0,021 S; 0,020 P; 0,13 Ni; сл. Мо. 3—сталь 45, химический состав: 0,46 C; 0,68 Mn; 0,19 Si; 0,10 Cr; 0,030 S; 0,025 P; 0,10 Ni; сл. Мо. 4—сталь 40XHM, химический состав: 0,34 C; 0,45 Mn; 0,17 Si; 0,70 Cr; 1,50 Ni; 0,17 Мо.



Фиг. 2. Цементируемые стали:

1—сталь 12X2H4, химический состав: 0,15 C; 0,36 Mn; 0,20 Si; 1,35 Cr; 0,027 S; 0,025 P; 3,50 Ni; сл. Мо. 2—сталь 12XH3, химический состав: 0,17 C; 0,35 Mn; 0,19 Si; 0,99 Cr; 0,022 S; 0,021 P; 3,0 Ni; сл. Мо.



Фиг. 3. Цементируемые стали:

1—сталь 20X, химический состав: 0,22 C; 0,38 Mn; 0,20 Si; 0,80 Cr; 0,029 S; 0,021 P; 0,09 Ni; сл. Мо. 2—сталь 20X3, химический состав: 0,18 C; 0,35 Mn; 0,19 Si; 2,9 Cr; 0,021 S; 0,017 P; 0,08 Ni; сл. Мо. 3—сталь 18XГТ, химический состав: 0,18 C; 0,98 Mn; 0,20 Si; 0,023 S; 0,024 P; 0,96 Cr; 0,10 Ni; сл. Мо; 0,13 Ti. 4—сталь 18ХНВ, химический состав: 0,21 C; 0,36 Mn; 0,25 Si; 1,50 Cr; 0,020 S; 0,018 P; 4,15 Ni; 0,10 Мо; 0,72 W.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
<i>Глава I. Конструкционные стали, применяемые для изготовления деталей автомобиля</i>	7
<i>Глава II. Основные процессы термической обработки</i>	25
Подготовительные термические операции	25
Закалка	32
Отпуск	36
Газовая цементация	40
Инструкция по ведению цементации в шахтной печи	62
Газовое цианирование	63
Жидкостное цианирование	75
<i>Глава III. Особые методы обработки</i>	83
Высокочастотный нагрев деталей под закалку	83
Обработка холодом стальных деталей	88
Дисперсионный отжиг белого чугуна	94
Процесс упрочнения дробью	100
<i>Глава IV. Термическая обработка основных автомобильных деталей</i>	104
<i>Глава V. Дефекты, виды брака и контроль качества термической обработки</i>	145
Дефекты и брак вследствие неудовлетворительного качества металла	145
Дефекты и брак вследствие неудовлетворительной термической обработки	145
Контроль деталей, прошедших термическую обработку	159
Магнитный анализатор структуры поковок	164
<i>Глава VI. Организация поточно-массового производства в термических цехах</i>	164
<i>Приложения:</i>	
I. Глубина цементированного слоя деталей тяжелого грузового автомобиля	76
II. Рекомендуемые марки сталей для автомобильных деталей	174
III. Инструкция по отбору проб газа	175
IV. Инструкция к газоанализатору типа Бюрель	176
V. Инструкция по приготовлению растворов для газоанализатора Бюрель	179
VI. Инструкция по пуску и работе пиролиз-крекинг установки	179
VII. Инструкция по уходу за печью газовой цементации	182
VIII. Технологические процессы термической обработки автомобильных деталей	184
IX. Технологический процесс термической обработки деталей легкового автомобиля класса „Б“	198
X. Технологический маршрут для термически обрабатываемых деталей	205
XI. Организация лабораторного контроля	207
XII. О перспективной технологии	210
XIII. рн вые прокаливаемости стали	211

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
10	5-я сверху	Ni	Ti	Авт.
21	11-я сверху	0,45—0,50%	0,45—0,50% углерода.	.
134	7—8-я сверху	лучшие результаты механических свойств сердцевины	лучшие результаты при одинаковых ме- ханических свойствах сердцевины	.
169	Подпись под фиг. 191	13—закалочный пресс;	13— отпускные печи;	.
171	Подпись под фиг. 194	4—заключенный пресс;	4— закалочный пресс;	Корр.

А. Д. Ассонов, Термическая обработка деталей автомобиля.
Заказ 2266.