

СТАУ: 6

М.801

**САМАРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени академика
С. П. КОРОЛЕВА**

Н. П. МОРОЗОВ,

В. В. УВАРОВ, В. С. УВАРОВА

**ТЕРМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА
СТАЛЬНЫХ
ДЕТАЛЕЙ
МАШИН,
ИНСТРУМЕНТОВ
И ОТЛИВОК**

САМАРА

1995

УДК 669. 017:539

Термическая обработка стальных деталей машин, инструментов и отливок: Курсовая работа по металлографии и термической обработке/ *Н. П. Морозов, В. В. Уваров, В. С. Уварова*; Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1995, 132 с.

ISBN 5—230—16963—X.

Излагается содержание, объем и последовательность разра- ботки комплекса вопросов при выполнении курсовой работы по дисциплинам "Металлография" и "Термическая обработка метал- лов и сплавов". Описывается методика выбора материалов с требуемыми свойствами и заданными условиями эксплуатации конкретных деталей машин и инструментов, даются указания по составлению общего технологического маршрута их изготовления и описанию процессов формирования структуры и свойств на отдельных операциях, в том числе обработки давлением и литья. Главное внимание уделено разработке вопросов, связанных с выбором и обоснованием технологических режимов операций предварительной и окончательной термической обработки, с вы- бором необходимого оборудования, оснастки и средств контроля для их выполнения. Даются также указания по выбору и описанию вспомогательных и дополнительных операций, связанных с тер- мической обработкой.

Предназначено в качестве учебного пособия для студентов специальности 11.06. Подготовлено на кафедре технологии метал- лов и авиаматериаловедения.

Табл. 15. Ил. 24. Библиогр.: 32 назв.

Печатается по решению редакционно — издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева

Рецензенты: *А. М. Бибиков, Ю. К. Фавстов*

ISBN 5—230—16963—X

© Самарский государственный
аэрокосмический университет,
1995

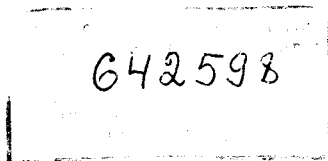
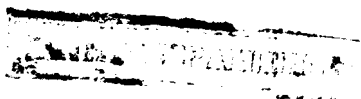
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

Н. П. Морозов, В. В. Уваров, В. С. Уварова

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН,
ИНСТРУМЕНТОВ И ОТЛИВОК

*Курсовая работа по металлографии
и термической обработке*



1. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ПО ЗАДАНЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СВОЙСТВАМ

Под термином "выбор материала" понимается выбор марки стали или сплава и назначение вида термической обработки. Выбранный материал должен:

— обеспечить необходимую прочность, надежность и стойкость (долговечность) изделия в конкретных условиях эксплуатации,

— обладать оптимальными технологическими свойствами, позволяющими изготовить деталь наиболее экономичными способами,

— быть по возможности наиболее дешевым.

Основой для правильного выбора материала являются его физико-механические свойства. К числу основных относятся следующие:

1. Характеристики прочности (сопротивления деформации) — предел прочности σ_B , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$. Характеристики пластичности — относительное сужение в шейке ψ и относительное удлинение при разрыве δ . Учитывая прямую связь между прочностью и твердостью и простоту определения последней, иногда вместо σ_B задают твердость по Бриннелю HB .

2. Характеристики надежности (сопротивления хрупкому разрушению) — ударная вязкость KCU (a_n), порог хладноломкости T_{50} , вязкость разрушения K_{1C} и др.

3. Характеристики долговечности — предел усталости σ_{-1} , скорость роста трещин усталости (СРТУ или $d\ell/dN$), износостойкость (чаще всего оценивается по твердости HRC), коррози-

онная стойкость и жаростойкость (мм/год), теплоустойчивость T_{HRC2} и предел длительной прочности σ_d или время до разрушения τ_p при заданных температуре и напряжении и др.

Число и номенклатура заданных свойств определяется конкретным назначением и степенью ответственности детали. Они могут задаваться количественно, а иногда для некоторых свойств и качественно. Последний вариант характерен для задания технологических свойств и экономических показателей. В большинстве случаев количественно задают HRC , σ_b или $\sigma_{0,2}$, Ψ или δ , KCU .

Уровень свойств материалов зависит от химического состава (в частности уровня легирования сталей) и их структурного состояния (режима термической обработки). Общая тенденция их изменения такова: с повышением прочности характеристики пластичности и вязкости падают. Наибольшую прочность, твердость и износостойкость стали имеют после закалки и низкого отпуска со структурой мартенсита отпуска, а наибольшую вязкость — после улучшения (закалка + высокий отпуск) со структурой сорбита отпуска.

Наилучшее сочетание прочности и вязкости при любом уровне σ_b или HRC достигается только при сквозной прокаливаемости на мартенсит. Прокаливаемость характеризуется критическим диаметром D_K , зависящим от уровня и характера легирования. Поэтому выбор марки стали для достаточно ответственных деталей, которые имеют сквозную прокаливаемость, определяется размером их сечения, а уровень прочностных и пластических свойств — температурой отпуска.

Сведения о свойствах сталей и сплавов в зависимости от вида и режима термической обработки приводятся в справочной литературе [1, 2] и методических указаниях [3 — 6]. В большинстве случаев они определены на стандартных образцах небольшого сечения с однородной структурой. В некоторых источниках [7] эти сведения приведены с учетом несквозной прокаливаемости и размера сечения (масштабный фактор) или способа получения заготовки (полуфабриката), чем следует воспользоваться при выборе материалов для крупных ответственных деталей.

Для обоснованного выбора стали или сплава и их термической обработки рекомендуется следующая последовательность.

1. Провести анализ условий работы детали (инструмента). Для этого следует составить эскиз детали, представить схему ее работы в узле, определить характер и условия нагружения, вид напряженного состояния и т.п. Затем на основе этого анализа описать возможные виды разрушения и другие причины выхода из строя. Для многих типовых деталей и инструментов они приведены в литературе [8].

2. Четко сформулировать требования к свойствам материала в качественном и, где это возможно, количественном виде, ранжируя их по важности.

3. Определить группу сплавов, которые обладают свойствами, близкими к требуемым.

Вид материала (сталь, бронза, литейный алюминиевый сплав и т.д.) указан в задании.

По функциональному назначению изделия и условиям его работы не представляет большой сложности установить название большой группы (старшие уровни иерархии в классификационной схеме), к которой принадлежит искомый сплав. К таким большим группам (разновидностям) можно отнести, например, стали: конструкционные общего назначения, пружинно-ресорные, быстрорежущие, штамповые для холодного деформирования, штамповые для горячего деформирования, коррозионно-стойкие и т.д., сплавы жаропрочные на никелевой основе и т.д.

Далее необходимо продвигаться по классификационной схеме от старших уровней иерархии к младшим, постепенно ограничивая число рассматриваемых марок до малой группы. При этом следует ориентироваться на одно-два наиболее важных требования (в качественной или количественной формулировке), которые прямо или косвенно присутствуют в названии группы. Например, стали для штампов холодного деформирования высокой износостойкости, стали для штампов горячего деформирования повышенной теплостойкости и вязкости, высокопрочные конструкционные стали и пр.

При отнесении конструкционных сталей общего назначения к числу среднеуглеродистых улучшаемых или низкоуглеродистых цементуемых производится сопоставление свойств по прочности, вязкости и износостойкости (твердости поверхности *HRC*) тех и других с требуемыми по заданию. Искомая малая группа по уровню легирования улучшаемых сталей устанавливается по прокаливаемости, которая определяется размерами сечения или глу-

биной упрочненного слоя, а цементуемых сталей — по прочностным свойствам сердцевины (или твердости HV).

4. В выбранной группе сталей или сплавов необходимо оставаться на одной марке, которая после соответствующей термообработки может наиболее полно удовлетворить все ранее сформулированные требования и заданные свойства. При этом следует использовать выработанные практикой рекомендации по назначению (области рационального использования) отдельных марок сталей и сплавов [1 — 8].

5. Установить оптимальный вид упрочняющей термической или химико — термической обработки на заданный уровень свойств. При этом следует отдавать предпочтение наиболее экономичным и производительным процессам в соответствующем типе производства, например газовой цементации (вместо твердой), закалке с цементационного нагрева, поверхностной закалке с нагрева ТВЧ в условиях крупносерийного или массового производства.

2. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА

Описание выбранной или заданной марки стали или сплава включает химический состав, критические точки, фазовый состав или структуру в различных состояниях (в том числе в равновесном), влияние легирующих элементов на структуру и свойства, механические и технологические свойства и другие необходимые данные.

В начале описания указывается принадлежность стали или сплава к той или иной группе по назначению и системе элементов (например, конструкционная улучшаемая хромоникелевая сталь, литейный жаропрочный алюминиевый сплав системы Al — Cu — Mn и т.д.).

Химический состав приводится в таблице по всем элементам, включая примеси, в соответствии с ГОСТом, номер которого указывается в заголовке таблицы. Содержание легирующих добавок ограничивается верхним и нижним пределами, а примесей — только верхним. Некоторые марки не гостированы и поставляются по отраслевым стандартам (ОСТ) или техническим условиям (ТУ), номера которых также должны быть указаны.

Температуры критических точек A_{c1} , A_{c3} , A_{cm} , A_{r1} , A_{r3} и M_n для сталей приводятся также в виде таблички и выбираются из литературных данных [1].

Классификация сталей по равновесной структуре производится с учетом уровня и характера легирования. При отсутствии прямых указаний на структуру данной марки низко- и средне-легированных сталей, она устанавливается ориентировочно путем определения положения смещенных точек S и E на диаграмме железо-углерод в зависимости от суммарного содержания легирующих элементов, указанных в марке. Равновесную структуру необходимо представить на рисунке с соблюдением соотношения площадей, занятых отдельными структурными составляющими. При наличии в стали карбидов легирующих элементов или интерметаллидов необходимо их указать.

Структурный класс (структура в нормализованном состоянии) этих сталей находится по данным [9, 10] или ориентировочно определяется по сумме легирующих элементов в марке. Структурный класс высоколегированных сталей ряда марок приводится также в марочнике сталей [1] или устанавливается по диаграмме Шеффлера по эквиваленту хрома и эквиваленту никеля [9]. Кроме этого указывается структура стали после окончательной термообработки.

Фазовый состав алюминиевых и других цветных сплавов устанавливается по разрезам тройных или двойным диаграммам состояния [11]. Здесь также приводится рисунок равновесной структуры.

При описании влияния легирующих элементов и их компонентов следует исходить из целей легирования данной стали или сплава и конкретного уровня (содержания) только тех из них, которые обозначены в марке. Нужно указать также влияние вредных примесей. Влияние легирующих элементов в стали на прокаливаемость должно быть оценено критическим диаметром [1] или может быть приведена диаграмма распада переохлажденного аустенита [12].

В конструкционных сталях, кроме того, следует указать влияние каждого легирующего элемента или их комплексов на размер зерна, порог хладноломкости, прочность и вязкость стали в различных состояниях, отпускуюпорность, отпускную хрупкость, флокеночувствительность и пр.

При описании легирования в инструментальных сталях указывается назначение элемента и его влияние на фазовый состав (специальные карбиды), равновесную структуру, температуру закалки, закаливаемость и прокаливаемость, эффект вторичного твердения и теплостойкость, износостойкость, вязкость, склонность к ликвации карбидов и отпускной хрупкости и пр.

Описание влияния легирования цветных сплавов следует сосредоточить на оценке твердорастворного упрочнения и эффекта старения, склонности к дендритной и зональной ликвации вторых упрочняющих и примесных фаз, коррозионной стойкости, свариваемости.

Из технологических свойств литейных сталей и сплавов приводятся: температурный интервал кристаллизации, жидкотекучесть, объемная и линейная усадка, герметичность, горячеломкость, а также свариваемость, обрабатываемость резанием, коррозионная стойкость [1]. Для деформируемых сталей и сплавов указывается свариваемость, обрабатываемость резанием, температурный интервал горячей обработки давлением, а также основные виды сортамента продукции, поставляемой металлургическими заводами.

Механические свойства стали приводятся в состоянии поставки и после заданной упрочняющей термообработки.

3. ВЫБОР ТИПА ЗАГОТОВКИ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ (инструмента)

Процесс изготовления заданной детали или инструмента состоит из комплекса последовательно выполняемых и взаимосвязанных между собой операций. Как правило, он включает получение заготовки, ее предварительную термическую обработку, механическую обработку резанием, упрочняющую термическую обработку, шлифовку и ряд других операций. Правильно разработанная их последовательность (технологический маршрут) должна обеспечить высокое качество по свойствам и геометрии детали, наименьший расход материала (высокий коэффициент использования металла — КИМ), высокую производительность и экономичность производства продукции.

Проектирование технологии начинается с выбора типа (метода получения) заготовки. Перечислим основные типы заготовок, используемые на машиностроительных заводах для изготовления различных по форме и размерам изделий:

1) Поковки и штамповки, получаемые из сортового проката методами горячей обработки давлением, используются для изготовления разнообразных деталей машин и инструментов сравни-

тельно сложной формы со значительными перепадами сечений, а также достаточно крупных деталей сравнительно простой формы, размеры и форма заготовок для которых не предусмотрены ГОСТом на сортамент продукции металлургических предприятий.

2) Крупные поковки, получаемые из кузнечных слитков, используются для получения крупных и особо крупных деталей машин (роторы турбин, прокатные валки, штоки гидравлических прессов, крупные коленчатые валы и т.п.) на заводах с собственным металлургическим циклом производства (тяжелое, транспортное и энергетическое машиностроение), а также крупных инструментов из высоколегированных инструментальных сталей; вес слитков может колебаться от сотен кг до 250—300 тонн, они имеют форму усеченной пирамиды с 6, 8, 12—гранным сечением.

3) Сортовой прокат простого профиля (прутки круглого, квадратного, шестигранного и прямоугольного сечений) — для деталей простой формы, не требующих обработки резанием или с минимальным объемом ее (оси, валы, крепеж, протяжки, раз — вертки и т.п.);

4) Фасонные отливки — для сложных по форме деталей (крыльчатки, лопатки газовых турбин, картеры и блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания) и крупных корпусных деталей (корпуса редукторов, коробок передач, станины станков и пр.), получать которые обработкой давлением невозможно или слишком дорого.

5) Листы, лента, проволока и т.п. — для деталей, изготавливаемых методами холодной пластической деформации (вырубка, пробивка, гибка, вытяжка, формовка, навивка пружин и т.п.).

6) Сварные (листосварные, сварно — литые, сварно — кованные) заготовки — для изделий особо сложной формы или достаточно сложной формы с наиболее высоким КИМ.

Детали из сортового и листового проката и проволоки, предварительно термически обработанных на металлургических заводах и потому позволяющих осуществлять обработку резанием или холодную обработку давлением, на машиностроительных заводах изготавливают без дополнительной предварительной термической обработки.

Поковки (штамповки), отливки и сварные заготовки подвергают предварительной термической обработке для повышения обрабатываемости резанием, для улучшения свойств готовых изделий за счет устранения дефектов литой и деформированной

структуры и для подготовки ее к окончательной термической обработке. В качестве таковой используют различные виды отжига и нормализации. Если заданные свойства готовых изделий характеризуются невысокой прочностью и твердостью (не более 240...300 НВ), позволяющей производить обработку резанием, то указанная термическая обработка является одновременно и окончательной. В этом случае стальные заготовки обычно подвергают нормализации или улучшению (закалка + высокий отпуск на НВ = 220 – 300). Улучшение дает повышенную вязкость и применяется для поковок ответственных деталей машин.

Механическая обработка резанием предназначена для получения заданной чертежом формы и размеров детали (инструмента) заданной точности. Она состоит из ряда операций: обточки, сверления, расточки, фрезерования, нарезания резьбы и зубьев шестерен, шлифования и т.д. Ее проходят подавляющее большинство деталей машин и инструментов. При значительном съеме металла с заготовки она подразделяется на черновую и чистовую и может производиться в один цикл или с разрывом другими разнородными операциями. В частности, в связи с короблением деталей при окончательной термообработке, шлифование поверхностей, изготавливаемых с высокой чистотой и точностью, производят после отпуска. Иногда при изготовлении сложных и точных деталей с большим объемом обработки резанием (например, крупные коленчатые валы) сначала поковку подвергают нормализации для улучшения обрабатываемости резанием, затем делают черновую обработку резанием, далее закалку с высоким отпуском (улучшение) для объемного упрочнения детали, далее чистовую обработку резанием, правку и термическую стабилизацию — для устранения поволоков, наконец окончательную термообработку (для коленчатого вала — азотирование) и чистовое шлифование в размер (коренные и шатунные шейки коленвала). Чистовая механическая обработка чаще всего предназначается для повышения чистоты обработки (уменьшения шероховатости) и получения размеров высокого класса точности. Кроме шлифования к таким операциям относятся: шевингование зубьев шестерен (соскабливание неровностей в виде очень тонких стружек), протягивание отверстий после сверления, хонингование, притирка, полирование и т.д.

Упрочняющая термическая обработка в простейшем случае состоит из закалки и отпуска на заданные свойства. Если деталь должна иметь высокую поверхностную твердость и вязкую сердцевину, то производят либо поверхностную закалку с нагрева в том числе (среднеуглеродистые стали), либо сначала цементацию (нитроцементацию), а затем закалку и низкий отпуск (малоуглеродистые стали). При требовании очень высокой твердости и износостойкости ($HV > 650$) применяют азотирование при $520 \div 580^\circ \text{C}$, которое производится на окончательно готовых деталях после шлифования, прошедших до этого закалку с отпуском, температура которого должна быть не ниже температуры азотирования. Для штампов из теплостойких сталей и режущих инструментов из быстрорежущих сталей с небольшой глубиной упрочненного слоя (не более 0,2 мм) применяют цианирование при той же последовательности операций. При использовании борирования и хромирования ($t = 900 \div 1000^\circ \text{C}$) в тех же целях их проводят (как и цементацию) перед закалкой. В практике термообработки встречаются и более сложные схемы чередования закалок, отпусков, химико-термических обработок. Для многих типовых деталей и инструментов они описаны в книге [8].

В качестве дополнительных операций термообработки инструментов часто используют дополнительный отпуск для снятия напряжений, образовавшихся при шлифовании и заточке. Температура его должна быть ниже температуры основного отпуска.

При составлении маршрутной технологии следует учесть и выполнение некоторых вспомогательных операций: очистку от окалины или остатков солей из закалочных ванн, антикоррозионную обработку (пассивирование, оксидирование (воронение)), а также операции контроля качества продукции.

Описание этого пункта должно быть лаконичным и включать только последовательность (технологическую схему) операций с указанием их номеров, наименования и назначения (с какой целью они производятся). Более детальное описание режимов термических операций производится в последующих пунктах.

Для примера ниже приводятся технологические схемы изготовления нескольких деталей.

Пример 1. Технологическая схема изготовления матрицы (рис.1)

1. Изготовление поковки.

2. Предварительная термическая обработка (отжиг) — для устранения дефектов горячей обработки давлением, снижения твердости для улучшения обрабатываемости резанием и подготовки структуры к окончательной термообработке.

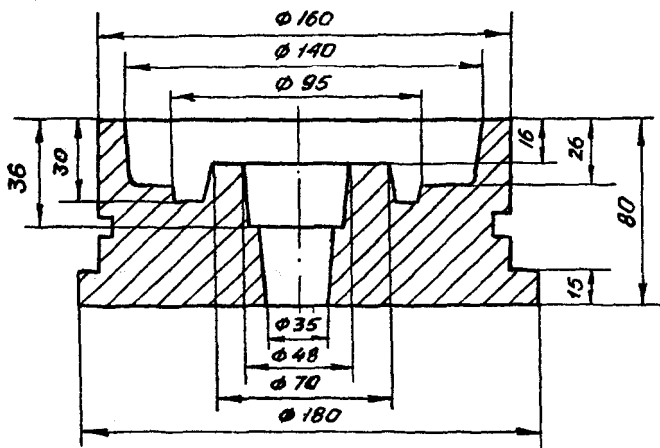


Рис. 1. Матрица последнего перехода штампа для выдавливания стальных штамповок на кривошипном прессе. Материал: сталь 4Х4ВМФС (ДИ22), твердость 47–50 HRC, рабочую поверхность цианировать на глубину 0,2 мм и твердость 750–850 HV

3. Контроль твердости.

4. Черновая механическая обработка.

5. Низкий отжиг (высокий отпуск) — для снятия наклепа и внутренних напряжений от обработки резанием.

6. Чистовая механическая обработка.

7. Окончательная термообработка: а) закалка и б) отпуск — для получения заданных эксплуатационных свойств материала.

8. Контроль твердости.

9. Очистка от окалины.

10. Шлифование и доводка размеров фигуры матрицы.

11. Обезжиривание и нанесение слоя жидкого стекла на поверхности, не подлежащие цианированию.

12. Низкотемпературное цианирование рабочих поверхностей на глубину 0,2 мм для повышения износостойкости.

13. Промывка от солей и сушки.
14. Окончательный контроль.

Пр и м е р 2. Технологическая схема изготовления клапана (рис.2)

1. Отрезка заготовки из прутка $\varnothing 40$ мм.
2. Механическая обработка резанием.
3. Гальваническое меднение поверхностей (кроме зоны "Б") для защиты от цементации и зачистка от меди площадки 10×10 мм на поверхности "А" для замера $HRC_{\text{цем}}$.

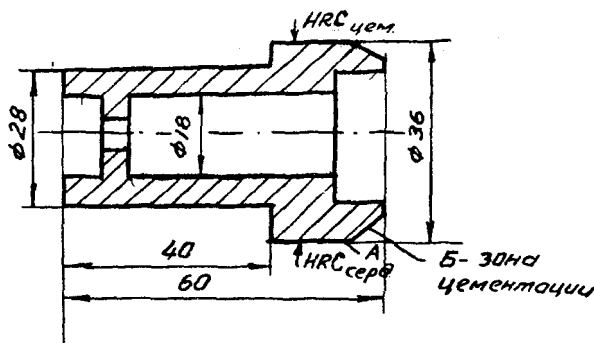


Рис. 2. Клапан механизма самолета из стали 12ХНЗА. Поверхность Б цементировать на глубину 0,8–1,2 мм, твердость цементированного слоя 56–62 HRC, твердость сердцевины 30–40 HRC

4. Цементация.
5. Контроль глубины цементованного слоя на свидетелях.
6. Высокий отпуск — с целью снижения остаточного аустенита при последующей закалке.
7. Очистка от окалины.
8. Нормализация для устранения крупнозернистости и растворения крупных включений цементита.
9. Закалка — для упрочнения поверхностного слоя и сердцевины.
10. Промывка — для удаления остатков соли.
11. Отпуск — для получения заданных свойств.
12. Контроль твердости.
13. Очистка от окалины.

14. Шлифовка всех поверхностей.

15. Стабилизирующий отпуск — для снятия остаточных шлифовочных напряжений.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ (ЗАГОТОВОК) МЕТОДАМИ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ковка и штамповка — способы обработки металлов давлением, при которых заготовка подвергается формообразованию и приобретает заданную форму под воздействием бойков или в результате деформации в штампе. К основным преимуществам ковки и штамповки следует отнести:

- получение высокого качества металла поковки с улучшенными пластическими и прочностными характеристиками в сравнении с отливками или сортовыми заготовками;
- возможность изготавливать на стандартном оборудовании поковок и штамповок самой различной массой от 0,1 кг до 100 т;
- сравнительно высокая производительность, особенно в процессах горячей штамповки.

Оборудованием для ковки и штамповки служат различной конструкции молоты, а также механические и гидравлические прессы. В меньшей степени применяются горизонтально-ковочные машины, ковочные вальцы и другое специализированное оборудование [13, 29, 30].

Ковке и штамповке подвергаются в основном нагретые заготовки, а их деформация называется горячей. В ряде случаев формоизменение производят без нагрева, — такой вид штамповки называется холодным деформированием. В результате нагрева до определенных температур сталь и другие деформируемые металлы и сплавы обладают высокой пластичностью и низким сопротивлением деформации. Эти температуры имеют нижний и верхний пределы, между которыми лежит температурный интервал ковки или горячей штамповки.

4.2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ИНТЕРВАЛ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

Оптимальный температурный интервал определяется температурами начала и конца ковки или штамповки, которые

устанавливают на основании конкретных данных о поведении материала заготовок при нагреве на разные температуры. Температурный интервалковки (штамповки) зависит от целого ряда факторов, главными из которых являются:

- химический состав металла или сплава;
- вид деформируемой заготовки (слиток, прутковая катаная заготовка, прессованный профиль и т.д.);
- механические свойства, определяемые данным химическим составом;
- фазовая структура сплавов при нагреве и охлаждении;
- величина зерна при нагреве и деформации.

Температурный интервалковки и штамповки различных металлов и сплавов приводится в справочно – технической литературе [1 – 3,32].

В табл.1 приведены в качестве примеров некоторые данные по рекомендуемому температурному интервалуковки или штамповки ряда сталей и сплавов.

Т а б л и ц а 1

Рекомендуемый температурный интервалковки (штамповки) некоторых сталей и сплавов

Марка материала	Температураковки, °С	
	начало	конец
Ст2; Ст3	1300	700
Ст4; Ст5	1250	750
Сталь 25	1280	750
30ХГТ	1220	800
40ХН	1250	860
45ХН	1200	800
30ХГСА	1240	800
35ХГСА	1200	850
50ХГФА	1200	850
40Х9С2	1200	850
У8А	1120	850
У12А	1080	870
Х12М	1100	900
7Х3	1050	850
ХВГ	1050	950
9Х2СФ	1130	800

4.3. КОВКА

Ковка применяется при изготовлении изделий несложной формы, часто довольно крупных размеров, в условиях единичного или мелкосерийного производства. При ковке получают заготовки (полуфабрикаты) для последующей механической обработки, имеющие невысокие классы точности и шероховатости поверхности. В процессе осуществления операцийковки решаются различные технологические задачи. К числу главных из них относятся следующие:

- придание поковке заданной формы и требуемых размеров;
- исправление дефектов и уменьшение структурной неоднородности литой стали;
- преобразование литой макро- и микроструктуры металла в деформированную по всему объему заготовки;
- обеспечение высокого уровня свойств после термообработки.

Технологическая схемаковки включает в общем случае следующие операции:

- резку заготовок на мерные длины (разрубка слитка);
- нагрев перед деформацией;
- ковку на молотах или прессах;
- обсеckу (удаление) отходов;
- термическую обработку поковок;
- контроль в соответствии с техническими условиями геометрических размеров, механических свойств, структуры, а при изготовлении поковок ответственного назначения — контроль по обнаружению внутренних дефектов.

Заготовками дляковки являются слитки, блюмсы (предварительно прокатанные слитки), прутки круглого и квадратного сечения.

Технологический процессковки состоит из ряда элементов, представляющих собой простые или сложные операции (рис. 3). К

простым операциям относится о с а д к а (рис. 3а), при которой увеличиваются размеры поперечного сечения исходной заготовки за счет уменьшения ее высоты. Применяют для получения поковок с большими поперечными размерами (поковки шестерен, фланцев, дисков); как предварительную операцию перед прошивкой для увеличения диаметра полых заготовок; для разрушения литой дендритной структуры и уменьшения неравномерности свойств.

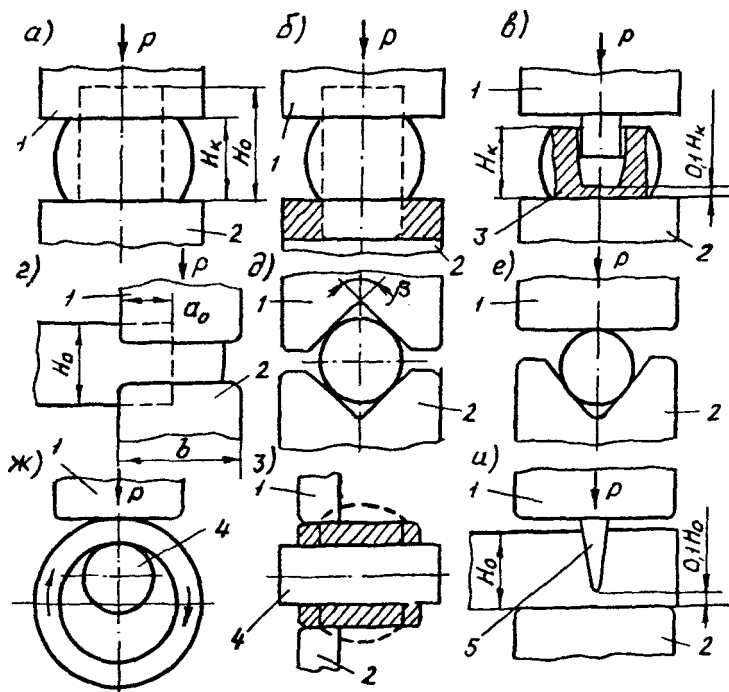


Рис. 3. Основные кузнечные операции

Операция осадки части заготовки называется в ы с а д к о й (рис. 3б). Локальная деформация может осуществляться путем местного нагрева части заготовки, подвергаемой формоизмене-

нию, или путем ограничения перемещения части заготовки за счет ее заключения в инструмент. Применяют для получения заготовок с резкой разницей поперечных сечений типа диск с хвостовиком, шестерни — оси и т.д.

П р о ш и в к а — это операция по образованию полости в заготовке за счет вытеснения металла (рис. 3 в). Прошивающим инструментом является сплошной или пустотелый прошивень круглого или фасонного поперечного сечения. Применяется для изготовления полых поковок типа дисков, венцов, колец, толстостенных цилиндров.

Сложные операции состоят из простых операций и промежуточной переориентировки положения заготовки в пространстве (повороты вокруг продольной оси заготовки — кантовки, перемещения вдоль ее оси — подачи). К числу сложных относятся операции **п р о т я ж к и** заготовки в длину под плоскими (рис. 3 г), вырезными (с углом выреза β , рис. 3 д) или комбинированными бойками (рис. 3 е). Суть операции протяжки заключается в удлинении или уширении заготовки за счёт уменьшения ее поперечного сечения. Может осуществляться путём деформирования как в одной плоскости, так и в двух и более плоскостях путём поворота (кантовки) после каждого обжатия, например на 90° при ковке квадратной заготовки. Операция протяжки применяется при изготовлении гладких и ступенчатых валов, фасонных поковок типа шатунов, коленчатых валов и т.д. Занимает 60–70% всего времени работы при свободной ковке.

Р а с к а т к а полых заготовок является своеобразной разновидностью операции протяжки, при которой полая заготовка деформируется на оправке 4, продольная ось которой параллельна оси кольца (рис. 3 ж). После каждого обжатия оправка вращается и трением увлекает заготовку — кольцо, поворачивая его на некоторый угол. Заданные размеры получают путем ряда оборотов заготовки. Применяют при ковке относительно коротких полых поковок типа колец и обечаек.

Протяжка с оправкой производится для увеличения длины полой заготовки за счёт уменьшения поперечного сечения. При этом уменьшается наружный диаметр (рис. 3 з), внутренний же за счет использования оправки почти не изменяется. Применяют при ковке полых цилиндров, толстенных труб, полых валов и т. д.

К числу сложных операций можно отнести также разрубку заготовок, которая при больших сечениях заготовок может производиться с надрубкой с двух, трех, четырех сторон. На рис. 3 и показана сравнительно несложная рубка топором б почти на всю высоту сечения.

Кроме указанных наиболее распространенных кузнечных операций, в ряде случаев находят применение следующие приемы и операции:

– г и б к а, операция, посредством которой заготовке придается изогнутая форма;

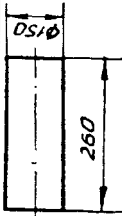
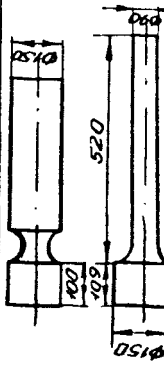
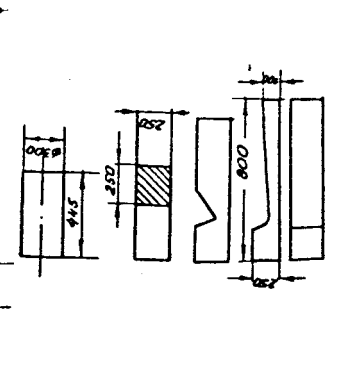
– с к р у ч и в а н и е, операция, позволяющая повернуть часть заготовки вокруг продольной оси относительно другой ее части, закрепленной каким – либо способом от поворота;

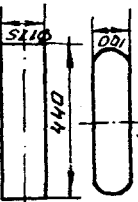
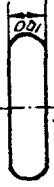


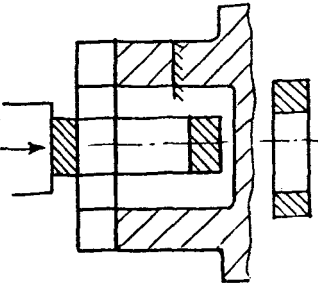
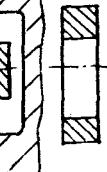
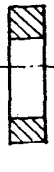
– г о р н о в а я с в а р к а, операция соединения нагретых частей металла под молотом или прессом.

Комбинируя приемы и операцииковки, применяя разнообразные инструменты (в том числе и подкладные), можно не только получать разнообразные формы поковок, но и в значительной мере управлять качеством кованых изделий.

В качестве примеров разработки схематичных процессовковки для получения полуфабрикатов (заготовок) деталей в табл. 2, приведен ряд типовых технологий.

Т а б л и ц а 2
 Типовой технологический процессковки стального вала

Эскизы переходов	Операция	Оборудование, форма бойков
	Резка заготовки из прутка Нагрев до 1200°С	Камерная газошламенная печь
	Наметка Протяжка	Ковочный молот 2 т, плоские бойки Ковочный молот, фигурные бойки
	Резка заготовки от слитка-столба Нагрев до 480°С Протяжка на прямоугольный Наметка Оттяжка (протяжка) конца	Дисковая пила Камерная электропечь Ковочный молот 3 т, бойки гладкие Ковочный молот 3 т, бойки гладкие Ковочный молот 3 т, бойки гладкие

Эскизы переходов	Операция	Оборудование, форма бойков
	<p>Резка заготовки</p>	<p>Дисковая пила</p>
	<p>Нагрев до 480° С</p>	<p>Камерная электропечь</p>
	<p>Осадка</p>	<p>Ковочный молот 3 т</p>
	<p>Прошивка</p>	<p>Ковочный молот 3 т</p>
	<p>Нагрев до 480° С</p>	<p>Камерная электропечь</p>
	<p>Раскатка на оправке</p>	<p>Ковочный молот 5 т</p>
	<p>Правка по торцам</p>	<p>Ковочный молот 5 т</p>

4.4. ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Объемная штамповка или ковка в штампах представляет собой закрытую ковку, при которой течение металла принудительно ограничивается поверхностями полостей и выступов, изготовленных в штампе. Штамповкой изготавливают детали сложной конфигурации ответственного назначения для различных отраслей машиностроения. Штамповка является одним из самых высокопроизводительных процессов с довольно низкой себестоимостью изготовления детали.

Основным деформирующим инструментом является штамп, состоящий из двух разъемных частей, в собранном виде образующих полость, называемую ручьем.

В штампе может быть один или несколько ручьев.

В зависимости от формы поковки и применяемого оборудования используют следующие виды объемной штамповки: открытую с облоем, закрытую безоблойную и выдавливанием (рис. 4).

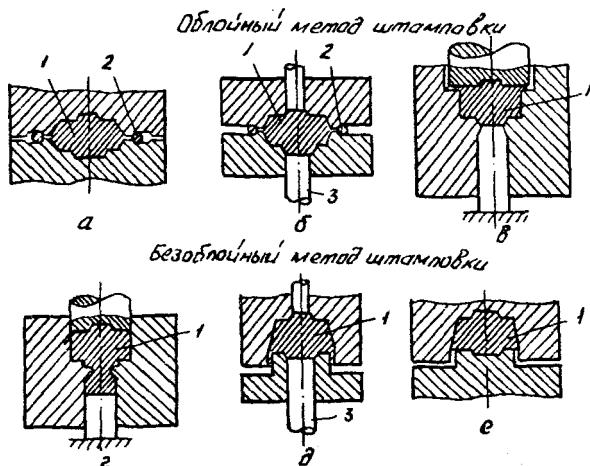


Рис. 4. Методы штамповки в открытых и закрытых штампах на молоте (а, е), прессе (б, г) и горизонтально — ковочной машине (в, г): 1 — ручей штампа; 2 — облой; 3 — выталкиватель

Обычно нижняя часть штампа устанавливается на неподвижной плите кузнечно – штамповочной машины, а верхняя — на подвижной части оборудования. Для объемной штамповки по сравнению с ковкой характерны более высокие точность размеров изделия, качество поверхности и коэффициент использования металла.

Исходными материалами для горячей штамповки являются сортовой прокат, профили периодического сечения.

Типовой технологический процесс горячей штамповки состоит из следующих операций:

- резка мерной заготовки (заготовки, обладающей нужной массой);
- нагрев заготовки перед деформацией;
- штамповка в один или несколько переходов;
- обрезка и удаление облоя;
- термическая обработка полученных штамповок;
- отделочные операции и контроль качества.

В большинстве случаев для штамповки применяют универсальное оборудование: молоты, прессы и горизонтально – ковочные машины. В зависимости от особенностей работы каждого типа машин выбирают технологию, способ и вид штамповки.

Разработка технологического процесса, как правило, начинается с анализа чертежа детали, ее формы, требований к допускам на размеры, качеству поверхности, изучения особенностей деформирования металла, уровня его механических свойств, выбора технологических параметров штамповки.

На основании анализа и технологических расчетов [29 – 31] выбирается оборудование для штамповки, разрабатывается чертеж штамповки с учетом возможных припусков на механическую обработку и наличием штамповочных уклонов, проектируются переходы штамповки и сам штамп с учетом изменения размеров вследствие термической обработки.

4.4.1. Штамповка на молотах.

Для простых по форме поковок (шестерен, маховичков, прямых рычагов) в штампе имеется один (чистовой) или два (черновой и чистовой) штамповочных ручья.

Поковки сложной формы последовательно обрабатывают в заготовительных ручьях: протяжном, подкатном, пережимном, формовочном, гибочном, на отрубном ноже и в штамповочных ручьях (черновом и чистовом).

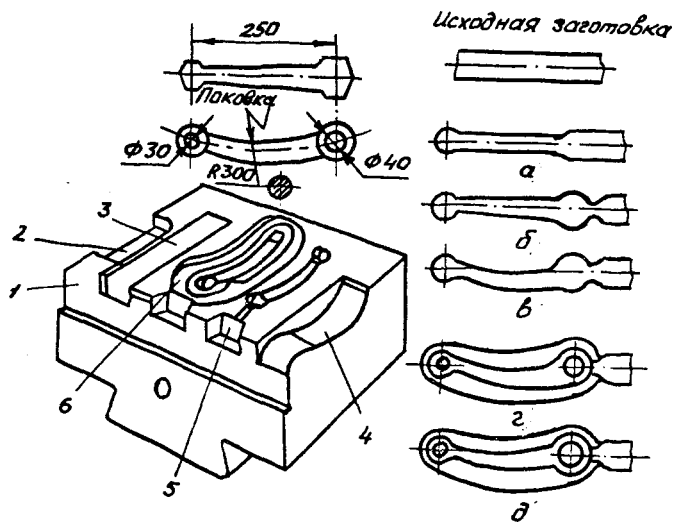


Рис. 5. Многоручьевого штампа: 1 — штамп, 2 — протяжной, 3 — подкатной, 4 — гибочный, 5 — предварительный, б — окончательный ручьи. Переходы: а — протяжка, б — подкатка, в — гибка, г — предварительная и д — окончательная штамповка

В качестве примера на рис. 5 показан многоручьевого молотовой штамп, предназначенный для штамповки изогнутого рычага. Рычаг штампуют из катаной заготовки.

Типы поковок, наиболее характерные для молотовой штамповки, представлены на рис. 6.

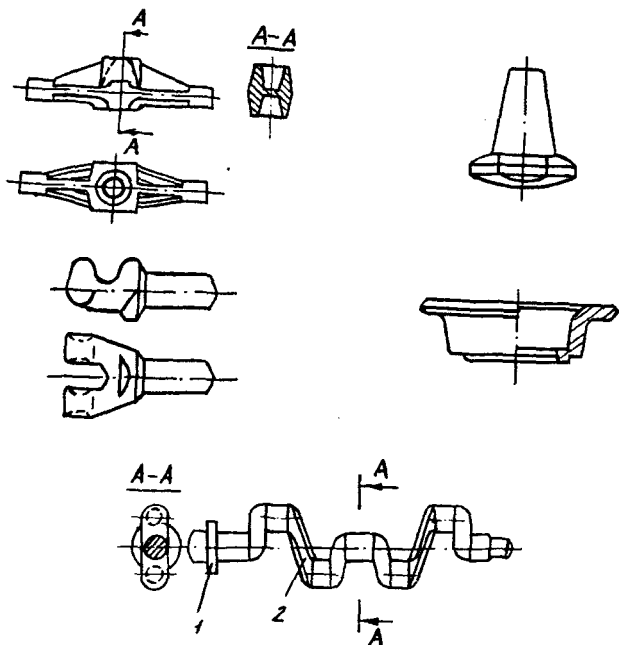


Рис. 6. Характерные типы поковок, изготавливаемые на штамповочных молотах

4.4.2. Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах (КШГП)

Условия деформирования металла на прессах отличаются от условий деформирования металла на молотах: скорость деформирования на прессах (0,5–0,6 м/с) значительно меньше, чем на молотах (5–8 м/с). Кроме того, прессы имеют определенную величину хода ползуна.

Точность штамповки на кривошипном прессе выше, чем на молоте. Наличие на прессах выталкивателей позволяет уменьшить штамповочные уклоны и применить штамповку выдавливанием и закрытую штамповку.

Отсутствие ударных нагрузок при работе кривошипного горячештамповочного пресса позволяет применять на нем сборные штампы, где вмонтированы необходимые ручьевые вставки (рис. 7).

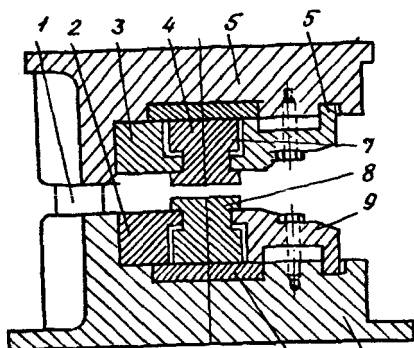
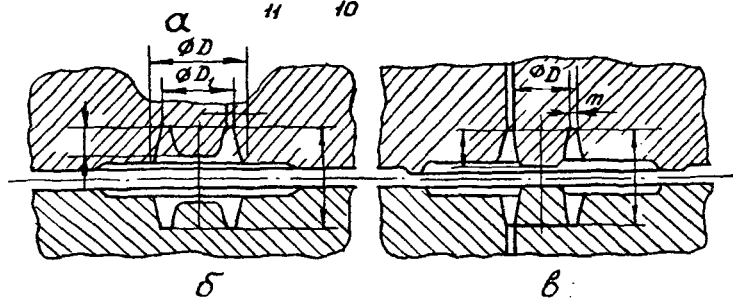


Рис. 7. Сборный штамп для штамповки на КГШП:

а — общий вид; 1 — направляющие колонки; 2, 3 — клиновые планки; 4, 11 — подкладные плиты; 5, 10 — обоймы; 6, 9 — прижимные колонки; 7, 8 — ручьевые вставки; *б* — предварительная и *в* — окончательная ручьевые вставки для круглых в плане поковок



Группа	Подерушка	
<i>I</i>		
<i>II</i>		
<i>III</i>		
<i>IV</i>		
<i>V</i>		

Рис. 8. Типы штамповок, изготавливаемые на КГШП

Характерные типы поковок, изготавливаемые на кривошипных горячештамповочных прессах представлены на рис.8.

4.4.3. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ)

Осесимметричные поковки в виде стержней с утолщениями (головками), сквозными и глухими отверстиями, боковыми выступами, фланцами экономически целесообразно штамповать на горизонтально-ковочных машинах. Основными достоинствами ГКМ являются высокая производительность (400–900 поковок в час), возможность штамповки без облая и штамповочных уклонов, хорошая макроструктура поковок, возможность полной автоматизации процесса и др.

Штамповка на ГКМ применяется в условиях крупносерийного и массового производства. Исходной заготовкой является прокат в виде мерных заготовок или прутков.

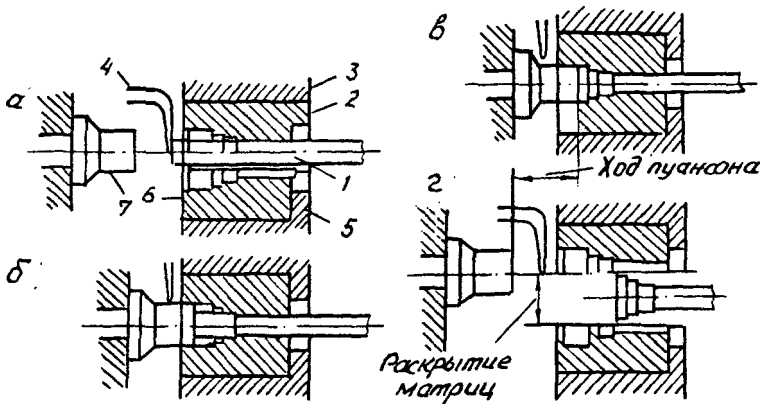


Рис. 9. Процесс штамповки на горизонтально-ковочной машине

Штамповка на ГКМ производится за один переход или несколько переходов в отдельных ручьях (рис. 9). Пруток 1 с нагретым концом укладывают в неподвижную матрицу 2, закрепленную в щеке 3. Положение прутка фиксирует упор 4. При включении кривошипного механизма начинают двигаться подвижная щека 5 с матрицей 6 и пуансон 7. Матрицы зажимают пруток, а упор 4 автоматически отходит в сторону. Пуансон 7 сначала производит высадку конца прутка (рис. 9 а, б), затем заполняет металл (рис. 9 в) формирующую полость штампов.

Далее (рис. 9 г) начинается обратный ход пуансона 7, матрицы 2, 6 разжимаются, заготовка удаляется или передается в следующий ручей ГKM. Кроме высадки на ГKM, применяют закрытую прошивку, выдавливание сплошных и пустотелых стержней, гибку, отрезку прутка и заусенца и т.п.

Наиболее целесообразна штамповка из прутка, причем используется прокат повышенной точности или калиброванный металл.

На рис. 10 приведен пример изготовления поковки полуоси заднего моста автомобиля на горизонтально – ковочной машине.

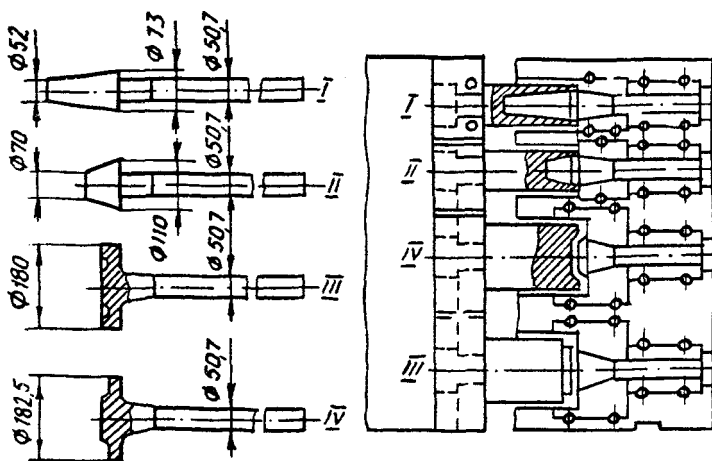


Рис. 10. Схемы переходов (1–IV) и инструмент для штамповки поковки полуоси заднего моста автомобиля на ГKM

Конец оси с фланцем штампуют из мерного прутка диаметром 50 мм за четыре перехода на ГKM усилием 12500 кН (1250 т). Если форма поковки обуславливает высадку на некотором расстоянии от конца прутка, то для недеформируемой его части в пуансоне выполняют соответствующую полость.

5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОКОВОК

Она предназначена для улучшения свойств готовых изделий за счет устранения дефектов горячедеформированной структуры и подготовки их к окончательной упрочняющей термообработке.

для улучшения обрабатываемости резанием при механической обработке или того и другого вместе.

В зависимости от режимов деформирования, последующего охлаждения и марки стали в поковках могут образовываться следующие дефекты:

- крупнозернистость, связанная с развитием процессов собирательной рекристаллизации при высокой температуре окончанияковки;
- разнотекучность, обусловленная различной степенью деформации поверхностных слоев и центральной зоны;
- повышенная твердость поверхностного слоя из-за частичного сохранения горячего наклепа, особенно в высокоуглеродистых легированных сталях;
- карбидная сетка по границам зерен в высокоуглеродистых сталях, выделяющаяся из аустенита при медленном охлаждении крупных поволоков от высоких температур окончанияковки;
- образование неравновесных структур (троостита, бейнита) с повышенной твердостью при ускоренном охлаждении послековки мелких поволоков из высоколегированных сталей.

В качестве предварительной термической обработки поволоков из конструкционной стали обычно используют либо нормализацию, либо нормализацию с высоким отпуском, либо изотермический отжиг на твердость от 179 до 255 НВ, обеспечивающие хорошую обрабатываемость резанием. Поволки из инструментальных и подшипниковых сталей обычно подвергают сфероидизирующему отжигу на зернистый перлит, выполняемому по изотермическому режиму или с непрерывным охлаждением в печи. Твердость таких поволоков не должна превосходить 285 НВ, что обеспечивает удовлетворительную обрабатываемость резанием инструментами из быстрорежущей стали.

При выборе вида предварительной термообработки и ее режимов следует руководствоваться конкретными задачами такой обработки (какие дефекты необходимо устранить, какова должна быть структура и твердость и пр.), составом стали по углероду и легирующим элементам, определяющим устойчивость аустенита при охлаждении с температуры обработки и температуру критического нагрева (массой) заготовки, которые определяют способ нагрева (ступенчатый, непрерывный) и продолжительность выдержки. Данные о режимах предварительной термообработки сталей приводятся в справочной литературе [7, 8, 14, 15, 16].

Кроме указанных, могут использоваться более сложные схемы и режимы предварительной термической обработки. К их числу относятся противофлокенная обработка крупных поковок, отжиг для устранения наследственности и трудноустраняемой крупнозернистости, предварительная обработка для повышения свойств готовых изделий на основе использования частиц вторых твердых фаз, отжиг на максимальную обрабатываемость резанием и давлением и пр. Описание этих режимов приводится в литературе [8, 15].

Инструментальные стали, как более высокоуглеродистые и более легированные, больше склонны к различного рода дефектам, чем конструкционные. Поэтому качество термически обработанных поковок, а также горячего проката их этих сталей контролируется по большому числу параметров (трещины, волосяины, закаты, центральная пористость, глубина обезуглероженного слоя, карбидная неоднородность и пр.), которые нормированы в соответствии с ГОСТ 5950–80 на легированные инструментальные стали и ГОСТ 19265–80 на быстрорежущие стали.

В курсовой работе по данному вопросу следует привести краткое обоснование выбора вида и режимов предварительной термообработки поковок, краткое описание сущности фазовых и структурных превращений и зарисовку микроструктуры после такой обработки с указанием норм допустимых дефектов. Режим предварительной термообработки изображается на графике.

При отсутствии предварительной термической обработки в общей схеме изготовления изделия следует привести виды (параметры) и нормы входного контроля стали, устанавливающие ее пригодность для изготовления деталей конкретного назначения. При этом следует руководствоваться ГОСТ 5950–80 и ГОСТ 19265–80. При несоблюдении этих норм может назначаться исправительная предварительная термообработка (отжиг).

Если поковки и заготовки из сортового проката конструкционных сталей проходят улучшение (закалка + высокий отпуск), формирующее окончательно свойства изделия (или сердцевины его), то такую обработку следует рассматривать как окончательную.

6. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОТЛИВОК

Термическую обработку стальных отливок и отливок из цветных сплавов редко расчленяют на предварительную и окончательную и обычно рассматривают как единую. Она предназначена для устранения дефектов литой структуры и получения заданных свойств отливок.

К особенностям литого металла по сравнению с деформированным относятся:

- химическая неоднородность или дендритная ликвация, т.е. различие химического состава в осях и междендритных пространствах кристаллов — дендритов и образование в ряде сплавов неравновесных выделений вторых хрупких фаз (карбидов, интерметаллидов) на границах дендритов, что обуславливает пониженный уровень свойств;

- структурная неоднородность, проявляющаяся в неодинаковости размеров и формы зерен закристаллизовавшегося металла в поверхностной зоне и центральной зоне отливок;

- наличие значительных внутренних напряжений, обусловленных неодновременностью затвердевания металла в отдельных частях и зонах отливки и неоднородностью распределения температуры, могущих привести к образованию горячих и холодных трещин.

Степень проявления этих дефектов зависит от состава сплава, массы отливки, ее формы и способа литья.

Виды и режимы термической обработки отливок назначаются с учетом структурного типа материала, назначения отливок, требуемого уровня ее свойств и технологии дальнейшей обработки. Малоответственные отливки общего назначения, механические свойства которых не нормируются, подвергают только низкому отжигу для уменьшения остаточных напряжений.

Отливки ответственного назначения из углеродистых и легированных сталей подвергают отжигу, нормализации, нормализации с отпуском или улучшению. Большинство отливок сравнительно небольшой массы проходят только одну из указанных операций (одноразовая фазовая перекристаллизация), выбор которой определяется уровнем свойств готовой отливки. Поскольку различия исходной структуры в отливках больше, чем в деформированном металле, то и режимы нагрева при термообработке отливок могут изменяться в достаточно широких пределах. При

этом температуру нагрева и длительность выдержки выбирают таким образом, чтобы устранить следы литой структуры и, в то же время, не вызвать интенсивного роста зерна. Для отливок с достаточно развитой химической и структурной неоднородностью температура нагрева и длительность выдержки могут существенно превышать таковые для деформируемых сталей того же состава. Двойную фазовую перекристаллизацию таких отливок иногда используют для измельчения зерна и повышения комплекса механических свойств. В этом случае, например отливки из стали 45Л, сначала подвергают нормализации при 960°C , а затем закалке с 860°C в воде и отпуску при 600°C (улучшение).

Достаточно крупные отливки из умеренно легированных сталей с грубозернистой структурой и развитой химической и структурной неоднородностью также подвергают двойной фазовой перекристаллизации: высокотемпературной нормализации или отжигу в сочетании с последующей обычной нормализацией или закалкой при нагреве немного выше A_3 и высоким отпуском.

В крупных массивных отливках из легированных сталей возможна очень сильная дендритная ликвация, уменьшить которую можно только гомогенизирующим отжигом с нагревом до $1100-1150^{\circ}\text{C}$ и длительной выдержкой (10–15 ч). Так как при таком отжиге происходит сильный рост зерна, то для его измельчения необходима дополнительная обычная обработка (отжиг или нормализация с отпуском).

Термическая обработка отливок из высоколегированных сталей характеризуется разнообразием видов и режимов, которые должны быть согласованы прежде всего с особенностями фазовых превращений стали данного структурного класса. Отливки из мартенситных, мартенситно-ферритных и аустенитно-ферритных сталей проходят закалку (нормализацию) с высоким отпуском (старением), а аустенитно-мартенситные — то же с промежуточной обработкой холодом. Аустенитные коррозионно-стойкие стали подвергаются высокотемпературной закалке, а жаропрочные — закалке с последующим старением. Режимы нагрева под закалку отливок из этих сталей по сравнению с деформируемыми отличаются повышенными температурами и длительными выдержками для уменьшения химической и структурной неоднородности. Массивные отливки и отливки из сложнолегированных сталей этих классов с сильно выраженной ден-

дритной ликвацией часто перед закалкой подвергают гомогенизирующему отжигу.

Виды и режимы термической обработки стальных отливок приводятся в справочной литературе [1, 17], а фазовые превращения в высоколегированных сталях в [9, 10].

Термическая обработка отливок из алюминиевых и магниевых сплавов весьма разнообразна и определяется природой данного сплава и требуемым уровнем механических свойств, что указано в задании буквенно – цифровой символикой в конце маркировки (Т1, Т2, . . . , Т8). Все виды термообработки (кроме Т2 – отжиг) связаны с закалкой и старением по различным режимам. В отличие от сталей, температуры нагрева под закалку для большинства алюминиевых и магниевых сплавов характеризуются весьма узким интервалом, обусловленным особенностями фазового равновесия в них. Поэтому растворение неравновесных эвтектических выделений вторых фаз и повышение гомогенности твердого раствора в отливках из этих сплавов, весьма склонных к дендритной ликвации, возможно только за счет увеличения длительности выдержки при температурах нагрева под закалку, которая для них по существу является одновременно и гомогенизацией. Ряд алюминиевых и магниевых сплавов используются в закаленном состоянии без старения, а большинство проходят старение по заданным режимам на различный комплекс механических свойств. Режимы термообработки отливок из цветных сплавов приведены в [15, 17 – 20].

При выполнении этого раздела должны быть тщательно продуманы вопросы технологии выполнения термической обработки отливок. В индивидуальном и серийном производстве для термической обработки отливок используют обычно камерные печи периодического действия. Для проведения отжига и нормализации крупных корпусных стальных отливок рекомендуются печи с выдвижным подом. В массовом производстве целесообразно применять печи и агрегаты непрерывного действия различных типов. При нагреве под закалку отливок из алюминиевых и магниевых сплавов нужны печи с циркулирующей атмосферой, позволяющие создавать однородную температуру во всех зонах печного пространства и поддерживать ее с высокой точностью.

При размещении отливок на под печи или поддоны их необходимо располагать так, чтобы обеспечить равномерный прогрев и отсутствие коробления под действием собственной массы или

массы других отливок (многорядная укладка). Для отливок сложной формы, склонных к короблению, необходимо для его предотвращения предусмотреть подставки, распорные и стяжные планки и другие приспособления.

Массивные отливки и отливки сложной формы имеют высокий уровень внутренних напряжений перед термообработкой. Поэтому важно продумать и способ нагрева их под термообработку, обеспечивающий сохранение целостности и отсутствие трещин. Сравнительно простые отливки из углеродистых и низколегированных сталей можно загружать в предварительно нагретую до заданной температуры печь. Отливки сложной формы из этих сталей, а также отливки из высоколегированных сталей, обладающих низкой теплопроводностью и высоким коэффициентом линейного расширения, способствующих возникновению больших температурных перепадов в сечении, следует помещать в холодную печь и нагревать с регламентированной скоростью или подвергать ступенчатому нагреву, режимы которых следует установить, сообразуясь с формой и толщиной стенок отливки и маркой материала.

Условия охлаждения и закалочные среды выбирают в зависимости от марки стали и сложности формы отливок. Отливки не очень сложной формы из углеродистых сталей закалывают в воде, более сложной формы — в подогретой воде (30–50° С); отливки из легированных сталей колят обычно в масле, а из высоколегированных — в масле, воде или на воздухе в зависимости от структурного класса стали. Отливки из алюминиевых и магниевых сплавов закалывают в воде, подогретой до 50–80° С, во избежание их коробления и образования трещин. Более подробно требования к описанию закалки приведены в разд.7.

7. УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ

Разработка окончательной упрочняющей термической обработки деталей машин и инструментов является основным содержанием курсовой работы и включает в себя рассмотрение ряда взаимосвязанных между собой металлургических и технологических вопросов.

В начале этого раздела рекомендуется в соответствии с заданными свойствами и выбранной маркой стали четко установить требуемую микроструктуру и ее распределение по сечению и длине готового изделия, наметить термические операции и их последовательность для достижения поставленной задачи, кратко описав сущность фазовых и структурных превращений при осуществлении намеченных операций. Далее производится выбор и обоснование температурных и временных режимов каждой операции, выбор сред и способов ведения нагревов и охлаждений, выбор оборудования и приспособлений для осуществления выбранных режимов, описание видов и методов контроля изделий и технологических режимов и прочее.

Рассмотрим содержание металлургических и технологических вопросов для типовых операций упрочняющей термообработки деталей и инструментов, которые должны быть освещены в записке.

7.1. ЗАКАЛКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ

Закалка является основной операцией упрочняющей термической обработки. В результате ее сталь получает структуру с высокой прочностью и твердостью (мартенсит, реже — нижний бейнит и тростит). Ей подвергаются самые различные детали машин из конструкционных доэвтектоидных сталей и инструменты заэвтектоидных и ледебуритных сталей. Для деталей и инструментов из среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей закалка с последующим отпуском являются в большинстве случаев единственными операциями упрочняющей термической обработки.

При проектировании технологии закалки должны быть проработаны и освещены следующие вопросы.

1. Выбор температуры нагрева под закалку. Температура нагрева под закалку должна быть на $30 - 50^\circ \text{C}$ выше критических точек A_{c3} или A_{c1} соответственно для доэвтектоидной и заэвтектоидных углеродистых или малолегированных сталей. Для умеренно — и высоколегированных сталей, особенно содержащих сильные карбидообразователи, она превышает соответствующие критические точки на большую величину ($50 \div 100^\circ \text{C}$ и более). Данные о температурах нагрева под закалку приводятся в спра —

вочной литературе [1, 16]. В записке она должна быть обоснована исходя из требований получения необходимой твердости и изно- стойкости, достаточно высокой легированности аустенита и сохранения мелкого зерна. При таком обосновании температуры закалки высоколегированных инструментальных сталей следует использовать данные о зависимости теплостойкости, твердости, количества остаточного аустенита, размера зерна и других свойств от температуры закалки [7]. Выбор температур закалки малоуг- леродистых цементованных сталей рассматривается далее от- дельно.

2. Выбор способа нагрева под закалку производится исходя из предотвращения образования трещин от внутренних напря- жений. Чем крупнее деталь, выше температура ее нагрева и ниже теплопроводность стали, тем больше температурный перепад в сечении и выше величина внутренних напряжений. Склонность к образованию трещин от этих напряжений определяется исходной структурой стали перед закалкой, зависящей от химического состава стали и особенно от содержания углерода. Скорость нагрева деталей машин из мало- и среднеуглеродистых сталей не ограничивается по условию образования трещин из- за их до- статочно высокой пластичности, способствующей снятию части внутренних напряжений. Поэтому садку деталей производят в заранее разогретую до закалочной температуры печь, темпера- тура которой для них сравнительно невысока (800–900° С). Ис- ключение составляют особо крупные детали с возможными дефек- тами металлургического происхождения, которые нагревают сту- пенчато.

Для инструментов из малопластичных заэвтектоидных и ле- дебуритных сталей, особенно сложной формы, рекомендуется ступенчатый нагрев под закалку с остановками при температурах ниже закалочной для выравнивания температуры в сечении. Например, все инструменты из быстрорежущей стали проходят двухступенчатый подогрев и окончательный нагрев до закалочной температуры. Данные о числе ступеней и их температурах для различных сталей и изделий приводятся в справочной литературе [5, 7, 8, 16].

3. Выбор среды нагрева под закалку. При нагреве под закалку до высоких температур происходит химическое взаимодействие поверхности металла с окружающей средой. При этом особое значение имеют два процесса: 1) обезуглероживание стали, т.е. выгорание углерода в поверхностных слоях ($C + O_2 \rightarrow CO_2$); 2) окисление стали, т.е. образование на поверхности окислов

железа и окалины ($2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$). Интенсивность этих процессов зависит от температуры, состава стали и состава окружающей среды. В атмосфере печи, в зависимости от ее типа, рода топлива и условий его сжигания, образуются различные газы, в том числе CO_2 , CO , O_2 , H_2 , CH_4 , и пары воды H_2O . Они различно влияют на сталь: CO_2 — окисляет, O_2 — окисляет и обезуглероживает, CO и CH_4 — науглероживают и восстанавливают, H_2 — восстанавливает и обезуглероживает, NH_3 — азотирует, наличие соединений серы и паров воды резко увеличивает скорость окисления. Для получения в печи нейтральной атмосферы, в которой при данной температуре и составе стали указанные реакции протекают с одинаковой скоростью в обе стороны, необходимо иметь определенное соотношение CO_2/CO , $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$, CH_4/H_2 , что возможно лишь при нагреве в печах с контролируемой атмосферой.

При нагреве под закалку в открытой атмосфере окисление начинается с $600-650^\circ\text{C}$, а обезуглероживание — выше 700°C . При $700-1000^\circ\text{C}$ наиболее интенсивно происходит обезуглероживание, а выше 1000°C — окалинообразование, т.к. образование окисной пленки на поверхности снижает температуру нарастания скорости обезуглероживания с повышением температуры. При нагреве сталей, имеющих температуру закалки $800-900^\circ\text{C}$, глубина дефектного (обезуглероженного) слоя обычно составляет несколько сотых долей мм, а при легировании их Si, Al и Cr может достигать до $0,2-0,3$ мм при 900°C . В индивидуальном и серийном производстве дефектные слои такой толщины удаляют последующим шлифованием, а на поверхностях с пониженным классом точности и чистоты обработки — пескоструйной и дробеструйной обработкой [8,16]. При затрудненной окончательной обработке таких поверхностей (точные резьбы, малодоступные участки поверхности и пр.) принимается минимальный припуск на ее обработку, либо защитная атмосфера печи (массовое и крупносерийное производство).

При нагреве в открытой атмосфере деталей и инструментов, имеющих высокие температуры закалки (более 1000°C), глубина

дефектного (окисленного и обезуглероженного) слоя колеблется от 0,5 до 2–3 мм в зависимости от состава стали, температуры нагрева и продолжительности выдержки. Это приводит к резкому снижению твердости и предела выносливости. Сошлифовывание такого глубокого слоя экономически нецелесообразно. Поэтому нагрев под высокотемпературную закалку рекомендуется производить в печах с контролируемой (защитной) атмосферой, которая готовится в отдельной установке и подается в рабочее пространство печи. К ним относятся эндотермические и экзотермические атмосферы, получаемые неполным сжиганием метана CH_4 (природного газа), а также диссоциированный аммиак NH_3 . В ряде случаев применяют нейтральные среды — технические азот, аргон и водород. Более подробное описание этих сред приводится в учебнике [10] и справочнике [16].

Резущие и штамповые инструменты, а также некоторые детали машин небольших размеров нагревают под закалку в печах — ваннах в расплаве солей, состав которых приводится в табл. П.1.10 (см. прил. 1). Они сравнительно дешевы, обеспечивают быстрый нагрев на последней ступени, сохраняя мелкое зерно, уменьшают коробление и хорошо защищают от окисления и обезуглероживания.

Ответственные изделия из нержавеющей и особенно жаропрочных сталей и сплавов нагревают под закалку в вакуумных печах [16, 21].

4. Выбор нагревательных устройств и размещение (укладка) в них изделий производится с учетом п. 1, 2 и 3. Нагрев под закалку большинства деталей машин и крупных инструментов производится в камерных электропечах периодического действия с окислительной или защитной атмосферой типа СНО или СШЗ, а также в универсальных газовых печах конструкции НИАТ. Длинномерные детали под закалку нагревают в шахтных электропечах широкого назначения типа СШО и СШЗ. Сведения об этих печах периодического действия приводятся в табл. П1.1 — П1.3 и справочниках [16, 21]. Для нагрева особо крупных деталей (роторы турбин, валки прокатных станков и т.п.) используются газовые печи с выдвижным подом [16,21]. Размеры рабочего пространства печей выбирают по максимальным размерам изделий, обрабатываемых в цехе, или с учетом нагрева под закалку достаточно крупной партии (садки) менее габаритных деталей. Размещение деталей в печи должно быть таким, чтобы обеспечить свободное омывание всех деталей атмосферой печи и отсутствие экраниро —

вания одних деталей другими. Крупные детали размещают обычно на поду печи, а мелкие — в связке или на поддонах (противнях). Детали сложной формы с малой жесткостью во избежание коробления под собственным весом нагревают с использованием различных приспособлений (подставки, стяжки, распорки и т.п.), а длинномерные тонкие детали в шахтных печах размещают в подвешенном состоянии. При нагреве инструментов в соляных ваннах их подвешивают в специальных приспособлениях. Схемы конструкции некоторых приспособлений для нагрева под закалку приведены на рис. П 2.1. Схему печи и размещения в них деталей следует привести в записке.

5. Общая продолжительность нагрева под закалку ($\tau_{\text{общ}}$)

состоит из продолжительности сквозного прогрева ($\tau_{\text{с.п}}$) до заданной температуры и из продолжительности изотермической выдержки ($\tau_{\text{и.в}}$) при данной температуре, которая необходима для завершения фазовых превращений. $\tau_{\text{с.п}}$ зависит от температуры и способа нагрева, размера и формы деталей, их размещения, типа печи, состава и теплофизических свойств стали. $\tau_{\text{и.в}}$ определяется только составом и исходным состоянием стали и составляет 1–2 мин для углеродистых и легированных конструкционных сталей. При нагреве под закалку достаточно крупных деталей (толщиной более 5 мм) до 800–850° С значением $\tau_{\text{и.в}}$ пренебрегают, тогда как при нагреве на низкий отпуск значение $\tau_{\text{и.в}}$ соизмеримо со значением $\tau_{\text{с.п}}$ и им пренебрегать нельзя.

Расчет продолжительности нагрева выполняют по различным методикам [9, 10, 15]. При самой грубой оценке при нагреве до 800–850° С принимают следующие скорости нагрева на 1 мм сечения детали: в электропечи 1,5–2 мин, в газопламенной печи — около 1 мин, в соляной ванне — около 0,5 мин.

Более точный расчет общей длительности выдержки при непрерывном (одноступенчатом) нагреве под различные операции термообработки производится по условной толщине детали, определяемой как произведение минимальной фактической толщины в наиболее толстом сечении и коэффициента формы детали, с учетом способа укладки деталей в печи, вида нагревающей среды и температуры нагрева. Эти данные приводятся в табл. П 2.1 – П 2.3 и применимы к конструкционным сталям. Для инструментальных

легированных сталей (за исключением быстрорежущих) эти нормы увеличиваются ориентировочно на 15–20%.

Нормы времени нагрева, в том числе ступенчатого, для инструментов приводятся в табл. П 1.4–П 1.6, а также в справочной литературе [8].

6. Охлаждение при закалке является наиболее ответственной и сложной операцией термической обработки. При закалке недопустимо превращение аустенита в перлит или выделение избыточных карбидов и, как правило, стремятся получить наибольшую закаливаемость и прокаливаемость на мартенсит. Это требует применения высоких скоростей охлаждения. Однако высокие скорости охлаждения вызывают большие градиенты температур, неодновременность протекания в сечении превращения аустенита в структуру мартенсита с большим удельным объемом, что ведет к образованию больших температурных и структурных внутренних напряжений и деформаций, которые могут вызвать искажение формы (поводку, коробление) и даже образование трещин и разрушение детали. Прокаливаемость зависит не только от скорости охлаждения (охлаждающей среды), но и от уровня и характера легирования и размера сечения детали. Трещины образуются в конце закалочного охлаждения при прохождении мартенситного превращения. Склонность к их образованию возрастает с увеличением содержания углерода в стали, так как при этом увеличиваются объемные изменения при переходе аустенита в мартенсит, и он становится все более хрупким. Не меньшее влияние на склонность к образованию трещин оказывает усложнение формы деталей и инструментов — наличие резьбы, сверлений, выточек, перепадов сечений и т.п. К короблению наиболее склонны длинномерные детали малой жесткости с переменными по длине сечениями.

Выбор охлаждающих сред, способов и режимов охлаждения производится с учетом указанных положений, марки стали, размеров и формы изделий и требований к нему по глубине прокаливания, распределения твердости по длине и сечению, точности геометрических размеров. Важнейшим документом при этом выборе является диаграмма распада переохлажденного аустенита данной стали [12], а также справочные данные об охлаждающей способности различных сред [9, 10]. Детали сравнительно простой формы обычно подвергают непрерывной закалке в воде с температурой 20–30° С (углеродистые стали) или в масле с темпера-

турой 30–60° С (легированные стали). При закалке в масле применяют масло индустриальное И12А, И20А, И50А, И30А (ГОСТ 20799–75), или трансформаторное (ГОСТ 982–80). Допускается смесь этих масел. Один раз в три месяца контролируют содержание воды (< 0,1%), механических примесей (< 0,15%), кинетическую вязкость при 50° С (33 сантистокса). Для светлой закалки коррозионно – стойких сталей используют вакуумные насосные масла ВМ – 1 или ВМ 4 (ГОСТ 23013–78). При закалке сложных по форме деталей во избежание трещинообразования и сильного коробления следует использовать прерывистую закалку в двух средах или закалку с многократным кратковременным погружением в охлаждающую среду (крупные детали и некоторые штамповые инструменты) и ступенчатую закалку с промежуточной изотермической выдержкой в расплавах селитр и щелочей с температурами 200–300° С, 400–500° С или расплаве солей с температурой 600–650° С в зависимости от вида диаграммы распада аустенита (детали машин, штампов и режущие инструменты сечением до 20–40 мм, имеющие сложную форму – острые надрезы, выточки, резьбу, пазы, канавки и т.п.). При требуемой твердости $HRC_3 = 47 \div 52$ вместо закалки на мартенсит и отпуска на эту твердость для ряда деталей используют закалку на нижний бейнит (без отпуска), которая технологически сходна со ступенчатой закалкой на мартенсит. Составы ванн с горячими закалочными средами приводятся в табл. П 1.10.

Уменьшению трещинообразования способствует также подсуживание на воздухе до 800–900° С, рекомендуемое при закалке инструментов, имеющих высокие температуры нагрева. С этой же целью необходимо стремиться к более равномерному охлаждению, не допуская погружения деталей в закалочную среду "плашмя" и перемещая их относительно воды и масла. При закалке труднодоступных поверхностей с застойными участками (отверстия небольшого размера во втулках, матрицах, волоках и т.п.) следует предусмотреть искусственную направленную циркуляцию охладителя или струйчатую подачу воды через отверстие детали с установкой ее в специальное приспособление. Весьма перспективным при закалке сложных и крупных деталей является регулируемое водо – воздушное охлаждение через систему мелких отверстий форсунки. При переменной твердости по длине

детали или инструмента их погружают в жидкость частично или постепенно, а в инструментах с приварными хвостовиками из других марок стали закаливают порознь режущую часть и хвостовик.

Для снижения коробления сложных по форме или высоко-точных деталей и инструментов (шестерни дифференциала автомобиля, валы-шестерни и пр.) при закалке используют так называемые закалочные штампы и специальные приспособления, в которых охлаждаемое изделие находится в фиксированном состоянии. В ряде случаев (длинные детали малой жесткости) допускается правка покоробленных деталей на прессе, которую следует производить в горячем (не полностью охлажденном) состоянии. Указанные приемы и особенности закалочного охлаждения более подробно описаны в книге [10] и других источниках [8, 15, 16] на примере типовых деталей.

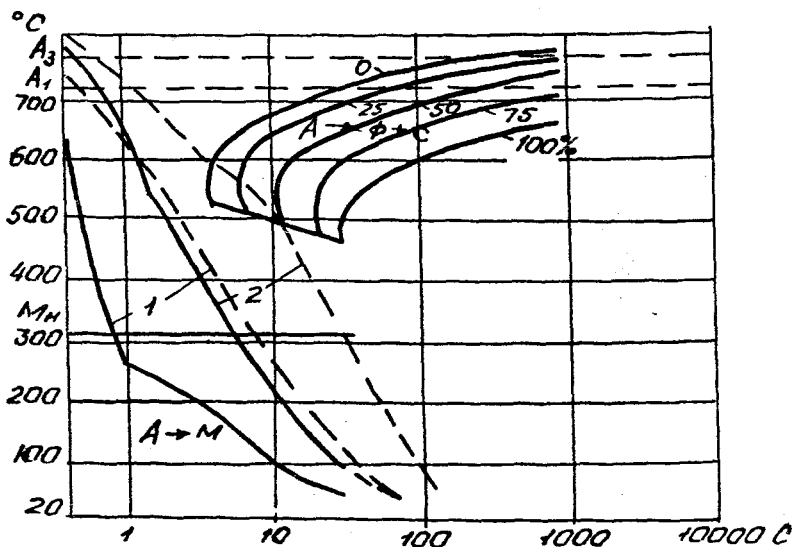


Рис. 11. Кривые охлаждения поверхности (1) и оси (2) вала диаметром 30 мм, наложенные на термокинетическую диаграмму распада аустенита в стали 40Н:
 --- непрерывная закалка в масле;
 — прерывистая закалка сначала в воде, затем в масле

В записке выбор способов и режимов охлаждения должен быть соответствующим образом обоснован и хотя бы схематично

иллюстрирован наложением кривых охлаждения поверхности и сердцевины на термокинетическую или изотермическую диаграмму данной или близкой по составу типовой стали (рис. 11, 12). При этом кривая охлаждения поверхности от температуры закалики до 100°C может быть приближенно построена по известной скорости охлаждения в данной среде [10], а сердцевины — косвенно по соотношению действительного диаметра (толщины) детали и критического диаметра сечения, закаливаемого насквозь на мартенсит в данной среде. При сквозной прокаливаемости данной детали (рис. 11, сплошные линии) кривая охлаждения сердцевины не пересекает С-образных кривых, а при несквозной — пересекает эти кривые (рис. 11, пунктирные линии).

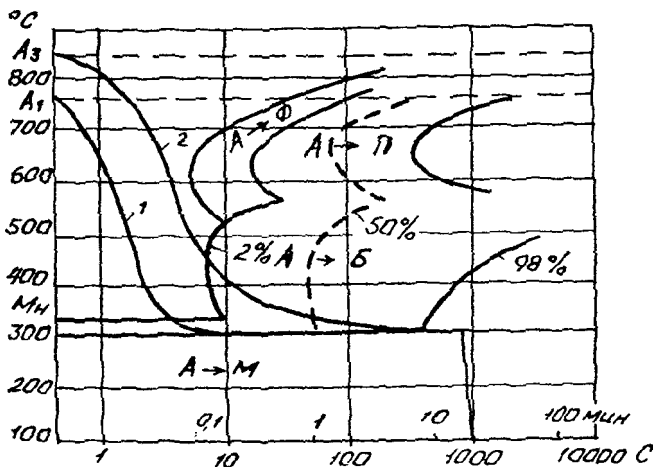


Рис. 12. Кривые охлаждения болта М22, наложенные на диаграмму изотермического превращения аустенита в стали 30ХГСА при изотермической закалке в селитровой ванне 300°C : 1 — поверхность; 2 — ось

При необходимости следует также привести схематические рисунки используемых при закалке приспособлений и приемов ее выполнения. Обязательно надо указать структурные составляющие закаленной стали и зарисовать ее структуру.

7. **Обработка холодом** производится для некоторых инструментов и деталей при $-50 \dots -80^{\circ}\text{C}$ с целью повышения их

твердости и сохранения стабильности размеров в эксплуатации за счет перевода остаточного аустенита после закалки в мартенсит. Ее производят только при значительном количестве остаточного аустенита (более 20%) и если последующий отпуск производится ниже температурного интервала его превращения. В записке обосновывается необходимость использования обработки холодом для данной стали и сущность процесса, указываются ее режимы (температура, время выдержки и допустимое время разрыва между закалкой и данной обработкой), а также оборудование [16].

8. **Отпуск** производится не позднее 16 часов после закалки, а для высокопрочных сталей — 2–12 часов. Время между изотермической закалкой и отпуском — не регламентируется. Время разрыва между закалкой и обработкой холодом не должно превышать трех часов, а для хромистых и коррозионно-стойких сталей — одного часа.

9. Требования по технике безопасности при термообработке в соответствии с ГОСТ 12.3–004–75:

а) перед закалкой поверхность детали должна быть без ржавчины, следов масла и алюминия. Медь допускают, если температура окончательного нагрева $< 1000^{\circ}\text{C}$;

б) в соляную ванну загружают только сухие детали, без следов Al, краски, графита, масел, смазки, ржавчины;

в) при термообработке в вакууме детали должны быть тщательно очищены, промыты, обезжирены.

7.2. ОТПУСК ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ

Отпуск подавляющего большинства закаленных деталей машин и инструментов является завершающей операцией упрочняющей термической обработки, окончательно формирующей их структуру и свойства (прочность, вязкость, твердость, износостойкость, теплостойкость, уровень остаточных напряжений, размерную и структурную стабильность и пр.). При разработке отпуска следует рассмотреть следующие металловедческие и технологические вопросы.

1. **Выбор температурного режима отпуска.** Для обоснования режима отпуска вначале необходимо четко сформулировать его назначение и рассмотреть сущность фазовых превращений в

предполагаемом районе температур с учетом влияния легирования на формирование структуры и свойств данной группы и марки стали.

Выбор конкретной температуры отпуска деталей из конструкционных сталей производится по величине заданных механических свойств $\sigma_{0,2}$ и KCU или твердости HRC_3 . Для этого строится график зависимости этих свойств от температуры отпуска по справочным данным [1,7] и по заданному уровню свойства или группы свойств определяется температурный интервал отпуска (рис. 13). Такой способ, строго говоря, применим для небольших деталей со сквозной прокаливаемостью. Для крупных деталей при построении такого графика следовало бы учесть еще и влияние несквозной прокаливаемости и масштабного фактора, что не всегда осуществимо из-за большого разброса справочных данных или отсутствия таковых. Поэтому более точные сведения о свойствах для крупных деталей из малопркаливаемых сталей в зависимости от режимов закалки и отпуска следует искать в литературе, где рассмотрена термообработка типовых деталей [1, 8]. Желательно, чтобы оценка свойств после отпуска производилась не только по твердости, но и по ударной вязкости, так как ряд конструкционных сталей (особенно типа ХГС, ХС) при отпуске 250 – 450°С имеют пониженное ее значение из-за отпускной хрупкости. Поэтому для

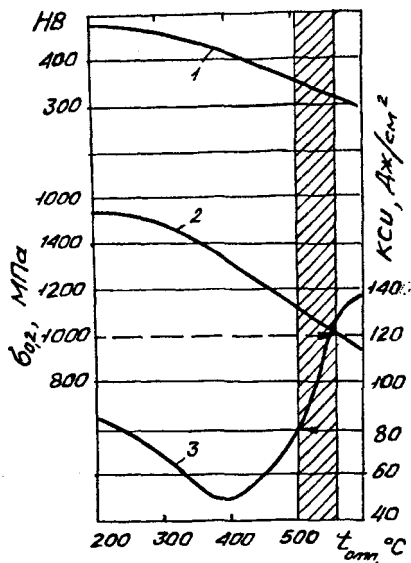


Рис. 13. Выбор температурного интервала отпуска болтов М22 из стали 30ХГСА на $\sigma_{0,2} = 1000$ МПа и $KCU \geq 80$ кДж/см²: 1 — твердость $HВ$; 2 — предел текучести $\sigma_{0,2}$; 3 — ударная вязкость KCU

деталей из этих сталей следует повысить температуру отпуска с некоторым снижением заданной твердости или принять альтернативный вариант — изотермическую закалку на нижний бейнит (без отпуска).

Более сложные режимы отпуска инструментов из высоколегированных сталей. Так, в зависимости от условий работы и конструкции инструменты из износостойкой стали типа X12M могут подвергаться термообработке на максимальную первоначальную твердость, на вторичную твердость и на тепловую доводку размеров, режимы закалки и особенно отпуска которых весьма существенно различаются [9, 8].

Инструменты из быстрорежущих сталей для распада остаточного аустенита и протекания дисперсионного твердения, сопровождающихся одновременным повышением теплостойкости, вязкости и прочности на изгиб, обычно подвергают двух- или даже четырехкратному отпуску с большой длительностью выдержки при каждом из них (одинаковым по температуре). Однако возмо-

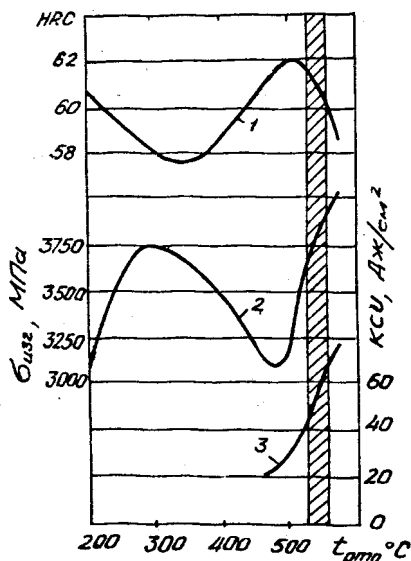


Рис. 14. Схема выбора температуры отпуска стали 8Х4В2С2МФ: 1 — твердость HRC; 2 — предел прочности на изгиб $\sigma_{из}$; 3 — ударная вязкость КСУ

жен и даже перспективен вариант отпуска их при повышенных температурах со значительно укороченными выдержками и сокращением кратности (числа отпусков) или замена одного — двух отпусков обработкой холодом [8, с. 402].

Дисперсионно — твердеющие стали для инструментов холодного деформирования типа 8Х4В2С2МФ, 6Х6В3МФС и др. отпускают также многократно, но с использованием режима перестраивания, обеспечивающего существенное повышение прочности на изгиб и ударной вязкости при незначительном снижении твердости на 1 — 2 HRC₃ (рис. 14)

[8, с.372—373]. Для штамповых сталей высокой теплостойкости (3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ, 2Х6В8М2К8 и др.) с целью комплексного упрочнения границ зерен и внутренних объемов зерна различными карбидными и интерметаллидными фазами, температуры первого и последующего отпусков могут существенно отличаться [8, 22]. Для крупных инструментов сложной формы из этих и им подобных сталей первый отпуск производят ступенчато с температурной остановкой при пониженных температурах для предотвращения трещинообразования. Крепежные части (хвостовики) молотовых штампов и некоторых сменных инструментов для повышения ударной вязкости подвергают дополнительно отпуску при более высоких температурах по сравнению с температурой основного отпуска гравюры.

Конкретные режимы отпуска различных инструментов при введены в методической разработке [5] и вышеуказанных источниках.

2. Выбор сред и оборудования для отпуска в принципе производится так же, как и при нагреве под закалку. Однако более низкие температуры нагрева на отпуск значительно упрощают эту задачу. При нагреве на отпуск в открытой атмосфере происходит окисление в тонком слое, но окалина, как правило, не образуется и выгорания углерода практически не происходит. Глубина дефектного слоя при самом высоком отпуске не превосходит сотых долей миллиметра, который может быть удален шлифовкой или дробеструйной обработкой. Поэтому отпуск деталей из конструкционных сталей и инструментов из углеродистых и малолегированных инструментальных сталей можно производить в газовых или электрических камерных печах с окислительной атмосферой. Исключение составляют инструменты из быстрорежущей стали и штампы из высоколегированных сталей, содержащих кремний и молибден, которые при нагреве выше 500°C могут обезуглероживаться. Для них отпуск рекомендуется проводить в контролируемой (защитной) атмосфере или расплавах солей (см. табл. П1.10). Ванны с солями, селитрами и щелочами иногда используют и при низком отпуске, но по другой причине — с целью ускорения нагрева по сравнению с нагревом в электропечах. Сведения об оборудовании приведены в табл. П1.2—П1.3, П1.8, П1.9.

3. Общая продолжительность отпуска, как и нагрева под закалку, состоит из времени прогрева детали до заданной темпе —

ратуры отпуска и времени выдержки, необходимого для завершения (в основном) фазовых превращений при отпуске. Первая составляющая при нагреве в газовых средах зависит не только от размера сечения детали, но и от температуры. Чем ниже температура среды (отпуска), тем длительнее нагрев, так как он за счет лучеиспускания резко ослабевает и происходит за счет менее эффективного конвективного теплообмена. С понижением температуры отпуска не в меньшей степени возрастает и время на протекание фазовых превращений из-за замедления диффузионных процессов. Нагрев до температуры отпуска в жидких средах (расплавы солей, селитр и щелочей, горячее масло и т.п.) протекает значительно быстрее.

Общая продолжительность отпуска при нагреве в газовых и электрических печах деталей из конструкционных сталей приводится в табл. П2.1, а в расплавах селитр и щелочей ориентировочно указана в примечании к этой таблице. Продолжительность отпуска (или нормативы для ее расчета) инструментов из легированных сталей, имеющих довольно сложные фазовые превращения при отпуске, приводится в комплексе с температурными режимами отпуска для ряда типовых инструментов и групп сталей в источниках [8, 16]. Некоторые данные на этот счет приводятся в табл. П2.4 – П2.6.

4. Охлаждение от температуры отпуска до комнатной в большинстве случаев производится на воздухе без регламентации скорости охлаждения, так как основные фазовые превращения и формирование окончательной микроструктуры происходит во время выдержки при отпуске. Исключение составляют детали из сталей, подверженных обратимой отпускной хрупкости II рода (стали, легированные хромом и марганцем, хромом и никелем, не содержащие молибдена), проявляющейся при медленном охлаждении с температур отпуска 500–600° С. Их рекомендуется охлаждать в воде или масле. Во избежание образования больших остаточных напряжений с температур отпуска выше 500° С особо крупные детали (роторы турбин, прокатные валки и т.п.) рекомендуется охлаждать замедленно вместе с печью до 150–200° С и лишь затем для окончательного охлаждения выгружать их на воздух [23].

В заключительной части рассмотрения упрочняющей термической обработки (закалка и отпуск) следует привести:

- схематизированный режим термической обработки детали (графики),
- наиболее важные для данной детали или инструмента механические свойства,
- дать зарисовку и описать окончательную микроструктуру стали.

Пример схемы режимов закалки и отпуска матрицы штампокривошипного пресса для выдавливания стальных деталей сложной формы приводится на рис.15.

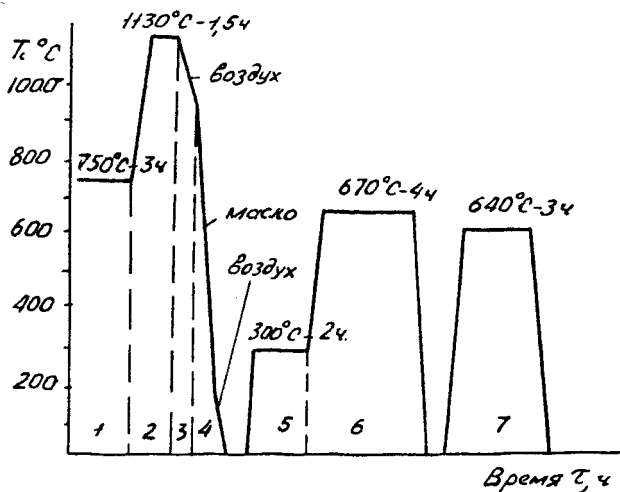


Рис. 15. Схема режимов упрочняющей термической обработки матрицы горячего прессования $\varnothing 200$, $l = 120$ мм из стали 5ХЗВЗМФС: 1 — предварительный подогрев; 2 — окончательный нагрев под закалку и выдержка; 3 — подстуживание; 4 — прерывистая закалка; 5 — предварительный отпуск; 6 — первый отпуск; 7 — повторный отпуск

7.3. ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА ДЕТАЛЕЙ

При поверхностной закалке на некоторую глубину закаливается только поверхностный слой, а сердцевина остается незакаленной. Основное назначение — повышение твердости, износостойкости и предела выносливости изделия. Сердцевина его остается вязкой и воспринимает ударные нагрузки. Поверхностной

закалке подвергаются многие детали машин из среднеуглеродистых нелегированных и реже малолегированных сталей (валы, шестерни, плунжеры, вилки и т.п.). Для таких деталей отдельно задаются свойства сердцевины, поверхностная твердость и глубина упрочненного слоя.

В серийном и массовом производстве наиболее часто применяют поверхностную закалку с индукционным нагревом током высокой частоты (ТВЧ). Реже, в основном для крупных деталей при мелкосерийном или индивидуальном производстве, применяют поверхностную газопламенную закалку.

Индукционный поверхностный нагрев деталей под закалку производится в индукторах токами высокой частоты машинными или ламповыми генераторами (преобразователями частоты) за весьма короткое время (2 – 200 с). Закалочное охлаждение нагреваемой поверхности осуществляется подачей воды под давлением 0,2 – 0,5 МПа (2 – 5 атм) через мелкие ($\varnothing 1,5 - 2,5$ мм) отверстия душевого (спрейерного) устройства, смонтированного за одно целое с индуктором, или быстрым переносом нагретой детали в закалочный бак с водой или водно – масляной эмульсией.

Перед разработкой технологии поверхностной закалки за данной детали необходимо изучить физические основы и основные закономерности индукционного нагрева. Особое внимание следует обратить на особенности фазовых превращений при быстром индукционном нагреве без выдержек, обуславливающим повышенные температуры нагрева под закалку, сохранение мелкого зерна при исходной нормализованной структуре, пониженную устойчивость переохлажденного неомогенного аустенита при закалке, повышенную твердость закаленного слоя и наличие в нем благоприятных сжимающих остаточных напряжений. Эти вопросы рассматриваются в учебной литературе [8 – 10] и должны быть кратко изложены в записке. После этого разрабатываются следующие технологические вопросы.

1. Выбор способа поверхностной закалки и характера индукционного нагрева. В зависимости от размера и формы упрочняемых на детали поверхностей применяют одновременную, последовательную и непрерывно – последовательную закалки. Одновременный нагрев и охлаждение всей поверхности применяют для деталей, имеющих небольшую площадь упрочняемой поверхности, как описано выше. Последовательный нагрев и охлаждение отдельных участков используют при закалке шеек коленчатых

валов (закалка одной шейки за другой), зубчатых колес с модулем более 6 мм (закалка "зуб за зубом"), кулачков распределительных валов и других деталей со сложной геометрией расположения закаливаемых поверхностей. Непрерывно – последовательную закалку применяют для длинных валов, осей и других подобных деталей. При таком способе деталь, медленно вращаясь, перемещается относительно неподвижных индуктора и охлаждающего устройства (или наоборот). Такой метод по сравнению с первым не требует большой мощности генератора.

Характер индукционного нагрева (вид закалки) определяется соотношением глубины прогрева выше критической точки A_3 (x_k) к глубине прокаливаемости (h). От него зависят качество термообработки и режимы нагрева. При поверхностном индукционном нагреве $x_k = h$ весь нагретый слой после закалки приобретает мартенситную структуру, а глубинные слои и сердцевина сохраняют исходную структуру, полученную при предварительной термообработке (нормализация, реже улучшение (закалка + высокий отпуск)). На границе закаленного слоя с неупрочненной частью наблюдается резкий скачок в изменении твердости и других свойств, что неблагоприятно сказывается на эксплуатационной стойкости. Для осуществления такого нагрева требуется весьма малое время (2–20 с), но повышенная удельная мощность $p_0 = 0,5 \div 2$ кВт/см².

При глубинном индукционном нагреве (объемно – поверхностная закалка) на мартенсит закаливается слой толщиной в два и более раз меньший, чем глубина прогрева выше точки A_3 , поэтому в зоне от h до x_k аустенит превращается в тростит или сорбит. В этом случае за один цикл достигается сочетание упрочненного поверхностного слоя с высокой твердостью ($HRC \geq 60$) при одновременном упрочнении глубинных слоев на $HRC = 30 \div 45$. Это ведет к возникновению сжимающих напряжений на поверхности, повышению усталостной и контактной прочности. При этом увеличивается время нагрева (20–200 °С), но уменьшается потребная удельная мощность (0,1–0,2 кВт/см²).

Общая глубина закаленного слоя x_k зависит от размера детали и условий ее нагружения. При работе только на износ или усталость ее принимают небольшой (1–2 мм), а при больших контактных нагрузках и возможной перешлифовке — толще (3–

5 мм), но площадь сечения закаляемого слоя не должна превосходить 20% площади всего сечения. Для зубчатых колес оптимальная толщина слоя составляет 0,2–0,28 от их модуля. Глубина закаленного слоя указывается в задании или выбирается самостоятельно по приведенным нормам. При выбранном значении x_k и примерно одинаковой глубине прокаливаемости среднеуглеродистых сталей h по соотношению x_k/h нагрев может оказаться поверхностным или глубинным. Для реализации объемно-поверхностной закалки, как более качественной, в ряде случаев применяют стали с регламентированной или с пониженной прокаливаемостью. Примером последней является сталь 58(55ГП).

2. Назначение режимов закалки и выбор оборудования. К числу термических параметров режима поверхностной закалки относятся конечная температура нагрева и продолжительность нагрева (скорость нагрева выше точки A_3), определяющих условия протекания превращения перлита и феррита в аустенит, размер зерна, степень гомогенности и устойчивости его при закалке. При заданной глубине прогрева, характере нагрева конечные температуры нагрева некоторых марок сталей приведены в табл. 3. Ее можно выбрать и по скорости нагрева выше A_3 [9]. Однако из-за технической сложности температуру нагрева под закалку проконтролировать надежно не удается. Поэтому фактически оценка качества термообработки производится по твердости и микроструктуре закаленного слоя, в частности по размеру зерна, которое должно быть не крупнее 10-го балла стандартной шкалы. Более крупное зерно указывает на перегрев.

Основными электрическими параметрами режима являются частота колебательного контура f , удельная мощность f_0 и продолжительность нагрева τ .

Частота тока f зависит от требуемой глубины прогрева выше критических точек x_k : чем она меньше, тем выше частота. Рекомендуемые частоты для закалочного индукционного нагрева на заданную глубину приводятся в табл. 4, 5. По рекомендуемому диапазону частот выбирается тип и стандартная частота преобразователя. В стране выпускаются стандартные машинные преобразователи повышенной (средней) частоты типов ВПЧ с частотами 2, 4 и 8 кГц и ОПЧ с частотами 1; 2, 4 и 10 кГц, ламповые преобразователи радиочастот 66 и 440 кГц. Осваиваются статические (тиристорные) преобразователи средних частот.

Т а б л и ц а 3

Температуры нагрева некоторых марок стали при поверхностной закалке /16/

Марка стали	Предварительная термическая обработка	Температура печного нагрева, °С	Температура, °С при суммарном времени аустенизации, с		
			10	3	1
45	Отжиг	810-830	850-870	870-910	910-950
50	Нормализация	810-830	830-850	850-890	890-930
	Улучшение		810-830	830-870	870-910
35Г	Нормализация	840-860	880-920	910-960	950-980
	Улучшение		860-890	880-940	920-980
45Г2	Нормализация	820-840	840-860	860-890	900-940
50Г	Улучшение	820-840	800-820	820-850	850-900
45Х	Нормализация	830-850	880-920	920-960	940-980
40ХНМ	Улучшение	830-850	840-860	860-900	880-920
40ХН	Нормализация	810-830	860-880	900-940	920-960
45ХН	Улучшение	810-830	820-840	840-880	860-900
35ХГС	Нормализация	880-900	920-940	940-980	960-1000
40ХС	Улучшение	880-900	880-900	920-960	940-980
ШХ15	Отжиг	830-850	890-930	920-960	950-1000
	Улучшение		850-870	880-920	920-960

Т а б л и ц а 4

Частоты тока, рекомендуемые для индукционного закалочного нагрева на заданную глубину [16]

Параметры	Глубина закаленного слоя, мм						
	1	1,5	2	3	4	6	10
Частота тока, Гц наибольшая наименьшая	250000	100000	60000	30000	15000	8000	2500
	15000	7000	4000	1500	1000	500	150
Тип генератора и рекомендуемая частота, Гц	ламповый или 440000	ламповый или машинный			машинный		
		10000 или 66000	8000 или 10000	8000 или 10000	2500	2500 или 1000	500

Т а б л и ц а 5

Выбор частоты тока в зависимости от диаметра изделий и требуемой толщины закаленного слоя

Частота тока, Гц	Рациональные пределы глубины нагрева, мм	Минимальные диаметры изделий при нагреве под закалку, мм	
		Наименьший возможный	Наименьший желательный
50	15-80	100	200
1 000	3-17	22	44
2 400	2-11	14	28
4 000	1,5-9	11	22
8 000	1-6	8	16
10 000	0,9-5,5	7	14
70 000	0,3-2,5	2,7	5,4
400 000	0,2-1,0	1,1	2,2

П р и м е ч а н и е : Нагрев под закалку шестерен с модулем зуба $m < 3,5 \div 4$ мм производится на радиочастотах, а при $m > 4$ мм — на средних частотах (2,5–10 кГц). Крупномодульные шестерни ($m > 7$ мм) закалывают зуб за зубом по впадинам при тех же частотах

Ориентировочные значения удельной мощности p_0 и продолжительности нагрева τ в зависимости от необходимой глубины нагрева x_k для ряда частот приведены на рис.16, 17, 18.

В графиках на рис.16 учитывается влияние диаметра детали, а в графиках на рис.18 температура нагрева поверхности. По графику на рис.17 подбирается p_0 для мелких деталей.

Потребная мощность генератора оценивается по формуле

$$N_r = \frac{p_0 S}{\eta},$$

где p_0 — удельная мощность в кВт/см², S — одновременно нагреваемая площадь поверхности в см², η — к. п. д. индуктора, трансформатора, конденсаторных батарей и токопроводов. Значения $\eta = 0,5$ — для ламповых генераторов, $\eta = 0,7$ — для машинных преобразователей. Значения S зависят от конфигурации нагреваемой поверхности, например для цилиндрического участка вала $S = \pi D_v$, для шестерни $S \approx 7,5 D_{ср} b$, где b — ширина участка вала или ширина венца шестерни. Согласование расчетной мощности генератора N_r с мощностью серийно выпускаемых

преобразователей производится по табл. П1.11, П1.16, а ранее выпускавшихся и до сих пор широко применяемых на заводах — по табл. П1.14 — П1.15. Одновременно с генераторами выбираются и установки для высокочастотной закалки. Технические характеристики некоторых из них (универсальных) приведены в табл. П1.12 — П1.16. Если потребная расчетная мощность преобразователя значительно превосходит максимальную из серийно выпускаемых, то следует либо заменить одновременную закалку на непрерывно — последовательную, уменьшив значение S , либо снизить удельную мощность P_0 за счет увеличения глубины прогрева

x_k , либо выбрать преобразователи большей мощности, поставляемые по специальному заказу и не включенные в таблицы: $f = 2,4$ кГц; $N_r = 250$ и 500 кВт; $f = 1$ кГц, $N_r = 250, 500$ и 2500 кВт.

После проведенных согласований в записке указывается тип и марка выбранной установки, тип и мощность преобразователя (генератора), их краткая техническая характеристика и уточненные электрические режимы нагрева (x_k, P_0, τ). Описывается также распределение структуры по глубине слоя.

3. Выбор типа индуктора и охлаждающего устройства. В задачу курсовой работы не входит разработка конструкции и электрический расчет индуктора, но должна быть выбрана его принципиальная схема. Наиболее просты и распространены одно- и многовитковые кольцевые индукторы для нагрева внешних и внутренних цилиндрических поверхностей, шестерен модулем до 6 мм. Они представляют собой спиральные катушки из полых круглого или прямоугольного сечения медных трубок, по внутренней поверхности которых пропускается вода для охлаждения индуктора. Зазор между нагреваемой поверхностью и индуктором должен быть минимальным (2–3 мм). Охлаждающее устройство (спрейер) для подачи закалочной жидкости на нагретую поверхность детали выполняется вместе с индуктором. В некоторых случаях закалочное охлаждение производится в отдельном баке. Разнообразные конструкции индукторов приводятся на рис. П2.1.

При выборе режимов, оборудования и технологии закалки ТВЧ сложных по форме деталей (крупномодульные шестерни, коленчатые валы, полуоси автомобиля, распределительные валики и пр.) следует ориентироваться на образцы — представители, описанные в учебнике [8] и других источниках.

Т а б л и ц а 5

Выбор частоты тока в зависимости от диаметра изделий и требуемой толщины закаленного слоя

Частота тока, Гц	Рациональные пределы глубин нагрева, мм	Минимальные диаметры изделий при нагреве под закалку, мм	
		Наименьший возможный	Наименьший желательный
50	15-80	100	200
1 000	3-17	22	44
2 400	2-11	14	28
4 000	1,5-9	11	22
8 000	1-6	8	16
10 000	0,9-5,5	7	14
70 000	0,3-2,5	2,7	5,4
400 000	0,2-1,0	1,1	2,2

П р и м е ч а н и е : Нагрев под закалку шестерен с модулем зуба $m < 3,5 \div 4$ мм производится на радиочастотах, а при $m > 4$ мм — на средних частотах (2,5—10 кГц). Крупномодульные шестерни ($m > 7$ мм) закаляют зуб за зубом по впадинам при тех же частотах

Ориентировочные значения удельной мощности p_0 и продолжительности нагрева τ в зависимости от необходимой глубины нагрева x_k для ряда частот приведены на рис.16, 17, 18.

В графиках на рис.16 учитывается влияние диаметра детали, а в графиках на рис.18 температура нагрева поверхности. По графику на рис.17 подбирается p_0 для мелких деталей.

Потребная мощность генератора оценивается по формуле

$$N_r = \frac{p_0 S}{\eta},$$

где p_0 — удельная мощность в кВт/см², S — одновременно нагреваемая площадь поверхности в см², η — к. п. д. индуктора, трансформатора, конденсаторных батарей и токопроводов. Значения $\eta = 0,5$ — для ламповых генераторов, $\eta = 0,7$ — для машинных преобразователей. Значения S зависят от конфигурации нагреваемой поверхности, например для цилиндрического участка вала $S = \pi D v$, для шестерни $S \approx 7,5 D_{cp} v$, где v — ширина участка вала или ширина венца шестерни. Согласование расчетной мощности генератора N_r с мощностью серийно выпускаемых

преобразователей производится по табл. П1.11, П1.16, а ранее выпускавшихся и до сих пор широко применяемых на заводах — по табл. П1.14—П1.15. Одновременно с генераторами выбираются и установки для высокочастотной закалки. Технические характеристики некоторых из них (универсальных) приведены в табл. П1.12—П1.16. Если потребная расчетная мощность преобразователя значительно превосходит максимальную из серийно выпускаемых, то следует либо заменить одновременную закалку на непрерывно — последовательную, уменьшив значение S , либо снизить удельную мощность P_0 за счет увеличения глубины прогрева

x_k , либо выбрать преобразователи большей мощности, поставляемые по специальному заказу и не включенные в таблицы: $f = 2,4$ кГц; $N_r = 250$ и 500 кВт; $f = 1$ кГц, $N_r = 250, 500$ и 2500 кВт.

После проведенных согласований в записке указывается тип и марка выбранной установки, тип и мощность преобразователя (генератора), их краткая техническая характеристика и уточненные электрические режимы нагрева (x_k, P_0, τ). Описывается также распределение структуры по глубине слоя.

3. Выбор типа индуктора и охлаждающего устройства. В задачу курсовой работы не входит разработка конструкции и электрический расчет индуктора, но должна быть выбрана его принципиальная схема. Наиболее просты и распространены одно- и многovitковые кольцевые индукторы для нагрева внешних и внутренних цилиндрических поверхностей, шестерен модулем до 6 мм. Они представляют собой спиральные катушки из полых круглого или прямоугольного сечения медных трубок, по внутренней поверхности которых пропускается вода для охлаждения индуктора. Зазор между нагреваемой поверхностью и индуктором должен быть минимальным (2—3 мм). Охлаждающее устройство (спрейер) для подачи закалочной жидкости на нагретую поверхность детали выполняется вместе с индуктором. В некоторых случаях закалочное охлаждение производится в отдельном баке. Разнообразные конструкции индукторов приводятся на рис. П2.1.

При выборе режимов, оборудования и технологии закалки ТВЧ сложных по форме деталей (крупномодульные шестерни, коленчатые валы, полуоси автомобиля, распределительные валики и пр.) следует ориентироваться на образцы — представители, описанные в учебнике [8] и других источниках.

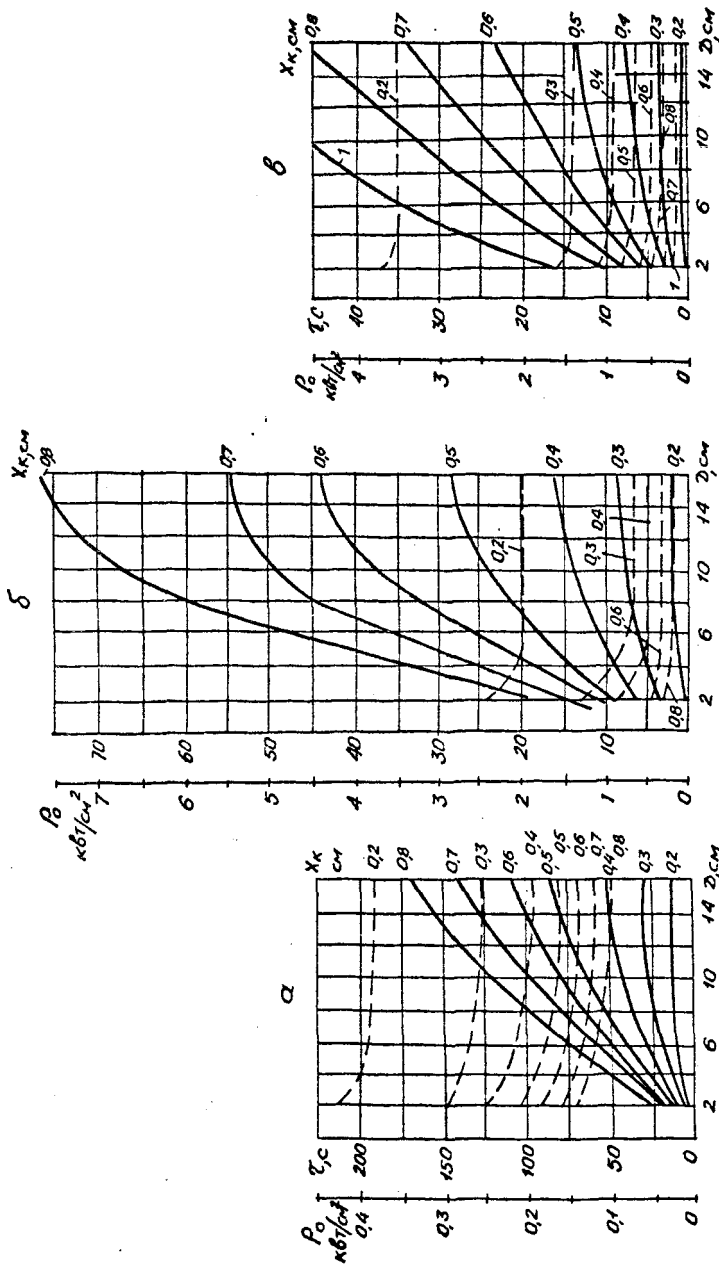


Рис. 16. Зависимость времени нагрева τ (сплошные линии) и удельной мощности P_0 (штриховые линии) от толщины нагреваемой детали D для различных толщин закаленного слоя $X_{\text{к}}$ при разных частотах: **а** — радиочастоты (25000 Гц); **б** — 8000 Гц; **в** — 2500 Гц

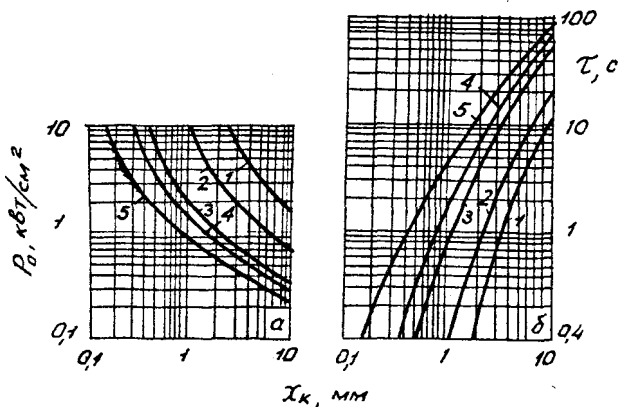


Рис. 17. Графики для определения удельной мощности P_0 (а) и продолжительности τ (б) индукционного нагрева поверхностного слоя стальных изделий толщиной до 10 мм при частоте питающего тока: 1—2,5; 2—8; 3—100; 4—200; 5—1000 кГц

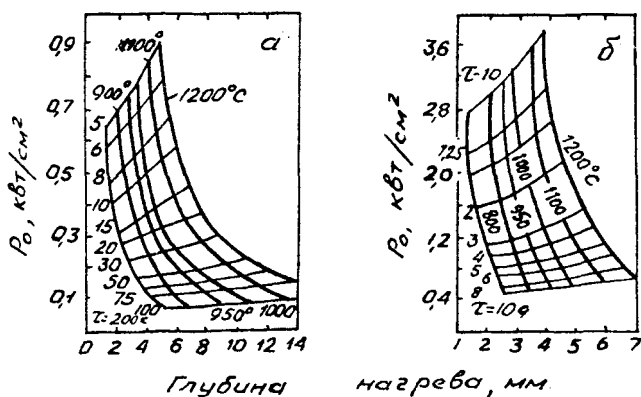


Рис. 18. Графики для ориентировочного выбора удельной мощности P_0 и времени нагрева τ в зависимости от необходимой глубины нагрева и температуры поверхности стали. Частота тока: а — 1 кГц; б — 4 кГц

В производственных условиях после проектирования и изготовления индуктора производится закалка опытных деталей, исследуется их структура и твердость, уточняются режимы нагрева и закалики, проводятся эксплуатационные испытания деталей, проектируется и изготавливается оснастка для стабилизации и автоматического контроля режимов при серийном производстве.

4. Отпуск закаленных деталей. Закаленные на установках ТВЧ детали подвергаются низкому отпуску при температурах 150–250° С в зависимости от требуемой твердости. Он производится чаще всего в камерных электропечах в течение 1,5–2,5 ч. В последние годы все большее применение находит электроотпуск при индукционном нагреве при повышенных температурах (на 50–100° С по сравнению с отпуском в печи), но весьма короткое время (десятки секунд). Распространен также самоотпуск, осуществляемый на небольших деталях путем прерывания закалочного охлаждения в момент, когда в поверхностных слоях уже прошло мартенситное превращение, а температура сердцевины еще достаточно высокая. Перетекание тепла из сердцевины к поверхности разогревает поверхностный слой и производит его отпуск. Температура его разогрева должна быть на 50–85° С выше температуры печного отпуска, такой разогрев весьма кратковременный. На поверхности термически обработанной стали по вышеуказанной технологии наблюдается упругое сжатие ($\sigma = 70 \div 80 \text{ кгс/мм}^2$), а в сердцевине — растяжение ($\sigma = 30 \div 40 \text{ кгс/мм}^2$). Низкий отпуск снижает как сжимающие, так и растягивающие напряжения.

8. ХИМИКО–ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ

8.1. ЦЕМЕНТАЦИЯ (НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ) ДЕТАЛЕЙ МАШИН ИЗ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Детали машин из малоуглеродистых сталей (0,1–0,3%С) для повышения твердости и износостойкости поверхности подвергаются цементации на небольшую глубину и последующей закалке с низким отпуском. При этом одновременно повышается предел выносливости, а сердцевина остается пластичной и вязкой, что свойственно малоуглеродистой стали. Прочность сердцевины зависит от ее структуры, приобретенной при закалке и низком отпуске, которая может изменяться от ферритной с небольшим количеством перлита для неупрочняемых деталей из нелегированных сталей до структуры малоуглеродистого мартенсита или

бейнита с небольшим количеством феррита или без него — для высокопрочных деталей из умеренно легированных сталей. В слабо упрочняемых деталях из малолегированных сталей в сер — дцевине может быть набор всех перечисленных структурных составляющих, что определяется наложением кривых охлаждения на диаграмму распада аустенита данной стали (см. п. 7.1). Основная структурная составляющая поверхностного слоя высокоуглеро — дистый мартенсит отпуска.

При разработке режимов и технологии проведения ХТО изделий из малоуглеродистых сталей решаются следующие во — просы.

1. Выбор последовательности выполнения операций в цикле ХТО производится с учетом сплошного или местного расположения зон цементации на поверхности детали и марки стали. При местной (локальной) цементации участки, не подлежащие упрочнению, защищаются от цементации тонким слоем меди (0,04 — 0,08 мм) путем гальванического меднения или нанесения обмазки из смеси огнеупорной глины, песка и асбеста, замешан — ной на жидком стекле. Возможен вариант цементации всей поверхности детали, но в этом случае на участках, не подлежащих упрочнению, оставляют припуск, равный 1,3 толщины диффузи — онного слоя, который удаляют обработкой резанием после це — ментации. Отверстия малого диаметра, узкие пазы и другие места, которые трудно защитить меднением от цементации, изготавли — вают после нее при чистовой механической обработке. При этом цементованные детали из легированных сталей, имеющих повы — шенную твердость после цементации ($HRC > 28$) для улучшения обрабатываемости резанием при удалении припусков предвари — тельно подвергают высокому отпуску при 630 — 680° С.

Цементованные детали из хромоникелевых сталей, содержа — щих 3 — 4% никеля, после закалки имеют пониженную твердость. Во избежание этого их после цементации также подвергают высокотемпературному отпуску при 620 — 650° С с целью обедне — ния твердого раствора углеродом и легирующими элементами за счет выделения карбидов, что повышает точки M_H и M_K , умень — шает количество остаточного аустенита и повышает твердость цементированного слоя при последующей закалке с температур не выше 820° С. Реже удаление остаточного аустенита проводят обработкой холодом после закалки.

Необходимые перечисленные операции должны быть включены в общий цикл ХТО после тщательного анализа технологии обработки данной детали.

2. Выбор вида цементации и оборудования для ее проведения производится с учетом типа (массовости) производства, уровня его оснащенности на данном предприятии, степени ответственности деталей и условий труда в цехе. При цементации в твердом карбюризаторе детали контрольные образцы и образцы – свидетели вместе с карбюризатором на основе древесного угля упаковывают в цементационные ящики, которые нагревают в универсальных шахтных или камерных электропечах (см. табл. П1.1, П1.2) до температуры цементации и выдерживают в них длительное время, определяемое требуемой толщиной цементованного слоя. Цементация в твердом карбюризаторе не позволяет регулировать ход процесса насыщения, малопродуктивна, негигиенична, но проста в исполнении, не требует специализированного оборудования и применяется в единичном и мелкосерийном производстве. Стандартные составы карбюризаторов и рабочих смесей из них приведены в [24].

Газовая цементация осуществляется нагревом деталей в среде газов, содержащих атомарный углерод, более производительна, поддается регулированию основных параметров процесса (температуры, углеродного потенциала) и потому обеспечивает более высокое качество слоя. Она применяется во всех типах производства. Газовую цементацию в индивидуальном и серийном производстве выполняют в муфельных шахтных печах цементации серии Ц и СШЦ (см. табл. П1.4) с применением чаще всего жидких углеводородов, состоящих в основном из метана CH_4 или метана и окиси углерода CO (синтин, пиробензол, очищенный керосин, спирты), которые каплями падают в горячую печь, где они испаряются с образованием атомарного углерода, диффундирующего в сталь. Расход жидких карбюризаторов регулируется по ходу цементации. В шахтных печах серии СШЦ может использоваться эндотермическая атмосфера ($\sim 20\% \text{CO} + 40\% \text{H}_2 + 40\% \text{N}_2$) с добавкой 2 – 5% насыщающего природного газа (главной составляющей его является метан) для регулирования углеродистого потенциала, которая подается в печь от отдельного газогенератора. Шахтные печи имеют неравномерное распределение температуры по высоте, что ведет к неравномерному насыщению углеродом в разных зонах и вызывает коробление деталей. Не –

избежный контакт деталей с воздухом в этих печах может вызвать окисление и обезуглероживание на глубину до 0,2–0,4 мм.

Более совершенны камерные безмуфельные печи – агрегаты серии СНЦА для газовой цементации в эндотермической или другой контролируемой атмосфере с регулируемым углеродным потенциалом (см. табл. П1.5). В них исключается контакт деталей с воздухом в течение всего процесса, в одном агрегате может выполняться весь цикл ХТО и ТО, так как в него, помимо печи цементации, входит закалочный бак, отпускная печь, моечно – сушильная машина, механизмы перемещения поддонов с деталями. Печи – агрегаты типа СНЦА комплектуются газоподготовительными установками, позволяющими производить не только цементацию, но и нитроцементацию. В последнем случае в эндотермическую атмосферу печи добавляют, кроме 3 – 10% природного газа, еще и 2 – 10% аммиака NH_3 .

В условиях массового производства для цементации (нитроцементации) используют автоматизированные агрегаты непрерывного действия, обеспечивающие весь цикл операций ХТО и ТО в непрерывном потоке. Описание их дается в книге Ю. М. Лахтина и Б. Н. Арзамасова [24].

3. Краткое описание технологии цементации (нитроцементации) производится с учетом выбранного оборудования для ее проведения. Цементация в твердом карбюризаторе включает в себя: очистку изделий от масла, эмульсии и грязи; их гальваническое меднение (при местной цементации), укладку деталей и свидетелей в ящики и их герметизацию (особенности ее описаны в [24]); посадку ящиков в разогретую печь и проведение цементации при заданной температуре и длительности; выгрузку ящиков из печи на воздух и их охлаждение до 400°C ; разгерметизацию ящиков и выгрузку деталей.

Газовая цементация в шахтных печах включает: очистку и нанесение защитных покрытий на поверхности деталей; комплектацию садки с размещением деталей в корзинах на специальных подвесках и штанговых приспособлениях в муфеле; загрузку муфеля с садкой в разогретую печь; продувку рабочего пространства печи в течение 20 мин карбюризатором с расходом его 35 – 40% от полного расхода при насыщении для предотвращения окисления; вывод печи на рабочий режим и (активное) насыщение стали углеродом (при активной циркуляции атмосферы с помощью вентилятора); выгрузку и охлаждение цемен –

тованных деталей в колодцах с нейтральной атмосферой, на воздухе или в закалочной среде.

Газовая цементация (нитроцементация) в камерных печах периодического действия серии СНЦА состоит из подготовки и размещения деталей на поддоне, загрузки его в изолированный от атмосферы тамбур и перемещения в цементационную камеру. В тамбур и камеру подается смесь эндогаза с природным газом (аммиаком). Регулирование подачи последних изменяет углеродный потенциал среды, распределение углерода по глубине и соотношение азота к углероду. После окончания выдержки при заданной температуре и времени поддон перемещается в тамбур и детали из него погружаются в закалочный бак или подаются на разгрузочную площадку. После закалки деталей поддон поднимается на загрузочную площадку, а закаленные детали транспортируются в отпускную печь.

Процесс цементации в агрегатах непрерывного действия полностью механизирован и автоматизирован, а также включает активный и диффузионный период насыщения при 930°C , подстуживание до 850°C , ступенчатую закалку сначала в горячем (180°C), затем в холодном масле и отпуск при 200°C . Детали, размещенные на поддонах, последовательно проходят через соответствующие агрегаты и зоны цементационной печи с изолированными друг от друга атмосферами путем периодического их проталкивания с ритмом около 10 мин. В агрегате одновременно может находиться до 80 поддонов.

4. Назначение режима цементации (нитроцементации). Режим цементации характеризуется температурой, длительностью выдержки, составом и расходом рабочей среды на отдельных этапах процесса. Эти параметры во многом определяют качество готовых изделий, характеризующихся степенью цементации (содержание углерода на поверхности), твердостью и структурой цементованного слоя, которые определяют предел выносливости и износостойкость.

Температура цементации сталей может колебаться в широких пределах (от 900 до 1000°C) и выбирается по справочной литературе [1, 16] с учетом состава данной стали, ее склонностью к росту зерна, вида цементации и оборудования. Выбор ее должен быть обоснован в записке. При нитроцементации температура

насыщения более низкая: 830–860° С вместо 920–950° С при газовой цементации низкоуглеродистых конструкционных сталей. Такое снижение также должно быть обосновано ссылками на температуру эвтектоидного превращения и критических точек в системах Fe–C и Fe–N.

Длительность цементации зависит в основном от требуемой толщины диффузионного слоя, выбранной температуры и вида насыщающей среды. Эффективная толщина слоя цементации $\Delta_{\text{эф}}$ (слой с твердостью $HRC \geq 50$ и содержанием углерода более 0,4%) указывается в задании и должна составлять 10–15% от толщины упрочняемого сечения, что обеспечивает наибольшую усталостную прочность.

Для шестерен $\Delta_{\text{эф}} = (0,15 - 0,17) m$, где m — модуль зуба. При нитроцементации $\Delta_{\text{эф}}$ не должна превышать 1 мм из-за возможного появления дефектов в структуре.

Длительность цементации в твердом карбюризаторе состоит из времени нагрева цементационного ящика и времени выдержки при выбранной температуре. Время нагрева до 920–950° С составляет 7–9 мин на каждый сантиметр минимального размера ящика. Размеры и форма ящиков подбираются по размерам и форме деталей, которые занимают 15–20% объема ящика (см. рис. П2.3). Длительность выдержки в среднем берут из расчета скорости насыщения 0,1–0,12 мм за один час.

Общая длительность газовой цементации в жидком карбюризаторе зависит от требуемой эффективной толщины слоя, состава карбюризатора и температуры цементации (см. табл. П2.7). Ориентировочно можно брать 0,15–0,17 мм за час при 930° С для малоуглеродистых конструкционных сталей. Такой же она будет при цементации в газовой среде на основе эндотермической атмосферы с добавкой метана. Скорость нитроцементации при 850° С остается примерно такой же, что и скорость газовой цементации при 930° С.

Режим насыщения углеродом при цементации в твердом карбюризаторе практически не регулируется; он контролируется, а при необходимости и корректируется, по глубине слоя и микроструктуре образцов-свидетелей.

Режим насыщения при газовой цементации регулируется и должен обеспечить содержание углерода на поверхности 0,8–

1,0%, отсутствие в заэвтектидной зоне грубой цементитной сетки и крупных изолированных карбидов, выкрашивающихся при контактной нагрузке в эксплуатации. Для этого используют ступенчатый режим насыщения. В первый активный период насыщения, занимающий примерно 2/3 общего времени цементации, поддерживают высокий углеродный потенциал атмосферы, обеспечивая получение в поверхностной зоне стали 1,3–1,4%С. Во втором периоде (диффузионное выравнивание) углеродный потенциал резко снижают до 0,8% и ниже, а углерод из поверхностной зоны диффундирует в более глубокие соседние слои, обеспечивая получение в ней 0,8–1,0%С. При цементации жидким карбюризатором в шахтных печах расход карбюризатора в первый период устанавливается в 130–150 капель в минуту, а во второй — 25–50 капель в минуту. При работе на необработанном природном газе в тех же печах расход газа составляет в первый период 0,8–1 м³/час, а во второй — 0,2–0,25 м³/час (печь Ц – 105). Контроль подачи газа в шахтных печах ведется по цвету пламени и длине факела из выходящей трубы.

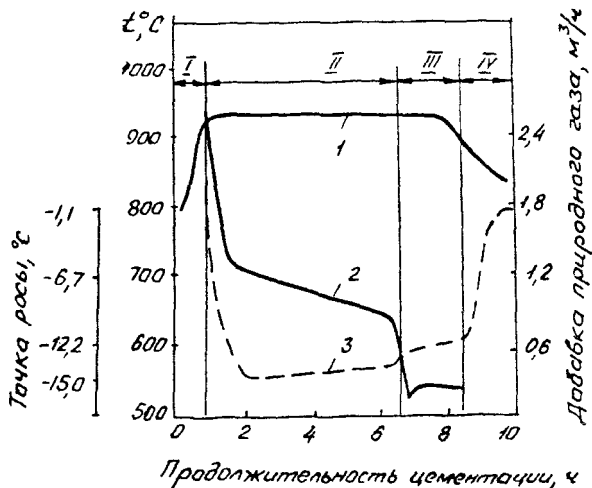


Рис. 19. Типовая схема цементации в печах периодического действия в эндотермической атмосфере с добавкой природного газа: I — нагрев; II — период насыщения; III — период диффузионного перераспределения углерода в слое, IV — охлаждение; 1 — температура; 2 — количество добавляемого природного газа, 3 — точка росы

При цементации в эндотермической атмосфере высокий углеродный потенциал насыщающей среды в первый период поддерживается за счет добавки к ней природного газа (метана) в количестве 8–15%, подачу которого во второй период резко снижают (рис.19).

Контроль углеродного потенциала в этом случае осуществляют по точке росы (температура, при которой начинается конденсация водяных паров, содержащихся в атмосфере). В современных камерных печах серии СНЦА и агрегатах непрерывного действия регулирование углеродного потенциала осуществляется автоматически в газоприготовительной установке. Составы карбюризаторов, некоторые характеристики режимов цементации приведены в табл. 6 и 7.

Нитроцементацию ведут чаще всего в безмуфельных агрегатах с автоматически регулируемым потенциалом углерода и строго дозированным количеством аммиака. Например, при толщине слоя 0,5–1 мм температура процесса принимается 830–860° С, а добавка к эндотермической атмосфере составляет: метана — 4–6%, а аммиака — 1,5%; при температурах 860–890° С содержание метана снижают до 0,5–0,8%, а доля аммиака составляет 2–4% (890° С) или 0,6–1,3% (860° С). Ступенчатые циклы по углеродному потенциалу обычно не применяют, так как при температуре насыщения (~860° С) растворимость углерода в аустените близка к оптимальной (не более 0,8%). С повышением температуры содержание углерода в слое возрастает, а азота — падает. При 780–820° С содержание азота в низколегированных сталях составляет 0,6–1%, при 820–860° С — 0,4–0,7%, при 860–890° С — 0,3–0,5%. Более детальное описание режимов нитроцементации приводится в книге [24].

Т а б л и ц а 6

Цементация стали [25]

Состав карбюризатора	t °C цементации	Общая продолжит. процесса, ч	Толщина слоя, мм	Примечание
Твердый карбюризатор				
1. Древесный (березовый) уголь в смеси с 20-25% BaCO_3 и 3,5-5% CaCO_3 (ГОСТ 2704-66)	930-950	4-15	0,5-1,5	Ящики загружаются в печь, нагретую до 600-700 °C, либо имеющую рабочую температуру. Охлаждение ящиков на воздухе (объем деталей 15-30% от объема цементационного ящика)
2. Каменноугольный полукокс в смеси с 10-15% BaCO_3 и 3-5% CaCO_3 (ГОСТ 5535-76)				
Рабочая смесь состоит из 25-30% свежего и 70-75% отработанного карбюризатора с 5-7% BaCO_3				
Газовая цементация				
1. Эндотермическая атмосфера (~ 20% CO , 40% H_2 , 40% N_2) + 5% природного газа CH_4	930-950	6-10	0,7-1,5	В методических безмуфельных и камерных печах R=25-30 мм вод. ст. Охлаждение — в закалочной среде или колодцах
2. Экзо-эндотаз (20% $\text{CO} + 20\% \text{H}_2 + 60\% \text{N}_2$) и 0,5-5,0% CH_4	930-950	6-10	0,7-1,5	- " -

Продолжение таблицы 6

Состав карбюризатора	t °С цементации	Общая продолжит. процесса, ч	Толщина слоя, мм	Примечание
3. Газы, получаемые из керосина, скипина, пиробензола различных спиртов и др. углеводородов непосредственно в печи для цементации	930-950	4-10	0,8-1,6	В шахтных или камерных печах. Загрузка — при 930-950 °С предварительной продувкой цементующим газом. Охлаждение в колодцах, или на воздухе
4. 78-85% Na ₂ CO ₃ (или K ₂ CO ₃) + 10-15% NaCl + 6-8% SiC	870-900	0,5	0,15-0,2	Мелкие детали и нормали (но неравномерная глубина цементации)

П р и м е ч а н и е: Расход карбюризатора (калн/мин) в печи Ц25 составляет при нагреве 20 — 30 и выдержке 40 — 60: в печи Ц60 — соответственно 30 — 60 и 60 — 90; в печи Ц105 — 60 — 80 и 150 — 180; в печах ШЦН45А — 35 — 45, и 60 — 90, а в печах ШЦН65А — 50 — 75 и 120 — 50 соответственно.

Выбор режимов цементации должен сопровождаться соответствующими обоснованиями их влияния на формирование структуры зон и свойства слоя со ссылками на справочную литературу.

Таблица 7

Режим газовой цементации в шахтных печах и печах непрерывного действия [25]

Тип печи	Садка, Т	Карбюризатор	Расход карбюризатора, капли/мин		Продолжительность, ч		Глубина слоя, мм
			при нагреве	при выдержке	при нагреве	при выдержке	
Ц35	0,1	Масло промышленное 20	30-40	60-70	-	2 6-7	0,5-0,6 1,3-1,6
Ц105	0,6-1,0 0,5-0,6	Керосин, масло промышленное 20	-	120-200	3	10-12	1,2-1,5
			-	90	4	7	1,3-1,6
			-	-	4	8	1,5-2,0
Цементация крупногабар. деталей D=1,8 м H=1,5 м	1,5-4,0	Пиробензол	60	260-280 — первые сутки, 230-250 — вторые сутки, и далее снижение по 30 капель в мин в сутки, 60-диффузионный отжиг в конце процесса в теч. 12-18 ч	8	12	1,0-1,2
						36	3,0-3,4
						60	3,8-5,2
						84	6,0-6,4
						108	7,0-7,4
						132	7,8-8,2
						144	8,4-8,9

Продолжение таблицы 7

Тип печи	Садка, Т	Карбюризатор	Расход карбюризатора, капли/мин		Продолжительность, ч		Глубина слоя, мм
			при нагреве	при выдержке	при нагреве	при выдержке	
Муфельная непрерывн. дейст. (длина муфеля 8,5 м, сечение 0,79x0,42 м)	Производит. 200-250 кг/ч	Природный газ	3-4 м ³ /ч	3-4 м/ч	6-7	6-7	0,5-0,8
		Смесь газов пиролиза и крекинга керосина	2м ³ пиролизного и 3м ³ крекинга-газа в ч	2 м пиролизного и 3 м крекинга-газа в ч	7-9 9-11	7-9 9-11	0,8-1,0 1,0-1,2
		Керосин	2-2,5 л/ч	2-2,5 л/ч	11-13	11-13	1,2-1,5

5. Выбор режимов термообработки цементованных (нитро-цементованных) деталей. Цементация лишь создает оптимальное распределение углерода по сечению. Окончательные свойства цементованные детали приобретают после закалки с низким отпускком. При выборе режимов их термообработки учитывают:

- химический состав исходной стали;
- степень проявления дефектов структуры, образующихся в результате длительной выдержки при высоких температурах цементации (крупнозернистость поверхностного слоя и сердцевины, наличие цементитной сетки или крупных изолированных карби-дов в заэвтектоидной зоне, внутреннее окисление и т.п.) и зависящих от вида, оборудования и режима цементации;
- степень ответственности и уровень заданных свойств в сердцевине и на поверхности, определяемых условиями эксплуатации детали;
- размер и форму детали, наличие в ней концентраторов напряжений, а также точность геометрии (допустимые биение и коробление);
- масштаб производства.

Описанный выше наиболее производительный процесс, включающий закалку с цементационного нагрева (с подстуживанием до $800-850^{\circ}\text{C}$ или без него) в холодном или горячем ($160-190^{\circ}\text{C}$) масле в механизированных камерных печах и автоматизированных агрегатах непрерывного действия, применяют в массовом или крупносерийном производствах и только для деталей из преимущественно мелкозернистых сталей (18ХГТ, 25ХГНМ, 25ХГТ, 25ХНТЦ, 20ХГНТР и др.), которые подвергались цементации (нитроцементации) в среде с регулируемым углеродным потенциалом, обеспечивающим содержание углерода в поверхностном слое не более 0,9% и отсутствие цементитной сетки и крупных изолированных карбидов.

В большинстве случаев закалку цементованных деталей выполняют с повторного нагрева. Это относится и к деталям из вышеназванных сталей, если для них необходима промежуточная механическая обработка (см. п. 1 в данном разделе); при этом после цементации их замедленно охлаждают в специальной камере агрегата до $250-300^{\circ}\text{C}$ и далее на воздухе, а затем закаливают с нагревом в печах до $820-860^{\circ}\text{C}$.

Детали из легированных хромоникелевых сталей, содержащих 3–4% Ni (12ХНЗА, 20ХНЗА, 20Х2Н4А, 18Х2Н4ВА и т.п.) непосредственной закалке с цементационного нагрева, как правило, тоже не подвергают из-за сохранения в структуре слоя большого количества остаточного аустенита, снижающего твердость до 45–52 HRC. Их охлаждают после цементации в печи до $300-450^{\circ}\text{C}$ (либо до 20°C), затем подвергают высокому отпуску при $600-650^{\circ}\text{C}$ с последующим замедленным охлаждением до 20°C . Для закалки такие детали повторно нагревают до $780-820^{\circ}\text{C}$ и охлаждают в масле. Иногда вместо этого варианта применяют обработку холодом после закалки с цементационного нагрева с сохранением крупнозернистости сердцевины.

Слабо и умеренно нагруженные детали после твердой цементации или цементации в шахтных печах подвергают одинарной закалке с повторного нагрева. Температура их нагрева под закалку

может колебаться в широких пределах (от 780 до 950° С) в зависимости от состава стали, режима цементации и условий нагружения в эксплуатации [3, 10], но чаще всего берется равной 820–860° С.

Особенности формирования структуры для них в зависимости от температуры закалки достаточно полно описаны в учебниках [9, 10]. Охлаждение закаливаемых деталей ведут в основном в масле, а для тонких маложестких деталей во избежание сильного коробления используют ступенчатую закалку (см. разд. 7.1.).

Наиболее ответственные детали с высоким уровнем требований к структуре и свойствам после цементации в шахтных печах и охлаждения до комнатной температуры подвергают двойной закалке или нормализации и закалке. Назначение каждой из них также описано в учебниках [9, 10] и должно быть приведено в записке. Такая термообработка, в частности, предусмотрена в авиастроении. Однако она сложна и сопровождается повышенным короблением, окислением и обезуглероживанием поверхности. Для предотвращения обезуглероживания и образования окалина на поверхностях, особенно не шлифуемых в дальнейшем, нагрев под закалку рекомендуется выполнять в печах с защитной атмосферой (см. разд. 7.1.), а для нитроцементованных деталей, особенно склонных к обезуглероживанию вследствие возрастания скорости диффузии углерода в присутствии азота, — только в защитной среде с регулируемым углеродным потенциалом и заданной подачей аммиака. Поэтому основным процессом упрочнения нитроцементованных деталей является непосредственная закалка с температуры насыщения, которая выполняется в автоматизированных агрегатах. Особенностью закалки нитроцементованных деталей является большое количество остаточного аустенита в слое из-за присутствия азота, резко снижающего точки M_n и M_k . Оно допустимо (до 40–45%) и даже желательное в шестернях для улучшения их прирабатываемости и бесшумности работы. При этом обеспечивается высокая усталостная прочность и контактная выносливость при некотором небольшом снижении износостойкости, что объясняется присутствием в структуре поверхностного слоя (кроме остаточного аустенита и мелкоугольчатого мартенсита) дисперсных частиц карбонитридов, нитридов и карбидов легирующих элементов.

Окончательная термообработка цементованных и нитроцементованных деталей состоит в отпуске при 180–200° С (см. разд. 7. 2.).

В заключении разд. 8.1 следует привести обобщенную схему режима цементации, закалки и отпуска (см. пример на рис. 20), дать зарисовку и описать структуру по зонам сечения, указать необходимые механические свойства поверхностного слоя (твердость) и сердцевины ($\sigma_B, \sigma_{0,2}, KCU$).

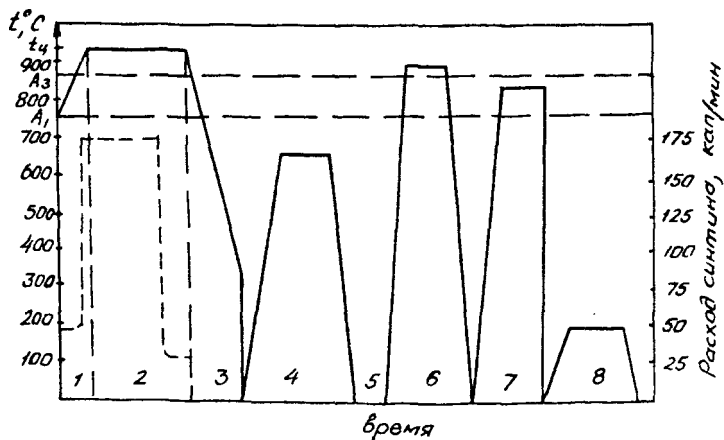


Рис. 20. Схема ХТО ответственных деталей из стали 18ХГТ в шахтной печи при местной цементации с использованием синтина: 1 — продувка печи и вывод ее на рабочий режим; 2 — цементация 930° С; 3 — охлаждение с печью до 300° С, далее на воздухе; 4 — высокий отпуск при 650° С; 5 — чистовая механическая обработка; 6 — нормализация 900° С; 7 — закалка в масле с 860° С; 8 — отпуск 180–200° С; — — — температура; — — — расход синтина

8.2. АЗОТИРОВАНИЕ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ЦИАНИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ

Насыщение поверхностных слоев изделий азотом или азотом совместно с углеродом позволяет получить очень высокую твердость на поверхности (600–1200 НВ), не изменяющуюся при нагреве до 400–450° С, высокую износостойкость и низкую

склонность к задирам, высокий предел выносливости и хорошую сопротивляемость коррозии в атмосфере, пресной воде и паре, недостижимые при цементации. В промышленности наибольшее распространение получило низкотемпературное азотирование и цианирование ($500 - 600^{\circ} \text{C}$) при температурах ниже эвтектоидного превращения в системе $\text{Fe} - \text{N}$, в процессе которых обрабатываемые изделия испытывают самые минимальные деформации и коробления. Это выгодно отличает их от других способов упрочняющей обработки, так как позволяет проводить эти операции как финишные на практически готовых деталях, структура и свойства сердцевины которых формируются на предыдущих операциях термообработки в соответствии с условиями их эксплуатации.

Детали машин из среднеуглеродистых сталей до азотирования обычно проходят улучшение (закалка + высокий отпуск) на твердость $260 - 320 \text{ HB}$. В связи с низкой температурой азотирования получение толстого диффузионного слоя требует очень больших затрат времени. Из-за этого максимальную толщину слоя ограничивают обычно $0,4 - 0,8 \text{ мм}$. При такой толщине не исключено продавливание азотированного слоя при очень высоких контактных нагрузках. При таком нагружении предпочтительнее цементация. Повысить твердость сердцевины конструктивных сталей нельзя, т.к. температура отпуска должна быть не ниже температуры азотирования. Инструменты из теплоустойчивых сталей до насыщения азотом имеют мартенситную или троостомартенситную структуру с высокой твердостью ($45 - 62 \text{ HRC}$), полностью исключая продавливание азотированного слоя. Поэтому их азотируют или цианируют на небольшую глубину (до $0,2 \text{ мм}$) за сравнительно короткое время.

1. Формирование структуры и свойств диффузионного слоя в рассматриваемых процессах весьма сложно и должно быть тщательно проработано по учебной литературе [9, 10] или монографии Лахтина и Арзамасова [24]. Здесь кратко сформулируем основные моменты.

В соответствии с диаграммой $\text{Fe} - \text{N}$ при низкотемпературном азотировании происходит последовательное образование насыщенных азотом слоев: азотистого феррита (α - фаза), затем нитрида Fe_4N (γ_1 - фаза с узкой областью гомогенности) и затем нитрида Fe_3N (ϵ - фаза с широкой областью гомогенности). При

этом слое с двухфазной структурой не образуются. При охлаждении с температуры азотирования до комнатной в связи с переменной растворимостью азота в α - и ε -фазах происходит образование мелких вторичных выделений γ_{II}^1 в зернах α - и ε -фаз. Поэтому при 20°C структура диффузионного слоя будет состоять из следующих (в направлении от поверхности к сердцевине) зон: $(\varepsilon + \gamma_{II}^1) - \gamma^1 - (\alpha + \gamma_{II}^1)$. Обычно первые две зоны называют нитридными, а последнюю — зоной внутреннего азотирования. Если перед азотированием исходной структуры был мартенсит, то α -фазу называют азотистым мартенситом.

При азотировании железа в атмосфере с высоким азотным потенциалом (высокая степень диссоциации аммиака) содержание азота в ε -фазе достигает 9–10%. Она обладает повышенной хрупкостью и, кроме того, экранирует диффузию в нижележащие слои. Снижая азотный потенциал, можно уменьшить содержание азота в ε -фазе или даже подавить образование ε -фазы или ε - и γ' -фаз. Для этого необходимо понижать температуру или при $t = \text{const}$ разбавлять аммиак, подающийся в рабочее пространство печи, водородом, продуктами диссоциации аммиака, инертными газами и пр. При азотировании стали в смеси аммиака и углеродосодержащих газов (метан, пропан, эндогаз и т.п.) ε -фаза имеет карбонитридную природу (т.е. $\text{Fe}_3(\text{N}, \text{C})$); содержание азота в ней снижается до 5–6%, устраняется ее хрупкость, но область ее существования расширяется.

Твердость азотированного слоя на железе и углеродистых сталях невелика (200–250 НВ). Поэтому упрочняющему азотированию и цианированию подвергают только легированные стали. Переходные металлы Mn, Cr, Mo, W, V, Ti, Zr, будучи растворены в феррите, резко повышают растворимость в нем азота. Это значительно упрочняет зону внутреннего азотирования как за счет искажения решетки α -фазы атомами N (растворное упрочнение), так и за счет образования сегрегаций типа зон Гинье–Престона (при $t \leq 520^\circ\text{C}$) или зародышей нитридов легирующих элементов типа Me_2C и MeC (при $t > 520^\circ\text{C}$) и их роста как в процессе азотирования, так и при охлаждении от температуры насыщения до комнатной вследствие уменьшения растворимости азота и легирующих элементов в α -фазе. Они

могут образовываться и за счет перехода карбидов легирующих элементов (особенно, сильных карбидообразований) в соответствующие нитриды $MeC \rightarrow MeN$. Дисперсность нитридов легирующих элементов весьма высока и составляет $20-40 \text{ \AA}$ при 550° C , $\sim 100 \text{ \AA}$ при 600° C . Азотирование выше 600° C сопровождается коагуляцией и сфероидизацией нитридов, что существенно снижает твердость. Алюминий, по-видимому, нитридов не образует, а входит в состав γ' -фазы ($FeAl_4N$), когерентно сочленяясь с Fe_4N , что сопровождается очень сильным ростом твердости, но и охрупчивает нитридный слой.

Часть легирующих элементов входит в состав ε -фазы $(Fe, Me)_3(N, C)$, уменьшая в ней концентрацию азота и ее толщину.

Наиболее эффективное повышение твердости достигается при комплексном легировании Mo, Cr и другими элементами в присутствии Al (38X2MЮ), но и повышает хрупкость. Предельное повышение твердости не всегда сопровождается повышением износостойкости. Лучшую износостойкость имеет азотированный слой с развитой зоной карбонитридов $Fe_3(N, C)$; образование хрупкого нитрида Fe_2N приводит к его выкрашиванию. Сопротивление износу зоны внутреннего азотирования в легированных сталях выше, чем у нитрида железа Fe_3N , но и ниже, чем у карбонитрида $(Fe, Me)_3(N, C)$. Для деталей, работающих в коррозионной среде и на износ при малых контактных нагрузках, требуется слой с развитой сплошной нитридной зоной, обеспечивающей высокое сопротивление коррозии и прирабатываемость трущихся поверхностей.

Для деталей, работающих при знакопеременных нагрузках в условиях умеренного износа при высоких давлениях, необходим азотированный слой, состоящий только из хорошо развитой зоны внутреннего азотирования. Он рекомендуется для деталей и штампового инструмента, работающих в режиме динамического изнашивания и ударных нагрузок. Легирование в этом случае

целесообразно осуществлять W, Mo, Cr, V (но без Al) и иметь $HV = 600 \div 850$ (40X, 40XФА, 20XЗМВФ, 30XНМФ, 18ХГТ, 40XН2МА и др.).

Наличие в слое нитридной зоны и зоны внутреннего азотирования, обладающих большим удельным объемом, чем сердцевина, приводит к образованию в нем высоких сжимающих остаточных напряжений, что повышает предел выносливости σ на 25–50% для гладких образцов и вдвое — для образцов с надрезом. При этом максимальное увеличение σ_{-1} наблюдается при отношении толщины слоя к радиусу, равном 0,1–0,2 для образцов без концентраторов и 0,01 — для образцов с концентраторами.

Толщина слоя у деталей машин, работающих при высоких контактных нагрузках и имеющих в сердцевине сорбит отпуска, должна быть не менее 0,5 мм, иначе он будет продавливаться. Для штамповых инструментов горячего деформирования с повышенной вязкостью он рекомендуется 0,2–0,25, для инструментов холодного деформирования из X12M — 0,08–0,12 мм, для режущих инструментов из быстрорезов с $HRC > 60$ — 0,01–0,03 мм (иногда до 0,1 мм).

Из изложенного видно, что строение диффузионного слоя и его свойства зависят от марки стали, температуры процесса и состава среды (вида насыщения). Глубина диффузионного слоя зависит от времени выдержки, температуры и от состава стали (легированные, высоколегированные). Далее рассмотрим выбор режимов и технологий в зависимости от назначения изделий для отдельных видов процессов низкотемпературного насыщения.

2. Технология и режимы газового азотирования. Газовое азотирование является наиболее распространенным процессом низкотемпературного насыщения азотом или азотом и углеродом. Оно проводится в среде частично диссоциированного аммиака с добавками или без них при температурах 500–600° С и осуществляется в шахтных герметизированных печах типа США или

камерных (колпаковых) печах типа СНА периодического действия (см. табл. П1.6), а также в конвейерных и толкательных печах непрерывного действия. Наибольшее распространение получили шахтные печи. В них весь цикл азотирования, включая нагрев, выдержку и ускоренное охлаждение садки до $150-250^{\circ}\text{C}$, проводят при непрерывной подаче аммиака. Камерные печи делают с передвижной камерой и используют для одновременного азотирования нескольких крупных деталей.

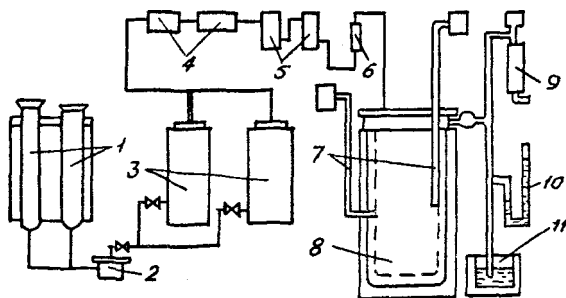


Рис. 21. Схема установки для азотирования: 1 — баллон с аммиаком; 2 — фильтры; 3 — испарители; 4 — отстойник для очистки газообразного аммиака; 5 — фильтр тонкой очистки и осушитель; 6 — ротаметр для измерения расхода газа; 7 — термопары; 8 — печь для азотирования; 9 — диссоциометр; 10 — манометр; 11 — гидравлический затвор

Принцип работы установок для газового азотирования в аммиаке виден из схемы, приведенной на рис. 21. Изделия и контрольные образцы помещают в печь в сетчатых корзинах или на поддонах, так чтобы обеспечить свободное омывание азотируемых поверхностей газом. Печь закрывают, герметизируют, присоединяют шланги для подачи и отвода газа и производят продувку печи до полного вытеснения воздуха. Для снижения хрупкости слоя и экономии аммиака последний разбавляют азотом до 70–80% или предварительно диссоциированным аммиаком ($\text{N}_2 + \text{H}_2$). Для ускорения процесса в состав атмосферы печи

можно вводить кислород (4 л на 100 л аммиака), воздух, углекислый газ и их смеси.

Состав отходящей из печи аммиачно – азотно – водородной смеси контролируется степенью диссоциации аммиака α , которая является эквивалентом насыщающей активности атмосферы (азотного потенциала). Она повышается с ростом температуры процесса и скорости подачи (расхода) аммиака. Автоматический контроль и регулирование степени диссоциации аммиака осуществляется диссоциометрами различных конструкций.

Выбор температуры определяется требованиями к твердости и толщине слоя [10]. При высокой твердости (более 800 HV) и небольшой толщине (до 0,4 мм) азотирование конструкционных сталей ведут при 500–520° С, что обеспечивает также высокий предел выносливости и самое минимальное коробление. При больших толщинах слоя и меньшей допустимой твердости температуру повышают либо используют ступенчатый режим: сначала при 500–520° С при большой насыщающей способности среды, а затем при 540–600° С при меньшей ее активности за счет снижения скорости подачи аммиака. Для сталей, легированных титаном (1% и более), образующим твердые и устойчивые против коагуляции нитриды, температуру повышают до 600–650° С. Это ускоряет процесс при сохранении достаточно высокой твердости.

Длительность азотирования назначается в зависимости от требуемой толщины слоя и температуры [10] с учетом состава стали. Толщина слоя зависит от условий эксплуатации, твердости сердцевины. Рекомендуемые значения толщин приводятся в п. 1 данного раздела.

Конкретные режимы азотирования некоторых сталей и деталей из них приведены в табл. 8, 9.

Рекомендуемые режимы азотирования в аммиаке деталей машин из конструкционных и нержавеющей сталей [25]

Марка стали	Температура азотирования, °С	Выдержка, ч	Глубина слоя, мм	Твердость, НВ	Примеры деталей
38Х2МЮА	500-520	48-60	0,4-0,5	1000-1100	Кулачковые валы
38Х2МЮА	510+540*	12+42	0,5-0,8	950-1000	Гильзы цилиндров дизелей
18Х2Н4ВА	490-510	40-50	0,35-0,4	750-850	Коленчатые валы
40ХН2МА	510+540	25 35	0,5-0,6	600	
40Х 40ХФА 18ХГТ	510	18-24	0,25	510-610 610-700 630-720	Шпиндели для опор качения, ходовые винты, валы, зубчатые колеса станков
40ХН2МА 38ХН2МА 38ХН3МФА	510	50-60	0,5-0,6	640-700	
40ХН2МА 30ХН2МФА 28ХН3МФА	510+540	25+30	0,6-0,7	640 700 700	
30ХТ2	600	3-5	0,3	850-950	
45Х, 38ХС	570	8-10		600	Низкотемпературная нитроцементация шестерен тракторных двигателей

Продолжение таблицы 8

Марка стали	Температура азотирования, °С	Выдержка, ч	Глубина слоя, мм	Твердость, HV	Примеры деталей
03Н18К9М5Т	500	24	0,25	900	Лопатки направляющего аппарата турбин, работающих на эрозийный износ в коррозионной среде
20Х13	500 550 600	48	0,10-0,12 0,25-0,30 0,30-0,40	1000-1050 900-950 780-880	
30Х13	530+580	12+20	0,25-0,30	850-900	
12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	560	50-60	0,2-0,25	1000-1100	
4Х14Н14ВМ	550 575+630	56-60 25+35	0,1-0,2 0,1-0,2	900-1000 850-900	Клапаны дизелей

* — Ступенчатое азотирование.

Таблица 9

Рекомендуемые режимы азотирования в аммиаке инструментальных сталей [25]

Марки сталей	Степень диссоциации аммиака, %	Режимы азотирования		Толщина слоя, мм	Твердость, HV	Инструмент
		температура, °С	время, ч			
P18, P9, P6M5	30-40	560-580	0,1-0,25 0,5-1	0,03-0,06 0,065-0,095	1250-1400 1350-1400	Режущий
		560-580	8-12	0,08-0,12	1100-1200	
X12M, X12Ф1	25-40	480-500	40-50	0,3-0,5	650-700	Накатн. ролики, фильтры и пр.
7X3, 5XHM 4XMC, 5XTCФ		540-550	15-20	0,15-0,25	790-900	Молотовые штампы
4X5B2ФC 4X3BMФ 4X5MФ1C 3X3M3Ф	40-60	530-550	6-8 + 4-6	0,2-0,25	1100-1200	Инструменты гор. деформ., пресс-формы литые под давлением
		560-580	8-11	0,2-0,3	750-850	Инструменты гор. деформ., пресс-формы литые под давлением
3X2B8Ф 4X4BMФC 5X3B3MФC 4X2B5MФ	50-80	580-600	1-2	0,1-0,15	1150-1310	

Примечания: 1) Данные для быстрорежущих сталей приведены для азотирования в аммиаке. При добавлении в него азотоподородной смеси твердость снижается до 1100—1200 HV, но работоспособность повышается в 2—4 раза.

2) Штамповые стали под азотирование проходят закалку с пониженных температур.

Т а б л и ц а 10

Кратковременное азотирование с добавками углеродосодержащих газов [25]

Насыщающая среда	Температура, °С	Выдержка, ч	Примечание
Аммиак + 50% эндогаза (40% H ₂ + 20% CO + 40% N ₂)*	570	0,5-1	Перед азотированием детали обезжирить в парах трихлорэтилена или других растворителей**
Аммиак + 50% экзо-эндогаза (20% H ₂ + 20% CO + 60% N ₂) с точкой росы 0 °С	570	0,5-3	После окончания детали охлаждать в светлокалящем масле или в потоке защитного газа
Аммиак + 33% экзогаза (90% + 10% CO)***	560-580	1-4	
Аммиак + 50% пропана (C ₃ H ₈)****	570	2-10	Степень диссоциации аммиака 30-60%
Продукты пиролиза керосина, спирта или синтина (50%) + NH ₃ (50%)	570	1-6	

* Процесс называется "нитемпер" (США), "Наитемпер" (Япония), "Никотрование" (ФРГ), низкотемпературная нитроцементация или углеродозазотирование (СССР). Для деталей, работающих на усталость, выдержку увеличивают до 4-5 ч.

** При применении эндогаза ниже 700°С возможен взрыв.

*** За рубежом процесс называется "нитрон", взрывоопасен.

**** Процесс невзрывоопасен, недорогой. Толщина нитридного слоя 7-25 мкм.

Газовое азотирование в аммиаке с добавками углеродосодержащих газов (табл.10) проводят обычно при 560–580°С в течение 0,5–6 ч. Добавками могут служить: 1) 50% эндогаза или 50% метана (это низкотемпературная нитроцементация); 2) 50% экзогаза; 3) 50% пропана; 4) 50% продуктов пиролиза керосина, синтина или спирта. В этом случае на поверхности изделия вместо хрупкой ε-фазы Fe₃N образуется менее хрупкая карбонитридная зона Fe₃(N, C) толщиной 7–25 мкм. Такой слой обладает не менее высокой твердостью, износостоек, имеет хорошие противозадирные свойства и повышенный предел выносливости. Этот процесс рекомендован для замены жидкого азотирования (цианирования) при упрочнении кулачковых и коленчатых валов, шестерен, деталей станков, точной механики, штампового инструмента и режущего инструмента из быстрорезов. Недостатком этих процессов (за исключением азотирования в аммиачно-пропановой смеси) является большое содержание горючих газов (CO, H₂) в среде и ее взрывоопасность ниже 700°С, что заставляет применять меры безопасности, ведущие к усложнению конструкции печей (пламенный затвор у дверцы печи) и значительным затратам времени для нагрева печи до 800°С и ее последующего охлаждения до 570°С. В схему установки вводится устройство для контроля углеродного потенциала.

Т а б л и ц а 11

Способы местной защиты от азотирования

Способ защиты	Толщина наносимого слоя, мм
Гальваническое лужение	0,01 - 0,02
Гальваническое никелирование	0,05 - 0,06
Гальваническое цинкование	0,04 - 0,05
Гальваническое биметаллическое покрытие: свинец - цинк, медь - свинец, никель - свинец	1-й металл—0,005 1-й металл—0,015
Обмазки: Свинцово - оловянистая пыль (60;40) разбавляется на смеси: пять частей растит. масла, одна часть стеарина, две части свиного сала, две части смолы, одна часть хлористого цинка + жидкое стекло (2-кратное нанесение) с последующей сушкой 100-120°С	1 - 2

Технология подготовки деталей машин из конструкционных сталей к газовому азотированию описана в учебнике [10], а состав защитных слоев при местном азотировании приводится в табл. 11. Перед азотированием детали и инструменты должны быть тщательно обезжирены электрохимическим методом, промывкой в бензине. Поверхности высокохромистых сталей для удаления с них пленки Cr_2O_3 перед азотированием подвергают травлению в водном растворе соляной кислоты или в рабочее пространство печи вводят хлористый аммоний NH_4Cl .

3. Технология и режимы ионного азотирования. Ионное азотирование (азотирование в тлеющем разряде) осуществляется в специальных установках, включающих герметизированный контейнер, вакуумную систему, блок электропитания, оборудование для подачи насыщающих газов, приборы контроля и регулирования температуры (рис. 22). Технические характеристики их приведены в табл. П1.7. В разряженной атмосфере насыщающего газа между деталями, подключенными к отрицательному электроду (катоде), и стенкам контейнера (анод) возбуждается тлеющий разряд, сопровождающийся образованием положительных ионов аммиака и азота. Ионы газа бомбардируют поверхность деталей и насыщают ее. Процесс проводят в два этапа.

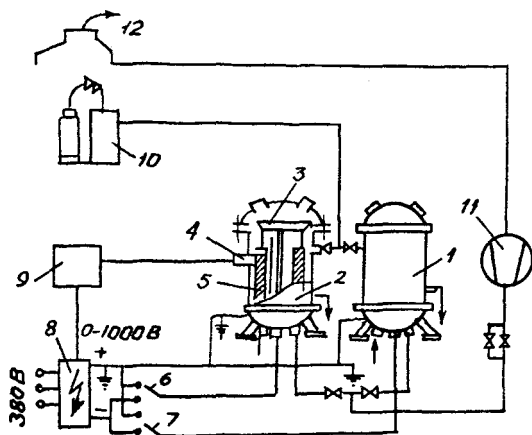


Рис. 22. Схема электропечи ионного азотирования ОКБ-1556: 1, 2 — нагревательные вакуумные камеры (анод); 3 — подвеска с деталями; 4 — термопара; 5 — обрабатываемые детали (катод); 6, 7 — разъединитель; 8 — тиристорный источник питания; 9 — блок измерения и регулирования температуры; 10 — газоприготовительная установка; 11 — вакуумный насос; 12 — вытяжная вентиляция

На первом этапе (катодное распыление) в течение 15–40 мин при напряжении 1100–1400 В и давлении 13–133 Па (0,1–1,0 мм рт. ст.) поверхность детали разогревается до 300–400° С, ионная бомбардировка очищает от окисных пленок и активизирует ее. Во второй стадии при напряжении 350–500 В и давлении газа 400–650 Па поверхность разогревается до рабочей температуры (500–530° С), на ней адсорбируется слой нитридов железа, которые под действием ионной бомбардировки разлагаются с образованием активного азота, диффундирующего в металл. Продолжительность стадии насыщения зависит от требуемой толщины слоя и колеблется от 1 до 24 ч. Охлаждение деталей производится в камере печи до 150–200° С при давлении 13–65 Па в течение 1–2 ч.

Перед азотированием детали тщательно обезжиривают, устанавливают в приспособления, на них же размещают металлические и диэлектрические экраны на расстоянии около 0,5 мм от неазотируемых поверхностей. Собранный садку деталей размещают в камере печи и подключают ее к катоду. Для деталей сложной формы для равномерного насыщения прибегают иногда к использованию профилированных анодов.

Процесс ионного азотирования чаще проводят в следующих средах: 1) для деталей простой формы — в диссоциированном аммиаке (25% N₂ + 75% H₂); 2) для деталей сложной формы — сначала (1/3 времени азотирования) в диссоциированном аммиаке, затем в смеси азота (80–90%) с аммиаком (20–10%), что обеспечивает равномерный упрочненный слой. Основные технологические параметры для режимов 1 и 2 приведены в табл. 12.

Возможны и другие газовые и температурные режимы ионного азотирования. Так, для получения хорошо развитого карбонитридного слоя Fe₃(N,C) к аммиаку добавляют пропан (8–10%), а для подавления образования нитридной зоны процесс ведут в 80–90% аргона и 20–10% аммиака. На заводах внедрен процесс ионного азотирования при температурах 350–400° С в атмосфере полностью диссоциированного аммиака инструментов из быстрорежущей стали (червячные фрезы, сверла, развертки, протяжки и т.п.) с образованием нехрупкого азотированного слоя толщиной 8–20 мкм и твердостью 1100–1250 HV, что повышает стойкость инструмента в 1,5–2,0 раза.

Таблица 12

Основные технологические параметры ионного азотирования деталей

Марка стали	Температ., °С	Газовый режим	Выдержка, ч, для получения слоя толщиной, мм					Твердость, <i>HV</i>
			0,15-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40	
40Х	520	1,2	4-5	7-9	9-12	12-15	15-18	500-550
40ХФА	520	1	4-5	6-8	9-12	15-18	-	
18ХГТ	530	1,2	4-5	6-8	8-10	12-15	15-18	510-560
	550	1,2	4-5	6-8	9-12	15-18	-	620-680
30ХЗМФ	530	1	3-4	4-5	6-8	9-12	15-18	530-600
	530	2	4-5	6-8	9-12	15-18	-	700-760
38Х2МЮА	550	1,2	4-5	5-7	6-8	9-12	15-18	900-950

Ионное азотирование, по сравнению с печным, ускоряет диффузию в 1,5–2,0 раза, позволяет получить диффузионный слой регулируемого состава и строения, характеризуется незначительной деформацией и высоким классом чистоты поверхности, дает возможность проводить азотирование без дополнительной делясвирующей обработки высокохромистых сталей, значительно сокращает время и повышает экономичность процесса.

4. Технология и режимы азотирования в жидких средах. Азотирование в жидких средах заключается в диффузионном насыщении стали азотом и частично углеродом в жидких расплавах различных солей, содержащих цианистую группу (CN). Оно, в отличие от газового азотирования, позволяет интенсифицировать процесс нагрева до заданной температуры, значительно сократить время насыщения и уменьшить деформацию изделий. После жидкого азотирования делают только доводку деталей до классных размеров.

В состав оборудования для осуществления процесса, кроме печей – ванн с электрическим или газовым обогревом и бортовыми вентиляционными отсосами вредных выделений, входят ванны для обезжиривания, предварительного подогрева до 350–450° С (дабы исключить захлаживание расплава солей), охлаждения и промывки деталей от налипших солей в горячей (80° С) воде. Для приготовления ванн жидкого азотирования используют азот–

нокислые соли NaNO_3 , KNO_3 , NaNO_2 , KNO_2 , соли содержащие цианиды NaCN , KCN , $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, $\text{Ca}(\text{CN})_2$, а также щелочные цианиты, например, KNCO , получаемый при сплавлении карбамида (мочевины) $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и поташа K_2CO_3 . Рабочие составы ванн могут быть различными.

До недавнего времени процесс вели в основном в ваннах на основе цианидных солей NaCN (30–50%) с добавками 15–30% Na_2CO_3 и нейтральных составляющих NaCl , NaOH , KOH (15–20%), которые понижают температуру плавления ниже рабочей и снижают концентрацию ядовитой группы CN до 26–28%. Иногда применяли ванны на основе желтой кровяной соли $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, но она склонна образовывать пористость поверхностного слоя. Процесс насыщения в указанных ваннах часто называют **низкотемпературным цианированием**. Оно используется в основном для дополнительной обработки инструментов из быстрорежущих сталей (сверла, метчики, протяжки и т.п.) после шлифования и заточки с насыщением в основном азотом на малую глубину (0,01–0,04 мм) при температуре 550–560° С в течение весьма короткого времени (15–40 мин). Низкотемпературное цианирование инструментов повышает теплостойкость, задиристость и износостойкость, что увеличивает срок эксплуатации их до переточки в 1,5–3 раза. Состав ванн и зависимость длительности от глубины насыщения приводится в табл. 13, 14.

Таблица 13

Составы ванн для низкотемпературного цианирования [16]

№ состава	Массовая доля активных солей, %		Массовая доля неактивных солей, %			Температ. плавления, °С	Скорость истощения активных солей, %/ч
	NaCN	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	Na_2CO_3	NaCl	KON		
1	50	-	32	18	-	515	0,6
2	30	-	45	25	-	535	0,5
3	-	90	-	-	10	500	1,25
4	-	75	-	-	25	490	0,50

Т а б л и ц а 14

Зависимость глубины слоя от времени выдержки и состава ванн низкотемпературного азотирования [16]

Выдержка, мин	Глубина слоя, мм, при массовой доле цианистых солей, %		
	90	50	30
5	0,008	0,006	0,006
15	0,020	0,018	0,015
30	0,035	0,030	0,030
45	0,037	0,035	0,035
60	0,045	0,043	0,040

В настоящее время наибольшее распространение получило жидкое азотирование в ваннах с рабочим составом (44–46% NaCN) + (42–45% KCNO) + Na₂CO₃ (остальное), которое используется на различных деталях машин (коленчатые и кулачковые валы, шестерни, шпиндели станков, шнеки и пр.), штампах, пресс-формах литья под давлением из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых легированных, штамповых и нержавеющей сталей при насыщении их на глубину 0,15–0,5 мм, а также инструментов из быстрорежущих сталей на глубину 0,05–0,12 мм. Жидкое азотирование в ряде случаев у нас проводят в ваннах на основе карбамида (NH₂)₂CO (56%) с добавками соды Na₂CO₃ или поташа K₂CO₃. В исходном состоянии карбамид, в отличие от цианидов, не ядовит, но в процессе работы и в этом случае в жидком расплаве образуются ядовитые цианистые соли, но в меньшем количестве (1–8%), чем в цианидцианатных ваннах. В процессе работы содержание цианидов истощается, поэтому для корректировки состава каждые два часа состав ванн корректируется добавкой NaCN. Процесс жидкого азотирования в цианидцианистых ваннах, разработанный в ФРГ, часто называют **тенифер-процессом**. Отличительной особенностью его является продувка расплава воздухом (кислородом), что позволяет в известной мере регулировать его активность (азотный потенциал), ускорить азотирование, обеспечить его равномерность в объеме ванны и проведение процесса в титановых тиглях, исключаяющих

образование $K_4Fe(CN)_6$. Более детальные сведения о составе ванн жидкого азотирования приводятся в [25].

Температуру и продолжительность насыщения азотом и час — углеродом при проведении тенифер — процесса определяют по диаграммам преимущественных режимов. Для некоторых сталей они приведены на рис. 23. При насыщении конструкционных сталей его обычно проводят при $550 - 580^\circ C$ в течение 1 — 3 ч (для тонкостенных деталей 30 мин — 1 ч, для крупных деталей 3 — 5 ч). Рекомендуемые режимы и получаемые характеристики диффузионного слоя для некоторых сталей приведены в табл. 15.

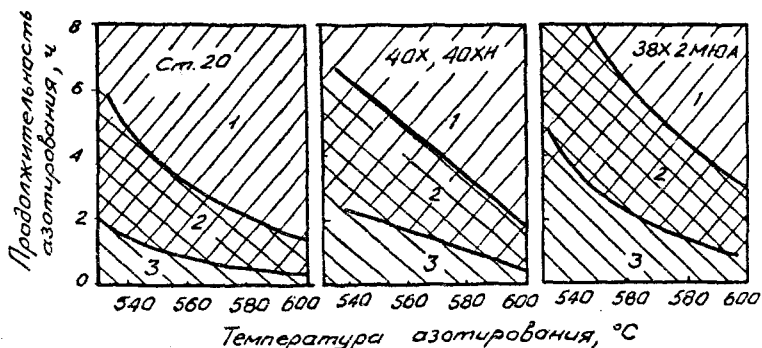


Рис. 23. Диаграмма преимущественных режимов жидкостного азотирования сталей: 1 — зона пористых слоев; 2 — зона, обеспечивающая высокое качество слоя; 3 — зона недостаточно развитого слоя

Поверхностная зона диффузионного слоя представляет собой оксикарбонитридную ϵ — фазу $(Fe, M)_{2-3}(N, C, O)$, содержащую 5 — 6% N, до 4,0% C и ~3% O. При неудачно выбранном режиме эта зона нередко содержит поры, полностью или частично заполненные оксидами железа Fe_2O_3 , что значительно снижает твердость и контактную прочность. Зона внутреннего азотирования состоит из высокотвердого азотистого α — раствора с выделениями в нем нитрида $(Fe, Me)_4N$ (γ' — фазы) игольчатой формы, тонкодисперсных нитридов легирующих элементов и исходных карбидов. В зависимости от режима термообработки до азотирования и режима охлаждения с температуры жидкого азотирования α — фаза может быть пересыщена и углеродом, и азотом (азотистый мартенсит).

Т а б л и ц а 15

Рекомендуемые режимы и характеристики диффузионного слоя при азотировании в цианиднатных ваннах (менифер-процесс) [24, 25]

Группа и марки сталей	Режимы		Характеристики слоя		
	Температура, °С	Продолж., ч	Общая глубина, мм	Толщина карбонитридной зоны, мкм	Твердость, НВ
Низкоуглеродистые, нелегированные Малолегированные, среднеуглеродистые (40Х, 40ХН и др.)	570	1,5-3	0,45-0,6	20-25	200-300
	570	1,5-3	0,3-0,45	20-25	450-700
Сталь 38Х2МЮА Штамповые стали (4Х4М2ВФС, Х12М и др.)	570	1,5-3	0,2-0,3	15-20	700-900
	550-570	1-3	0,07-0,25	5-8	600-850
Быстрорежущие стали (Р18, Р6М5 и др.)	550-560	0,1-1	0,05-0,12	1-3	1100-1200

В СССР предложены ванны на основе смеси цианата калия KCNO (75–85%) и карбоната калия K_2CO_3 (15–25%). Процесс насыщения в них называют карбонитрацией. Она, как и низко – температурное цианирование, используется для обработки в основном режущих инструментов из быстрорежущих сталей при 550–560° С с выдержкой около 20 мин. Глубина диффузионного слоя такая же, как и при цианировании; структура — темнотравящаяся зона — мартенсит, дисперсные карбонитриды легирующих элементов и карбиды, легированные азотом. В ваннах для карбонитрации концентрация наиболее опасной составляющей (группы CN) значительно ниже, чем в ваннах для низкотемпературного цианирования.

В целом жидкостное азотирование в 1,5–2 раза производительнее газового, дает несколько меньшую твердость, но по износостойкости не уступает ему. Однако токсичность применяемых солей, сложность обезвреживания цианистых отходов и контроля состава ванн ограничивают его применение.

Кроме описанных в цикле ХТО могут применяться сульфозотирование, борирование, хромирование и другие процессы. При необходимости их разработки следует обратиться к книге Ю. М. Лахтина и Б. Н. Арзамасова [24].

В записке по данному разделу 8.2 следует:

- обосновать необходимость и выбрать один из способов поверхностного упрочнения в связи с общей технологией упрочняющей обработки;

- кратко описать физико – химическую сущность процесса и особенности формирования структуры и свойств диффузионного слоя;

- описать технологию проведения и привести ее режимы (температуру, длительность, состав насыщающей среды, способ охлаждения, подготовительные и заключительные операции) и получаемые свойства;

- привести схематическую зарисовку микроструктуры диффузионного слоя.

9. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ, СВЯЗАННЫЕ С ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Кроме описанных выше основных операций термической и химико – термической обработки при изготовлении деталей машин и инструментов в термических цехах выполняют дополнительные и вспомогательные операции, которые оказывают значительное влияние на эксплуатационные свойства изделий, их товарный вид, или без которых невозможно проведение основных операций термообработки. В зависимости от назначения они могут выполняться перед основными, между ними или как финишные в конце изготовления. В курсовой работе они должны найти отражение в карте технологического процесса и кратко описаны в записке с указанием их назначения.

Рассмотрим сначала некоторые наиболее часто выполняемые вспомогательные операции.

1. Очистка изделий от следов жира, масла, смазочно – охлаждающих жидкостей и загрязнений перед закалкой и ХТО, а также для удаления остатков солей и пригоревшего масла на закаленных деталях и инструментах производится путем промывки их в течение 3 – 5 мин в горячих ($60 - 80^{\circ} \text{C}$) щелочных ваннах [8, 16], представляющих водный раствор NaOH (8 – 10%) с добавками тринатрийфосфата $\text{Na}_3 \text{PO}_4$ (1,5 – 2%) и жидкого стекла $\text{Na}_2 \text{SiO}_3$ (0,2 – 0,5%). Для этого используются также 3% – е водные растворы каустической соды и 10% – е водные растворы кальцинированной соды. Допускается применение моющих средств синтол ДС – 10 и ДС – 20, препаратов вертолин – 74 с обязательной последующей обмывкой теплой водой и сушкой.

2. Удаление окалины после окончательной термообработки (отпуска) достигается травлением в подогретых растворах HCl (18 – 20%) в течение 18 – 20 мин с последующей нейтрализацией в ваннах с горячими ($60 - 80^{\circ} \text{C}$) растворами 2% – й кальцинированной соды (химическая очистка). Травление высокопрочных сталей категорически запрещено из – за снижения свойств.

Для удаления окалины и окислов чаще всего используют гидropескоструйную обработку смесью воды и кварцевого песка или электрокорунда $\text{Al}_2 \text{O}_3$ (400 г/л) в гидropескоструйных аппаратах (гидроочистка). Наиболее тщательная очистка поверхностей достигается дробеструйной (дробеметной) обработкой (дробь зер –

нистостью 0,3–0,8 мм подается под давлением 50–60 МПа в течение 15–30 мин) с предварительной вываркой в кипящей воде.

3. Пассивирование проводят после всех видов очистки в водных растворах нитрита натрия (1–1,5%) с добавками кальцинированной соды при температуре 70–80° С. Ему подвергают обычно инструменты и некоторые детали машин для предохранения от коррозии в условиях цеховой атмосферы.

4. Правка покоробленных при закалке инструментов и деталей машин стержневой формы производится на ручных винтовых прессах в нагретом состоянии до температуры, не превышающей температуру отпуска, путем постепенного надавливания на выпуклую часть, после чего их оставляют под давлением до полного охлаждения. Для правки крупных деталей (например, коленчатых валов) применяют мощные гидравлические прессы. Некоторые инструменты (развертки, сверла и т.п.) можно править сразу после закалки ударами рихтовального (медного) молотка по прогнутой части при расположении инструмента на подушке из мягкого металла.

Способ рихтовки применим и для правки деталей небольшой толщины, имеющих плоскую форму. При этом положенная на плиту деталь выстукивается быстрыми и легкими ударами бойка рихтовального молотка по той стороне, где имеются впадины. Лучше правятся изделия с вязкой сердцевиной из цементуемых и из углеродистых инструментальных сталей с несковозной прокаливаемостью, а также высоколегированные стали, содержащие после закалки повышенное количество остаточного аустенита.

Некоторые закаленные детали сложной формы правке не поддаются. Для них целесообразно совмещать правку с закалкой, применяя закалку в штампах. Правку можно производить и во время отпуска деталей в заневоленном состоянии (пружины на оправке).

Из дополнительных операций термообработки наиболее распространены следующие.

1. Дополнительный отпуск предназначен для уменьшения внутренних (остаточных) напряжений, возникающих при заточке и шлифовании инструмента в тонких (несколько десятых долей мм) поверхностных слоях. Наличие растягивающих шлифовочных напряжений существенно снижает усталостную прочность и коррозионную стойкость, особенно на изделиях с высокой твердостью из высокоуглеродистых сталей. Дополнительному отпуску

обычно подвергают режущие и штамповые инструменты и некоторые низкоотпущенные детали машин (подшипники качения, шейки коленчатых валов и пр.). Температура дополнительного отпуска не должна превосходить температуру ранее проведенного основного отпуска и чаще всего составляет $140-160^{\circ}\text{C}$, время выдержки $0,5-2$ часа.

2. Азотирование или цианирование в жидких средах проводят на режущих и штамповых инструментах и некоторых деталях машин для дополнительного упрочнения поверхностного слоя на глубину несколько сотых долей мм с целью повышения предела выносливости, износостойкости, задиростойкости и других эксплуатационных качеств на окончательно готовых деталях. При этом снимаются шлифовочные напряжения и отпадает необходимость в дополнительном отпуске, но требуется промывка для очистки от солей. Выбор сред (варианта ХТО) и режимов такой обработки для различных инструментов приведен в книге [8] и описан выше (см. п. 8.4).

3. Оксидирование заключается в контролируемом окислении поверхности инструментов и деталей машин при нагреве их до $480-570^{\circ}\text{C}$ с целью повышения коррозионной стойкости и износостойкости, улучшения товарного вида продукции. Оксидирование снимает шлифовочные напряжения, вызывает дополнительное старение после азотирования и цианирования, что повышает твердость поверхности на $100-400\text{ HV}$, уменьшает адгезию и коэффициент трения при работе инструмента. Способы и режимы проведения оксидирования кратко описаны там же [8].

10. ДЕФЕКТЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Дефекты изделия — это отклонения от нормального качества, предусмотренного государственными стандартами (ГОСТами), отраслевыми стандартами (ОСТами) и техническими условиями (ТУ) на поставку продукции заказчику, что отражается в чертежах в виде технических требований на детали, узлы и изделия. Наличие дефектов в готовых деталях ведет к снижению степени годности при использовании их по назначению или к полной невозможности такого использования — браку. Брак может

явиться следствием наличия в готовых деталях или полуфабрикатах дефектов чисто металлургического происхождения (раковины, волосовины и пр.), дефектов горячей и холодной обработки давлением и, наконец, следствием нарушения действующей технологии термической обработки или неверно назначенных режимов ее проведения. Некоторые дефекты могут быть исправлены повторной обработкой.

Неправильно проведенная термообработка может вызвать различные дефекты. Наиболее распространенными дефектами при закалке деталей машин и инструментов являются: пережог, перегрев, недостаточная твердость, пестрота твердости, обезуглероживание и окисление поверхности, коробление (поводка) деталей и трещины. При цементации и нитроцементации возможны следующие дефекты: сплошная или разорванная цементитная сетка по границам бывших аустенитных зерен, крупные ($d > 1$ мкм) изолированные включения карбидов и нитридов в поверхностном слое, "темная составляющая" (продукты внутреннего окисления) в диффузионном слое нитроцементованных деталей, крупнозернистость, обезуглероживание поверхностного слоя или образование сплошной корки карбидов на поверхности. Характерными дефектами азотированных деталей являются: а) хрупкость и шелушение поверхностного слоя, ведущие к образованию мелкой сыпи и густой сетки мелких трещин при доводочных операциях, что связано с наличием угощенной зоны ϵ — фазы, б) пористость зоны внутреннего азотирования, возникающая при повышенной температуре и времени выдержки при азотировании.

Сущность указанных дефектов приводится в учебной и справочной литературе [8, 9, 10, 15], а также описана выше при назначении режимов термообработки, которые выбираются с учетом их недопущения при обработке. В [8, 15, 24] описаны и некоторые другие специфические дефекты, возникающие при термообработке отдельных деталей и инструментов.

Высокое качество термообработанных деталей обеспечивается как обоснованным назначением технологических режимов, так и соответствующим техническим контролем технологических процессов термообработки и качества продукции. Объектами контроля качества продукции являются исходные материалы (входной контроль), детали на отдельных этапах их термообработки (промежуточный контроль), и готовые детали (окончательный контроль).

ный или выходной контроль). Контроль осуществляется в соответствии с техническими требованиями чертежа, в которых перечислены объекты контроля, контролируемые характеристики и средства контроля, процент контроля от партии, допускаемый разброс в свойствах. Контроль может быть 100% — м (для продукции ответственного назначения) и выборочным.

10.1. КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ

1. Контроль и регулирование температуры печного пространства печей осуществляется обычно автоматическими электронными потенциометрами (ЭП) с записью температуры на дисковой диаграмме или ленте и регулирующим устройством, включающим или выключающим печь при отклонении температуры от заданной на некоторую малую величину.

Датчиками потенциометров служат термопары, изготовленные из двух зачехленных проволочек разнородных сплавов: хромель — алюмель (ХА) — для регистрации температур до 1100° С, хромель — копель (ХК) — до 600° С, платинородий — платина (ПП) — до 1600° С и др. "Горячий спай" проволочек термопары размещается в печи, а холодный — подключается к потенциометру, установленному на щите управления температурным режимом. Показания термопар соответствуют электродвижущей силе, возникающей в термопаре, и регистрируются потенциометром по шкале градуировок ХА, ХК, ПП. В печах периодического действия, как правило, устанавливается одна термопара. Распределение температуры всего печного пространства изучается предварительно, по результатам такого измерения регламентируется распределение садки на площади пода печи. В методических и конвейерных печах, имеющих различное заданное распределение температуры по зонам, контроль и регулирование температуры производится для каждой зоны с использованием многоточечных потенциометров.

Регистрация температуры может осуществляться непосредственно милливольтметрами, датчиками которых являются термопары указанных типов. Регулирование температурного режима печи в этом случае осуществляется обычно вручную с помощью реостатных устройств, смонтированных на печи.

Для контроля температуры нагрева внепечных процессов (например, при поверхностной закалке) используются оптические и фотоэлектрические пирометры. Однако точность регистрации температуры ими недостаточно высокая, а средства регулирования температуры на основе этих приборов ненадежны. Регулирование таких процессов ведется обычно по другим параметрам, связанным с температурой.

2. Контроль углеродного потенциала при газовой цементации с использованием жидких карбюризаторов осуществляется по числу капель, подаваемых в рабочее пространство печи в минутах (см. пункт 8, 1). Процесс можно контролировать по виду факела при горении отходящих газов, длина которого должна быть 150—300 мм, цвет пламени — оранжевый или желто — оранжевый без копоти.

При цементации в газовой среде (например, эндогазе с добавками природного газа) контроль и регулирование насыщающей способности среды проводят по содержанию паров воды, характеризующему точкой росы, либо по содержанию CO_2 с помощью приборов, использующих инфракрасное излучение. Принцип работы системы регулирования углеродного потенциала в таких печах описан в работе [24].

3. Контроль расхода газа при азотировании осуществляется ротаметром, давление — манометром, а его состав, определяющий азотный потенциал, — по степени диссоциации аммиака в отходящей из печи аммиачно — азотно — водородной смеси с помощью ручных или автоматических диссоциометров и другими методами, описанными в работе [24]. Требуемая степень диссоциации аммиака сильно зависит от температуры процесса, измеряемой термопарой и регулируемой потенциометром, как описано в п. 1, и устанавливается опытным путем с отражением в технологической инструкции.

4. При нагреве под закалку и ступенчатой закалке в расплаве солей и селитр контролируют температуру ванн (как описано ранее) и их обезуглероживающую активность. Основным средством предотвращения обезуглероживания является периодическое раскисление (ректификация) ванн различными веществами [8]. Периодичность раскисления зависит от температуры ванны, состава раскислителей и устанавливается опытным путем, что отражается в технической документации термического цеха (обычно через несколько часов непрерывной работы).

5. **Контроль закалочных масел** производится периодически (обычно один раз в три месяца). Контролируют содержание воды (не более 0,1%), механических примесей (не более 0,15%) и кинетическую вязкость при 50° С, которая для масел И12А, И20А, И30А (ГОСТ 20799—75) должна быть не более 33 сантистоксов. При превышении указанных норм производят регенерацию масел и очистку от механических примесей или добавляют свежее масло.

10.2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ

В термических цехах предприятий применяют разнообразные методы и виды контроля продукции. Наиболее распространены следующие:

1. **Контроль твердости** является самым распространенным и универсальным способом контроля. Ее определяют при входном, промежуточном и окончательном контроле полуфабрикатов и изделий.

Определение твердости стальным закаленным шариком по Бринеллю (ГОСТ 9012—59) производится на приборе типа ТШ (твердомер шариковый). Этим методом испытываются главным образом поковки, отливки, улучшенные и нормализованные круп — ные изделия и прокат из черных и цветных металлов с твердостью от 8 до 450 *НВ*. При толщине испытываемого образца $h \geq 6$ мм из черных металлов диаметр шарика D берется 10 мм, нагрузка $P = 3000$ кг, время выдержки под нагрузкой — 10 с. Число твердости устанавливается по диаметру отпечатка d с использованием таблицы и обозначается *НВ*. При иных условиях испытания, оговоренных в чертёже, при *НВ* проставляются соответствующие индексы.

Определение твердости алмазным конусом с углом при вершине 120° по Роквеллу на приборе типа ТК (твердомер конусный) (ГОСТ 23677—79) производится на термически упрочненных стальных деталях толщиной не менее 1,5 мм. Число твердости, определяемое при общей нагрузке 150 кг, обозначается HRC_{30} , пределы измерений — от 20 до 67 HRC_{30} . Для тонких деталей устанавливается нагрузка 60 кг, число твердости обозначается *HRA*, пределы измерения от 70 до 85 *HRA*. Результат замера твердости HRC_{30} и *HRA* отсчитывается по черной шкале прибора.

Измерение твердости по Роквеллу является весьма простым, производительным, не оставляет больших повреждений на поверхности и нашло самое широкое распространение в термических цехах.

На приборе типа ТК можно контролировать твердость и термически неупрочненных стальных деталей, и деталей из цветных сплавов. В этом случае в качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм (1/16"), общая нагрузка 100 кг, минимальная толщина детали 2,0 мм, пределы измерения от 25 до 100 *HRB*.

Определение твердости вдавливанием алмазной пирамиды по Виккерсу (ГОСТ 9030—75) на приборе типа ТП производится по среднеарифметической длине диагоналей отпечатка и обозначается *HV*. Указанным методом определяют твердость тонких поверхностных слоев, образующихся при ХТО (азотирование, цинкование и т.п.) и гальванических покрытиях. Минимальная толщина слоя должна быть больше диагонали отпечатка в 1,2 раза. Пределы измерения *HV* от 15 до 1530 единиц, но обычно на приборе ТП контролируют высокую твердость $HV > 700$ ($HRC_9 > 60$).

По виду отпечатка осуществляется контроль хрупкости азотированного слоя. Для этого разработана специальная шкала хрупкости [24, с. 187].

Определение твердости по методу упругого отскока бойка — по Шору *HS* прибором ШРС производится редко — на крупногабаритных закаленных деталях (например, на валках прокатных станков), когда на измеряемой поверхности недопустимы какие-либо повреждения в виде уколов, а применение образцов-свидетелей не дает сопоставимых с реальной деталью результатов. Мера твердости по Шору — высота отскока стального бойка весом 2,5 кг, падающего на деталь с высоты 254 мм. Шкала прибора, устанавливаемого на деталь, имеет 140 равных делений, деление 100 соответствует твердости закаленной на мартенсит высокоуглеродистой стали.

Числа твердости, полученные различными методами, сопоставляются по специальным переводным таблицам.

При определении твердости любым из указанных методов измеряемая поверхность не должна иметь окалины и трещин. Поэтому перед замером твердости она зачищается на наждаке на глубину 0,3—0,4 мм, при использовании защитных сред и соляных

ванн при закалке — на глубину 0,1 — 0,2 мм, а при нагреве в аргоне и вакууме — до 0,1 мм. При замере твердости HRC_3 круглых тонких деталей ($d < 5$ мм) вносятся поправки на кривизну поверхности [16]. При замере твердости HB криволинейных поверхностей готовится плоская площадка размером 20x20 мм. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков при измерении на приборе ТК должно быть не менее 2 — 2,5 мм, такое же расстояние должно быть от края детали. Места замера твердости ответственных и сложных по форме деталей указываются в чертеже. Число замеров твердости данного участка должно быть не менее трех, результаты замеров осредняются. Число проверяемых на твердость участков длинномерных деталей регламентируется чертежом.

Опорная поверхность, устанавливаемая на предметный столик прибора, должна быть ровной и обеспечивать устойчивое положение детали во время замера твердости, чтобы избежать грубых ошибок. При замере твердости цилиндрических деталей их устанавливают в V-образную подставку с углом развала 120° . Для замера твердости сложных по форме деталей изготавливаются специальные приспособления — подставки, которые должны обеспечивать полное отсутствие качки и деформации детали (рис. 24).

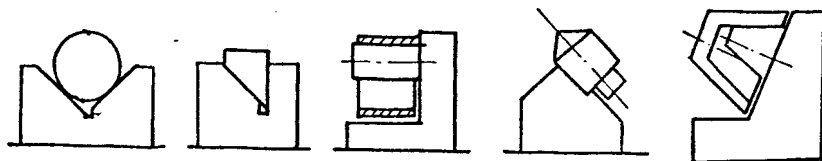


Рис. 24. Опорные столики для прибора ТК

2. Контроль механических свойств при испытаниях на растяжение (σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ), на ударный изгиб (KCU , KCV , KCT) и другие виды деформации производится в основном для крупных тяжело нагруженных и ответственных термически обработанных деталей (роторы турбин, крупные коленчатые валы, штоки прессов, крупные отливки и т.п.). Для этого на них предусматриваются места отбора проб, которые отрезаются после термообработки изделия, разрезаются на отдельные образцы, после изготовления

которых их подвергают испытанию в ОТК цеха или в ЦЗЛ завода. Номенклатура проверяемых механических свойств и их значения указываются в чертеже детали. Для большинства деталей и инструментов механические свойства не определяют, а судят о них по твердости. В частности, предел прочности σ_b стальных деталей рассчитывают по твердости по Бриннелю $\sigma_b \approx 0,36 HB$ кгс/мм² или определяют по таблицам в зависимости от значений *HB* и *HRC*_э.

3. Металлографические виды контроля, используемые в термических цехах, весьма разнообразны. Их выбор зависит от конкретной детали или инструмента, марки стали, типа производства и других факторов.

В частности, в инструментальном производстве существует обоснованная практика входного контроля легированной инструментальной стали в состоянии поставки. На макрошлифах такой стали определяют центральную пористость и ликвационный квадрат, которые допускаются лишь для инструментов, имеющих центральное отверстие (долбяки, червячные фрезы, крупные матрицы и т.п.) и не допускаются в инструментах типа протяжек, сверл, концевых фрез, игл для прессования труб и т.п. На микрошлифах заготовок инструментальной стали контролируют:

а) карбидную ликвацию — наличие карбидной сетки, ее остатков, крупных изолированных карбидов; скопление карбидов любой величины способствует выкрашиванию режущих кромок, появлению трещин и потому недопустимо;

б) размер зерна и дисперсность перлита — наличие крупнозернистого грубопластинчатого перлита ухудшает обрабатываемость резанием и способствует получению крупноигльчатого мартенсита после закалки, для устранения этого дефекта назначают дополнительный (исправительный) отжиг.

Степень карбидной ликвации, размер зерна и дисперсность перлита оценивают по шкале бальности, регламентированном стандартами или технологическим инструкциям завода (см. ГОСТы на легированные инструментальные и быстрорежущие стали).

Детали, изготавливаемые из крупных поковок, подвергают выборочному макроконтролю на ликвацию серы, углерода и наличие флокенов по нормам, разработанным предприятием.

На ответственных термически обработанных деталях и инструментах производится выборочный контроль микроструктуры.

При удовлетворительной закалке заэвтектоидных и ледебуритных сталей она должна содержать безигольчатый (скрытнокристаллический) или мелкоигольчатый мартенсит и избыточные равномерно распределенные карбиды. Перегрев обнаруживается по появлению крупноигольчатости мартенсита. Наличие темных участков тростита свидетельствует о недогреве или недостаточной интенсивности охлаждения. Наличие светлых участков феррита в структуре закаленных конструкционных сталей свидетельствует о недогреве и является браковочным признаком. Исследование микроструктуры проводят на шлифах, вырезанных из деталей или образцов – свидетелей.

Обязательному выборочному (3–5%) контролю микроструктуры подвергают поверхностно закаленные, цементированные и азотированные детали и инструменты. На поверхностно закаленных деталях выявляют такие дефекты как перегрев (по появлению крупноигольчатости мартенсита), недогрев (по наличию включений феррита), наличие троститных пятен. По цвету травимости шлифа устанавливают глубину закаленного слоя. На цементированных и нитроцементированных деталях после закалки при микроанализе обнаруживаются такие дефекты как сетка цементита, троститные полосы или участки, немартенситные составляющие, связанные с внутренним окислением, повышенное содержание остаточного аустенита, появление структурно свободного феррита на поверхности, крупнозернистость сердцевины. Глубина упрочненного слоя выявляется в виде зоны повышенной травимости. На азотированных деталях при микроисследовании четко выявляются различные по фазовому составу зоны диффузионного слоя, наличие таких дефектов как пористость, наличие выкросшек (сыпи) и шелушения поверхности с утолщенной зоной ϵ – фазы. Контроль производится на шлифах, вырезанных непосредственно из детали или образца – свидетеля. На заводах с крупносерийным и массовым производством разработаны эталонные шкалы микроструктур для ходовых марок стали после соответствующей термообработки, с которыми сравниваются исследуемые детали и производится оценка их годности.

4. Фрактографический контроль производят на изломах путем их визуального осмотра или с помощью электронно-микроскопического исследования. Электронно-фрактографические исследования производят в основном в научных лабораториях. Визуальным осмотром изломов выявляется перегрев и пережог

при ковке и термической обработке, глубина упрочненного слоя при поверхностной закалке и ХТО. По виду излома оценивается качество термообработки. При удовлетворительной закалке излом матово — серый, фарфоровидный, шелковистый. Присутствие характерных блесков свидетельствует о нафталинистом (мраморном) изломе высоколегированных инструментальных сталей, который охрупчивает сталь. Он наблюдается при закалке с повышенных температур, если при горячей обработке давлением температура ее окончания была излишне высокой (1050 — 1100° С) или при выполнении повторной закалки без промежуточного отжига.

5. Неразрушающие виды контроля (ГОСТ 18353 — 79). К ним относятся визуально — оптический контроль, магнитная, люминесцентная, рентгеновская и ультразвуковая дефектоскопия. Все они предназначены для выявления трещин и других несплошностей на поверхности и внутри металлических изделий и находят все более широкое применение в термических цехах.

Визуально — оптический контроль ведется невооруженным глазом или с помощью бинокулярной лупы с увеличением до 30 раз. Минимальный размер дефекта составляет 0,1 — 0,2 мм, а с оптикой — несколько сотых долей мм. Он производится на всех закаленных деталях и инструментах (100%) после очистки их от окалины. При соответствующей квалификации калильщика отсеиваются большинство деталей, бракуемых по поверхностным трещинам.

Магнитно — порошковые дефектоскопы работают на принципе рассеивания магнитного поля в зоне поверхностных и подповерхностных (до 10 мм) мелких трещин в стальных деталях и инструментах. Частицы ферромагнитного порошка, нанесенного на поверхность, попадая в зону магнитного поля рассеяния, под действием магнитных сил притягиваются к границам дефекта и оседают на них, в результате чего ранее невидимый дефект становится хорошо заметным. Этим методом контролируются пружины, рессорные листы, режущие и мерительные инструменты и прочие детали после их закалки и очистки от окалины или в готовом виде. Открытые поверхностные дефекты (микротрещины) можно выявить люминесцентным методом.

Он состоит в том, что нанесенный на поверхность детали флуоресцирующий раствор (смесь трансформаторного масла, керосина и специального зелено — золотистого порошка) всасы —

вается в микротрещины и после просушки под действием ультрарафиолетовых лучей светится зеленоватым светом и позволяет тем самым их выявить. Люминесцентным методом можно контролировать детали не только из ферромагнитных материалов (стали, чугуны), но и немагнитных материалов (алюминиевые, титановые, магниевые и другие цветные сплавы). Наиболее прост магнитный метод, при необходимости им можно контролировать 100% стальных деталей и инструментов. Объем контроля устанавливается в зависимости от ответственности деталей, марки материала и склонности его к трещинообразованию и указывается в технологической карте. Там же оговариваются нормы допустимых дефектов.

Рентгеноскопия заключается в различном поглощении рентгеновских лучей в различных средах (качественным металлом и дефектами). Проходя через толщу исследуемого металла с дефектами, они ослабляются в разной степени в различных местах, что фиксируется на фотоплёнке в виде светлых и темных участков. **Ультразвуковая дефектоскопия** обнаруживает дефектные места при распространении упругих колебаний ультразвукового и частично звукового диапазона частот. Эти методы применяются для обнаружения внутренних дефектов в отливках (усадочные раковины, рыхлоты, газовые пузыри, пористость, трещины, шлаковые включения и пр.), в кованных и штампованных деталях (трещины, надрывы, расслоения и др.), в сварных соединениях (раковины, пористость, непровары, трещины и пр.) как в исходном состоянии, так и после термообработки. Им подвергают, как правило, крупные детали. Предельные толщины рентгеновского просвечивания составляют: на стали — не менее 100 мм, на алюминиевых сплавах — 300—400 мм, на меди — 60 мм. Ультразвуком обнаруживаются мелкие (менее 1—2 мм) глубоко залегающие (до метра) трещины и другие дефекты. Объем контроля зависит от степени ответственности детали и указывается в технологической карте. Там же указываются нормы допустимых дефектов (размер, количество, глубина залегания и пр.).

6. Контроль химического состава стали (по содержанию углерода и основных легирующих элементов) должен производиться при поступлении партии металла с металлургического завода на склад машиностроительного завода. При хорошо налаженном входном контроле и четкой организации межцеховых маршрутов полуфабрикатов химический состав стали больше не

проверяют. В отдельных случаях, когда необходимо режим тер – мообработки некоторых инструментов увязать с содержанием углерода или некоторых легирующих элементов, прибегают к дополнительному контролю химического состава. Его производят и тогда, когда возникают подозрения в перепутывании марок стали при межцеховых или внутрицеховых перевозках, а также при необходимости детального анализа распределения элементов по глубине диффузионных слоев после цементации, нитроце – ментации, азотирования и других видов ХТО.

Для контроля химического состава готовятся навески в виде стружки, которые отбираются из исследуемой стали (заготовки, полуфабриката, детали). Для определения химического состава используют метод химического количественного анализа или (чаще) спектральный анализ.

7. Контроль деформации при термообработке производится на деталях сложной формы (коленчатые и распределительные валы, режущие, мерительные и штамповые инструменты), на деталях малой жесткости (длинные валы, протяжки, иглы, тонкие плоские детали и т.п.) и на высокоточных деталях (кольца под – шипников качения и т.п.), которые склонны к короблению (по – водкам) при термической обработке. У деталей и инструментов стержневой формы (валы, протяжки, кольцевые фрезы и т.п.) контролируется кривизна по величине биения, определяемого индикатором при проворачивании детали, установленной в цен – трах. При этом наибольшая кривизна (наибольшее биение) детали на сторону не должна быть больше половины припуска на последующее шлифование, чтобы полностью вывести черноту при шлифовании. При обнаружении недопустимого биения про – изводят правку (рихтовку) (см. разд.9), что является вынужденной операцией, которую по возможности следует избегать, применяя меры борьбы с короблением, описанные ранее (см. разд.7.1, 7.2).

Кривизна плоских деталей проверяется на плите при помощи щупа. Контроль геометрии сложных по форме закаленных изде – лий производится в специальных приспособлениях с использо – ванием лекал, щупов, индикаторов и других мерительных ин – струментов.

Операции контроля геометрии и правки покоробленных де – талей выполняют совместно одна за другой. Их проводят обычно после закалки на очищенных деталях. Контроль деформации и правку инструментов из высоколегированных инструментальных

сталей производят не только после закалки, но и после отпуска, так как распад остаточного аустенита в них при отпуске может вызвать новые (дополнительные) поводки. Повышенное коробление (если не принять мер по предотвращению его) может возникнуть и при проведении цементации, азотирования и поверхностной закалки. Поэтому контроль геометрии сложных по форме и высокоточных деталей производится и после этих операций.

Объем контроля устанавливается для каждой детали индивидуально и указывается в технологической документации. Более сложные по форме детали (коленчатые валы и т.п.) и многие режущие и штамповые инструменты (протяжки, сверла, развертки, метчики, концевые фрезы, иглы для прессования труб и т.п.) проходят обычно 100% – й контроль геометрии.

В заключение укажем, что контрольные операции должны быть внесены в технологическую карту с указанием типа приборов и средств контроля. В записке следует обосновать выбор необходимых методов и кратко указать их сущность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В. Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
2. Журавлев В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали: Справочник. М.: Машиностроение, 1992. 332 с.
3. Классификация и термообработка конструкционных сталей: Метод, разработка / Куйбышев. авиац. ин – т; Сост. А. А. Мельников, Куйбышев, 1990. 44 с.
4. Высокопрочные и специальные стали: Метод. указания / Куйбышев. авиац. ин – т; Сост. Е. М. Минаев. Куйбышев, 1990. 37 с.
5. Инструментальные стали и сплавы: Метод. указания / Куйбышев. авиац. ин – т; Сост. Н. П. Морозов. Куйбышев, 1990. 48 с.
6. Коррозионно – стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы: Метод. разработка / Куйбышев. авиац. ин – т; Сост. Ю. К. Фавстов. Куйбышев, 1990. 30 с.
7. Тышкин М. А. Справочник термиста ремонтной службы. М.: Металлургия, 1981. 648 с.
8. Башнин Ю. А., Ушаков Б. К., Секей А. Г. Технология термической обработки. М.: Металлургия, 1986. 424 с.
9. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
10. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1986. 360 с.
11. Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981. 416 с.
12. Попов А. А., Попова Л. Е. Диаграммы распада переохлажденного аустенита. М.: Металлургия, 1965. 495 с.

13. Ковка и штамповка: Справочник / Под ред. Семенова Е. И. Т.1. М.: Машиностроение, 1985. 568 с.
14. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 527 с.
15. Самоходский А. Н., Парфеновская Н. Г. Технология термической обработки металлов. М.: Машиностроение, 1976. 311 с.
16. Фиргер И. В. Термическая обработка сплавов: Справочник. Л.: Машиностроение, 1982. 304 с.
17. Заббаров Р., Борзунов А. А. Авиационные литейные сплавы: Учеб. пособие / Куйбышев. авиац. ин-т; Куйбышев, 1989. 63 с.
18. Производство отливок из сплавов цветных металлов. М.: Металлургия, 1986. 416 с.
19. Колачев Б. А., Габидулин Ф. М., Пигузов Ю. В. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980. 280 с.
20. Литейные алюминиевые сплавы: Метод. разработка / Куйбышев. авиац. ин-т; Сост. Г. З. Бунова. Куйбышев, 1990. 40 с.
21. Сегов Ю. С., Агаскин А. М. Справочник молодого термиста. М.: Высш. шк., 1986. 238 с.
22. Гольдштейн М., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 407 с.
23. Гедсон В. М., Пайсов И. В. Термическая обработка валков холодной прокатки. М.: Металлургия, 1963. 344 с.
24. Лахтин Ю. М., Арзамасов. Химико-термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985. 256 с.
25. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина и А. Г. Рахштадта. М.: Машиностроение, 1980, 783 с.
26. Каменичный И. С. Краткий справочник технолога-термиста. Киев: Машгиз, 1963. 285 с.
27. Позняк Л. А., Скрынченко. Штамповые стали. М.: Металлургия, 1980. 280 с.
28. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей: Справочник / Под ред. В. Д. Кальнера. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.
29. Брюханов А. Н. Ковка и объемная штамповка. М.: Машиностроение, 1975. 408 с.
30. Семенов Е. И. Ковка и объемная штамповка. М.: Высш. шк., 1972. 352 с.
31. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. М.: Машиностроение, 1976.

Приложение 1

ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Индексация печей для термической обработки

Первая буква — вид нагрева

Нагрев	Обозначение	Нагрев	Обозначение
Газовый	Г	Индукционный	И
Сопротивления	С	Пламенный	П

Вторая буква — основной конструкционный признак

Конструкционный признак	Обозначение	Конструкционный признак	Обозначение
Карусельная	А	Конвейерная	К
Баранная	Б	Камерная	Н
Ванна	В	Протяжная	П
Колпаковая	Г	Рольганговая	Р
Выдвижной под	Д	Толкательная	Т
Подвесной конвейер	Е	Шахтная	Ш
Пульсирующий под	И	Элеваторная	Э

Третья буква — рабочая среда

Среда	Обозначение	Среда	Обозначение
Азот	А	Окислительная атмосфера	О
Вакуум	В	Пар водяной, вода	П
Металлы	Г	Соль, селитра	С
Защитная атмосфера	З	Цементационный газ	Ц
Масло	М		

Четвертая буква — отдельные особенности

Особенность	Обозначение	Особенность	Обозначение
Агрегат	А	Механизированная	М
Лабораторная	Л	Непрерывного действия	Н
Вертикальная	В	Периодического действия	П

Т а б л и ц а П 1.1

Камерные электронагреватели сопротивления широкого назначения
с металлическими нагревателями

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Наибольшая температура применения, °С
	длина	ширина	высота	
СНО-2,0·4,0·1,4/7	400	200	140	700
СНО-2,0·4,0·1,4/10	400	200	140	1000
СНЗ-2,0·4,0·1,4/12	400	200	140	1250
СНО-2,5·5,0·1,7/7	500	250	170	700
СНЗ-2,5·5,0·1,7/10	500	250	170	1000
СНЗ-2,5·5,0·1,7/12	500	250	170	1250
СНО-3,0·6,5·2,0/7	650	300	200	700
СНЗ-3,0·6,5·2,0/10	650	300	200	1000
СНЗ-3,0·6,5·2,0/12	650	300	200	1250
СНО-4,0·8,0·2,6/7	800	400	260	700
СНЗ-4,0·8,0·2,6/10	800	400	260	1000
СНЗ-4,0·8,0·2,6/12	800	400	260	1250
СНО-5,0·10·3,2/7	1000	500	320	700
СНЗ-5,0·10·3,2/10	1000	500	320	1000
СНЗ-5,0·10·3,2/12	1000	500	320	1250
СНО-6,5·13·4,0/7	1300	650	400	700
СНЗ-6,5·13·4,0/10	1300	650	400	1000
СНЗ-6,5·13·4,0/12	1300	650	400	1250
СНО-8,5·17·5,0/7	1700	850	500	700
СНЗ-8,5·17·5,0/10	1700	850	500	1000
СНЗ-8,5·17·5,0/12	1700	850	500	1250
СНО-11·22·7,0/7	2200	1100	700	700
СНЗ-11·22·7,0/10	2200	1100	700	1000
СНЗ-11·22·7,0/12	2200	1100	700	1250
СНО-14·28·9,0/7	2800	1400	900	700
СНЗ 14·28·9,0/10	2800	1400	900	1000
СНЗ-14·28·9,0/12	2800	1400	900	1250
СНО-18·36·12/7	3600	1800	1200	700
СНЗ-18·36·12/10	3600	1800	1200	1000
СНЗ-18·36·12/12	3600	1800	1200	1250

Продолжение таблицы П. 1.1

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Наибольшая температура применения, °С
	длина	ширина	высота	
СНО-23-46-15/7	4600	2300	1500	700
СНЗ-23-46-15/10	4600	2300	1500	1000
СНЗ-23-46-15/12	4600	2300	1500	1250
СНЗА-3,0-6,5-2,0/10	650	300	200	1000
СНЗА-4,0-8,0-2,6/10	800	400	260	1000
СНЗА-5,0-10-3,2/10	1000	500	320	1000
СНЗА-6,5-13-4,0/10	1300	650	400	1000
СНЗА-8,5-22-5,0/10	2200	850	500	1000

Т а б л и ц а П 1.2

Шахтные электропечи широкого назначения

Тип	Размеры рабочего пространства, мм		Наибольшая температура применения, °С
	диаметр	высота	
СШО-2-4/3	200	400	350
СШО-2-4/7	200	400	700
СШЗ-2-4/10	200	400	1000
СШЗ-2-4/12	200	400	1250
СШО-4-8/3	400	800	350
СШО-4-4/3	400	400	350
СШО-4-8/7	400	800	700
СШО-4-4/7	400	400	700
СШЗ-4-8/10	400	800	1000
СШЗ-4-4/10	400	400	1000
СШЗ-4-8/12	400	800	1250
СШЗ-4-4/12	400	400	1250
СШО-6-12/3	600	1200	350
СШО-6-6/3	600	600	350
СШО-6-12/7	600	1200	700
СШО-6-6/7	600	600	700
СШЗ-6-12/10	600	1200	1000
СШЗ-6-6/10	600	600	1000
СШЗ-6-12/12	600	1200	1250
СШЗ-6-6/12	600	600	1250

Продолжение таблицы П. 1.2

Тип	Размеры рабочего пространства, мм		Наибольшая температура применения, °С
	диаметр	высота	
СШО-10 · 20/3	1000	2000	350
СШО-10 · 20/7	1000	2000	700
СШЗ-10 · 20/10	1000	2000	1000
СШЗ-10 · 20/12	1000	2000	1250
СШО-10 · 10/3	1000	1000	350
СШО-10 · 10/7	1000	1000	700
СШЗ-10 · 10/10	1000	1000	1000
СШЗ-10 · 10/12	1000	1000	1250
СШО-15 · 30/3	1500	3000	350
СШО-15 · 30/7	1500	3000	700
СШЗ-15 · 30/10	1500	3000	1000
СШЗ-15 · 30/12	1500	3000	1250
СШО-25 · 25/3	2500	2500	350
СШО-25 · 25/7	2500	2500	700
СШЗ-25 · 25/10	2500	2500	1000
СШЗ-25 · 25/12	2500	2500	1250
СШО-40 · 40/3	4000	4000	350
СШО-40 · 40/7	4000	4000	700
СШЗ-40 · 40/10	4000	4000	1000
СШЗ-40 · 40/12	4000	4000	1250
СШО-60 · 60/3	6000	6000	350
СШО-60 · 60/7	6000	6000	700
СШЗ-60 · 60/10	6000	6000	1000
СШЗ-60 · 60/12	6000	6000	1250

Т а б л и ц а П 1.3
Технические характеристики универсальных газовых
нагревательных печей разработки НИИТ

Наименование показателя	Типоразмер печи								
	ПК-1	ПД-1	ПК-2	ПД-2	ПК-3	ПД-3	ПК-4	ПД-4	ПК-5
Рабочая температура	800 - 1250 °С								
Количество рабочих камер	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Площадь активного пола, м ²	0,49	0,49 x 2	0,75	0,75 x 2	1,18	1,18 x 2	2,7	1,9 x 2	3,9
Размеры активного пола каждой камеры (длина, ширина), м	0,7 0,7	0,7 0,7	0,93 0,81	0,93 0,81	1,28 0,93	1,28 0,93	1,74 1,56	1,56 1,21	1,72 2,6
Размеры рабочего окна (ширина, высота), м	0,58 0,35	0,58 0,35	0,7 0,4	0,7 0,4	0,7 0,56	0,7 0,56	1,28 3,44	1,88 4,75	1,5 6,2
Ширина, длина, высота печи, м	1,9 2,5 3,8	3,0 2,5 3,8	2,0 2,73 3,8	3,23 2,73 440	2,5 2,8 3,8	4,3 2,8 3,8	3,51 3,57 3,26	5,16 3,4 600	4,5 5,5 4,8
Максимальная производительность по стали, кг/ч	150	300	220	440	300	600	600	650	650
Максимальный расход природного газа на печь, м ³ /ч	20	36	30	54	40	72	80	140	160
Количество горелок на печь	2	4	3	6	8	8	10	6	10
Расположение горелок	на задней стенке до 300°	на задней стенке до 300°	на задней стенке до 300°	на задней стенке до 300°	на боковых стенках до 300°	на боковых стенках до 300°	на боковых стенках до 300°	на боковых стенках до 300°	на боковых стенках до 300°
Температура подотгрева воздуха, °С	до 300°	до 300°	до 300°	до 300°	до 300°	до 300°	до 300°	до 300°	до 300°

Основное назначение: нагрев сталей и титановых сплавов под деформирующие операции.

Таблица П1.4

Шахтные печи для газовой цементации

Тип	Размеры рабочего пространства, мм		Мощность, кВт
	Диаметр	Высота	
СШЦ - 3·4/10	300	450	20
СШЦ - 3·6/10	300	600	30
СШЦ - 4·6/10	450	600	45
СШЦ - 4·9/10	450	900	65
СШЦ - 6·12/10	600	1200	110
ОКБ - 827А	2400	1700	230
Ц - 60А	450	600	60
Ц - 105А	600	1200	105

Наибольшая температура применения для печей серии СШЦ — 1050 °С, для остальных — 950 °С.

Т а б л и ц а П 1.5

Техническая характеристика камерных агрегатов с защитной атмосферой

Тип	Назначение	Температура, °С	Размеры рабочего пространства, мм			Производительность, кг/ч	Мощность, кВт
			ширина	длина	высота		
СНЦА-5-10-5/3С1	Ц+3+Н.О	950/350	500	1000	500	400	500
СНЦА-5-10-5/3, 5И3	Ц+3+Н.О	950/350	500	1000	500	400	485
СНЦА-5-10-5/7, 5И2	Ц+3+В.О	950/750	500	1000	500	200	490
СНЦА-8-12,5-6/3, 5И1	Ц+3+Н.О	950/350	800	1250	600	-	690
СНЦА-8-12,5-6/7, 5И1	Ц+3+В.О	950/750	800	1250	600	-	690

Ц — цементация, З — закалка, Н.О — низкий отпуск, В.О — высокий отпуск

Т а б л и ц а П 1.6

*Электроды сопротивления периодического действия
для газового азотирования*

Тип	Типо-размеры	Размеры рабочего пространства, дм			Мощность, кВт	Максимальная загрузка, кг
		диаметр ширина	длина	высота		
Шахтные	США-2·3/6	2	-	3	12	50
	США-3,2·4,8/6	3,2	-	4,8	20	150
	США-5·7,5/6	5,0	-	7,5	50	400
	США-8·12/6	8	-	12	100	1200
	США-12,5·20/6	12,5	-	20	180	2500
	США-20·30/6	20	-	30	220	3000
	США-25·37,5/6	25	-	37,5	300	3500
Контейнерные с передвижной камерой	СНА-7,5·2,4·10/6М	7,5	24	10	100	1800
	СНА-10·32·13/6М	10	32	13	200	2000
	СНА-13·45·16/6М	13	45	16	400	3500

Максимальная температура применения — 650 °С

Т а б л и ц а П 1.7

*Технические характеристики установок
для ионного азотирования конструкции ВНИЭТО*

Тип	Мощность, кВт	Размеры рабочего пространства, мм		Количество рабочих групп	Масса садки, кг
		диаметр	высота		
НГВ - 6·6/6 - И1	67	600	600	1	500
ОКБ - 1566	170	960	1200	2	500
НШВ - 20·24/6 - И1	350	2000	2400	1	2500
НШВ - 28·7/6 - И1	680	2800	700	1	1000

Т а б л и ц а П 1.8

Электрованны с наружным обогревом тигля

Тип	Мощность, кВт	Диаметр тигля, Дм	Глубина тигля, дм	Вместимость, дм ²
СВГ - 10/8,5	10	2	3,5	10
СВГ - 20/8,5	20	3	5,3	34
СВГ - 30/8,5	30	4	5,5	60

Температура применения до 850 ° С.

Т а б л и ц а П 1.9

Соляные электродные ванны

Тип	Мощность, кВт · А	Число электродных групп	Температура применения, °С
СВС - 35/6,5	35	1	150 - 650
СВС - 60/8,5	60	1	550 - 850
СВС - 35/13	35	1	850 - 1300
СВС - 35 · 2/6,5	35	2	160 - 650
СВС - 35 · 2/8,5	35	2	550 - 850
СВС - 60/13	60	1	850 - 1300
СВС - 35 · 2/13	35	2	850 - 1300
СВС - 100/13	100	1	850 - 1300
СВС - 20/13	20	1	850 - 1300
СВС - 100 · 3/8,5	100	3	550 - 850
СВС - 100 · 2/13	100	2	850 - 1300
СВС - 100 · 3/13	100	3	850 - 1300
СВС - 100 · 8/13	100	8	850 - 1300

Т а б л и ц а П 1.10

Составы соляных ванн, применяемых в качестве нагревающих и охлаждающих сред при ступенчатой и изотермической закалке и отпуске

Состав ванн (по весу)	Температура плавления, °С	Диапазон рабочих температур, °С	Область применения
	Высокотемпературные		
100% BaCl ₂	900	1000-1300	Нагрев под закалку быстрорежущ. сталей и нержавеек
100% NaCl 78% BaCl ₂ + 22% NaCl 70% BaCl ₂ + 30% NaCl 50% KCl + 50% NaCl 20% KCl + 60% NaCl + + 20% Na ₂ CO ₃ 50% KCl + 50% Na ₂ CO ₃ 48% - 50% BaCl ₂ + + 25-30% KCl + + 22-25% NaCl	Среднетемпературные		Нагрев под закалку углеродистых и низколегированных сталей
	800	850-1000	
	640	700-900	
	640	700-900	Охлаждение при высоко-ступенчатой закалке
	670	750-900	
	700	750-900	
560	620-870	600-650	
NaNO ₃ 50% NaNO ₃ + 50% KNO ₃ 50% KNO ₃ + 50% NaNO ₂ 50% NaNO ₃ + 50% KNO ₂ 50% KNO ₃ + 50% NaOH + + 1-2% H ₂ O 70% KNO ₃ + 30% NaOH 35% NaOH + 65% KOH + + 3-4% H ₂ O 25% NaOH + 75% KOH 25% NaOH + 75% KOH + + 4-6% H ₂ O	Низкотемпературные		Охлаждение при ступенчатой и изотермической закалке и отпуск
	310	400-550	
	220	300-400	
	137	160-200	
	150	160-300	
	328	400-500	
	145	200-300	
	325	400-550	
	155	180-350	
	170	200-350	
	140	160-250	

Примечания: 1) При охлаждении в расплавах селитр изделий, нагретых под закалку в хлористых солях, поверхность окисляется, что требует дальнейшей очистки;

2) Расплавы щелочей химически нейтральны к охлаждаемому металлу (светлая закалка), но раздражающе действует на кожу.

Т а б л и ц а П 1.11

Технические характеристики машинных преобразователей частоты типа ВПЧ

Тип преобразователя	Генератор				Двигатель			Масса преобразов., кг	Расход воды на охлажд. л/мин
	частота, кГц	мощность, кВт	напряжение, В	ток, А	мощность, кВт	ток, А	КПД		
ВПЧ12-8000	8	12	<u>200</u>	<u>66,7</u>	16	<u>29</u>	0,85	650	12
			100	133,4		50			
ВПЧ20-8000	8	20	<u>400</u>	<u>55,6</u>	30	<u>54</u>	0,85	870	25
ВПЧ20-2400	2,4		200	111,2		93		750	
ВПЧ30-8000	8	30	<u>400</u>	<u>83,3</u>	41	<u>73</u>	0,85	1030	30
ВПЧ30-2400	2,4		200	166,6		126		800	
ВПЧ50-8000	8	30	<u>400</u>	<u>139</u>	76	<u>136</u>	0,85	1870	35
ВПЧ50-2400	2,4		200	278		235		1660	
ВПЧ100-8000	8	100	<u>400</u>	<u>278</u>	138	<u>233</u>	0,9	2610	40
ВПЧ100-2400	2,4		200	556		405		2240	

ВПЧ — вертикальный преобразователь частоты

Т а б л и ц а П 1.12

Технические характеристики индукционных закалочных установок типа ИЗ

Параметры	ИЗ1- -30/8	ИЗ1- -100/ /2,4	ИЗ2- -100/8	ИЗ1- -200/ /2,4	ИЗ2- -200/8
Число и тип преобразоват.	ВПЧ- -30/8	ВПЧ- -100/2,4	ВПЧ- -100/8	2ВПЧ- -100/2,4	2ВПЧ- -100/8
Мощность, потребляемая от сети, кВт. А	50	140	140	280	280
Мощность средней частоты, кВт	30	100	100	200	200
Рабочая частота, кГц	8	2,4	8	2,4	8
Напряжение, В: средней частоты на индукторе (наибольшее)	400 74	800 240	800 240	800 240	800 240
Наибольшая площадь закаливаемой поверхности, см ²	25	200	200	400	400
Глубина закаленного слоя, мм	1,3-2,5	2,5-10	1,3-5	2,5-10	1,3-5
Диаметр нагреваемой детали (мин), мм	17	35	19	35	19
Расход воды на охлажд. м ³ /ч	2,58	7,2	7,2	10,2	10,2
Расход закалочн. жидкости, л/мин	83	200	200	200	200
Давление закал. жидкости, МПа	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6
Масса устан., кг	2170	4500	4500	7000	7000

Т а б л и ц а П 1.13

Технические данные универсальных закалочных станков

Параметры	ИЗУВ- -200/ /50-208Т	ИЗУВ- -200/ /300-208Т	ИЗУВ- -200/ /90-202Т	ИЗУВ- -80/ /500-402Т	ИЗУВ -200/ /700-402Т
Мощность, подводим. к станку, кВт	150	150	150	300	300
Частота тока силовой цепи, кГц	8	8	2,5	2,5	2,5
Макси- мальн. вторич- ный ток трансфор- матора, А	1390	2425	1333	2940	1870
Напряжение катушки контактора, В	400/230	400	400	400	400
Расход охлаж- дающей воды, м ³ /ч	6,5	7,3	6,7	8	6

Т а б л и ц а П 1.14

Технические характеристики высокочастотных установок
и генераторов на частоту 66 кГц

Параметры	ВЧИ2- -100/0,66	ВЧИ3- -160/0,66	ВЧГ1-60/ /0,66	ВЧГ4-60/ /0,66	ВЧГ1- 100/0,66
Напряжение пита- ющей сети, В	380	380	380	380,440	380
Число фаз питающей сети	3	3	3	3	3
Частота тока питающей сети, Гц	50	50	50	50	50
Колебательная мощность, кВт	100	160	60	60	100
Расход охлажда- ющей воды, м ³ /ч	7,5	7,0	2,2	2,5	3,5
Масса, кг	2600	3300	2050	2260	2360

Т а б л и ц а П 1.15

Технические характеристики промышленных установок
с ламповыми генераторами

Параметры	ЛЗ - 13	ЛЗ2 - 25	ЛЗ2 - 67	ЛЗ - 107В
Колебательная мощность, кВт	10	25	63	100
Частота тока, кГц	440	66	66	66
Мощность, потребляемая из сети, кВт. А	19	45	105	165
Анодное напряжение (выпрямленное), кВ	8	10,5	10,5	11

Т а б л и ц а П 1.16

Технические характеристики универсальных полуавтоматических станков
серии КУ для высокочастотной закалки

Детали, закаливаемые на станке	КУ - - 198	КУ - - 199	КУ - - 200	КУ - - 202
Зубчатые колеса с наружным зубом, единовременная закалка				
диаметр начальной окружности, мм	-	-	300-1200	300-4000
модуль, мм	-	-	8-16	10-50
Длина зуба при единовременной закалке, мм	-	-	до 200	60-100
Зубчатые колеса с внутренним зубом				
диаметр начальной окружности, мм	-	-	380-1000	500-2500
модуль, мм	-	-	8-16	8-12
длина зуба, мм	-	-	до 200	до 200
Конические прямозубые колеса				
наружный диаметр, мм	-	-	300-1000	300-1000
угол начального конуса, град.	-	-	5-45	5-85
модуль, мм	-	-	10-20	10-50
Валы и валы-шестерни, непрерывно-последовательная закалка				
максимальная длина детали, мм	300	5000	-	-
максим. диаметр зак. части, мм	600	800	-	-
максим. диаметр нач. окружн., мм	1600	800	-	-
миним. диаметр нач. окружн., мм	300	300	-	-
модуль, мм	10-50	10-50	-	-
Максимальная масса детали, кг	6000	10000	1500	7000

Приложение 2

Таблица 2.1

Расчет продолжительности нагрева

Общая длительность выдержки при нагреве в минутах

Условная толщина S , мм	Закалка, отжиг, нормализация		Отпуск в электропечах			
			Конструкц. стали		Корроз.-стойкие стали 300 °C	Все марки стали ниже 300 °C
	воздух, газовая среда	жидкая среда (соль)	300-400 °C	400 °C		
до 5	10-15	5-6	35-40	25-30	90-105	120-135
5,1-10	15-20	7-8	35-40	25-30	90-105	120-135
10,1-15	20-25	9-10	40-50	30-40	90-105	120-135
15,1-20	25-30	11-12	40-50	30-40	105-120	135-150
20,1-25	30-35	13-14	50-60	40-50	105-120	135-150
25,1-30	35-40	15-16	50-60	40-50	105-120	135-150
30,1-35	40-50	17-19	60-70	50-60	120-135	150-165
35,1-40	40-50	17-19	60-70	50-60	120-135	150-165
40,1-45	50-60	20-22	70-80	60-70	120-135	150-165
45,1-50	50-60	20-22	70-80	60-70	135-150	165-180
50,1-55	60-70	23-25	80-90	70-80	135-150	165-180
55,1-60	60-70	23-25	80-90	70-80	135-150	165-180
свыше 60	5-10	3-5	20-30	10-20	90	120 мин+
	мин+	мин+	мин+	мин	мин+	+1 мин
	+1 мин	+1/3 мин	+1 мин	+1 мин	+1 мин	на
	на 1 мм	на 1 мм	на 1 мм	на 1 мм	на 1 мм	1 мм
	усл. тол-щины	усл. тол-щины	усл. тол-щины	усл. тол-щины	усл. тол-щины	усл. тол-щины

Примечания: 1) Длительность выдержки назначать по минимальной условной толщине максимального сечения, определяемой как произведение фактической толщины S на коэффициент формы детали K . Коэффициент формы зависит от соотношения между нагреваемой поверхностью и объемом детали и назначается по табл. П2.2.

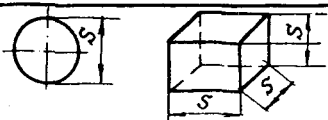

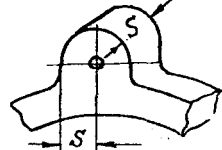

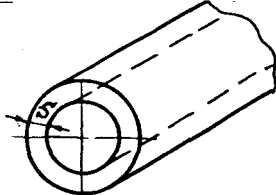
2) Определенная по табл. П2.1 длительность выдержки умножается на коэффициент формы садки, приведенной в табл. П2.3 и зависящей от взаимного расположения деталей.

3) Длительность отпуска в табл. П2.1 приведена для случая нагрева в электропечах. Длительность отпуска в седитровой или щелочной ванне при температуре ниже 300°C — 2 ч, при $300-480^{\circ}\text{C}$ — не менее 30 мин, при температуре выше 480°C — из расчета 3 мин + 0,4 мин на 1 мм условной толщины.

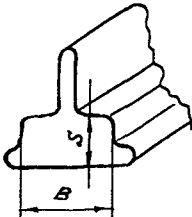
4) Длительность выдержки по данной методике рассчитывается только для указанных в таблице операций и видов сталей. Для других сталей и видов термообработки длительности назначаются совместно с температурами нагрева и приводятся в других источниках.

Таблица П 2.2

Коэффициент формы деталей

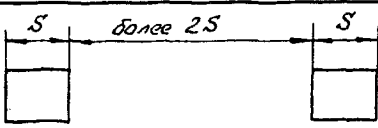
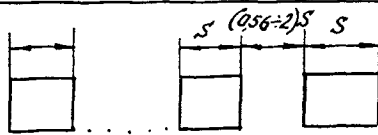
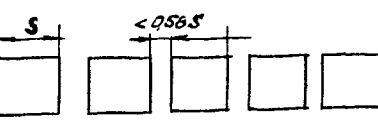
№ п/п	Тип детали	Эскиз	Коэффициент формы K
1	Детали типа шара, куба со сплошным сечением		0,75
2	Детали типа валов и прутков		1
3	Детали с утолщениями типа проушин		1,5
4	Листовые детали, диски тонкие		2
5	Детали типа длинных труб ($L/D > 3$) или труб с закрыт. концами		4
6	Детали типа коротких труб ($L/D < 3$) с открыт. концами		2

Продолжение таблицы П 2.2

№ п/п	Тип детали	Эскиз	Коэффициент формы К
7	Пустотелые детали типа баллонов		4
8	Детали сложного профиля		при $B < 2S$ $K=1,5$ при $B=(3,5-4)S$ $K=1,75$ при $B > 4S$ $K=2$

Т а б л и ц а П 2.3

Коэффициент формы садки

Характеристика садки	Взаимное расположение деталей	Коэффициент формы садки
Нагрев малого количества деталей		1,0
Укладка деталей с зазором		1,3 - 1,4
Плотная укладка деталей		2,0

П р и м е ч а н и е: Детали сечением менее 5 мм и размерами 30—35 мм можно нагревать и закалывать партиями в металлических корзинах, сетках или на противнях. Высота слоя загрузки под закалку мелких деталей — не более 40 мм. Длительность выдержки для деталей, уложенных слоем, назначать по табл. П2.1, принимая за условное сечение S высоту слоя.

Т а б л и ц а П 2.4

Нормы выдержки на 1 мм диаметра (толщины) при нагреве инструментов диаметром (толщиной) 3–75 мм из быстрорежущей стали

Нагревательное оборудование	Выдержка, с/мм, при нагреве до температур, °С		
	750 - 900	950 - 1100	1250 - 1300
Соляная ванна	25 - 30	12 - 15	8 - 10
Пламенная печь	-	20 - 25	10 - 12
электрическая печь	70 - 90	-	-

П р и м е ч а н и я: 1) Для печей приведены нормы выдержки при посадке в предварительно нагретую печь.

2) Для высокотемпературных ванн указано время выдержки для условий предварительного подогрева.

3) Для инструментов из углеродистой стали нормы выдержки на 15–20% меньше указанных в таблице.

Т а б л и ц а П 2.5

Продолжительность нагрева сменного штампового инструмента под закалку

Условия нагрева	Время выдержки, с, на 1 мм наименьшей толщины	Содержание (W + Mo + V), %
Нагрев и выдержка в соляных ваннах: подогрев 650 - 680°С и окончательный нагрев 800 - 850°С	18 - 24	-
подогрев 800 - 850°С и окончательный нагрев 1000 - 1150°С	12 - 15 20 - 30 35 - 45	≤ 2,5 2,5 - 4 > 4
Нагрев и выдержка в камерных печах: время прогрева садки время выдержки после прогрева	устанавливается опытным путем в зависимости от типа и мощности печи и способа упаковки 50 - 70	

Т а б л и ц а П 2.6

Продолжительность нагрева и охлаждения молотовых штампов

Условия нагрева или охлаждения	Нормы времени
Посадка в печь, нагретую до температуры закалки	$\tau = 6,6 H^{1,2}$, мин, где H — высота, см
Посадка в печь с температурой 500 - 560 °С: нагрев до закалочной температур. выдержка	1 ч на 25 мм наименьшей толщины 20% от времени нагрева
Выдержка при закалке в закалочном масляном баке	13 - 17 мин на 100 мм наименьшей толщины
Нагрев и выдержка при отпуске гравюры	2 ч + 11 мин на 1 мм наименьшей толщины

Т а б л и ц а П 2.7

Продолжительность цементации в шахтных печах рабочим объемом

более 0,3 м³ при 930 °С ($\tau_{\text{общ}}$, ч)

Общая глубина насыщения, мм	Карбюризатор		
	синтин	пиробензол	керосин
0,5 - 0,7	2,5 - 3	3 - 4	3 - 4
0,7 - 1,0	3 - 4	4 - 6	5 - 7
1,0 - 1,3	5 - 6	6 - 8	7 - 9
1,3 - 1,6	6 - 8	8 - 10	9 - 11
1,6 - 1,9	9 - 10	10 - 12	12 - 13

П р и м е ч а н и я: 1) Отсчет времени цементации производится с момента достижения печью нижней границы принятого диапазона температур цементации.

2) При снижении температуры цементации с 930 до 910 °С требуемое расчетное время увеличить на 15%, а при увеличении ее с 930 до 950 °С — уменьшить на 15%.

3) Указанная продолжительность уточняется для конкретных деталей и условий проведения цементации по данным исследования образцов — свидетелей.

4) Расход карбюризатора в активный период насыщения ($2/3 \tau_{\text{общ}}$) составляет 130—160 кап/мин, а в период выравнивания ($1/3 \tau_{\text{общ}}$) — 30—50 кап/мин.

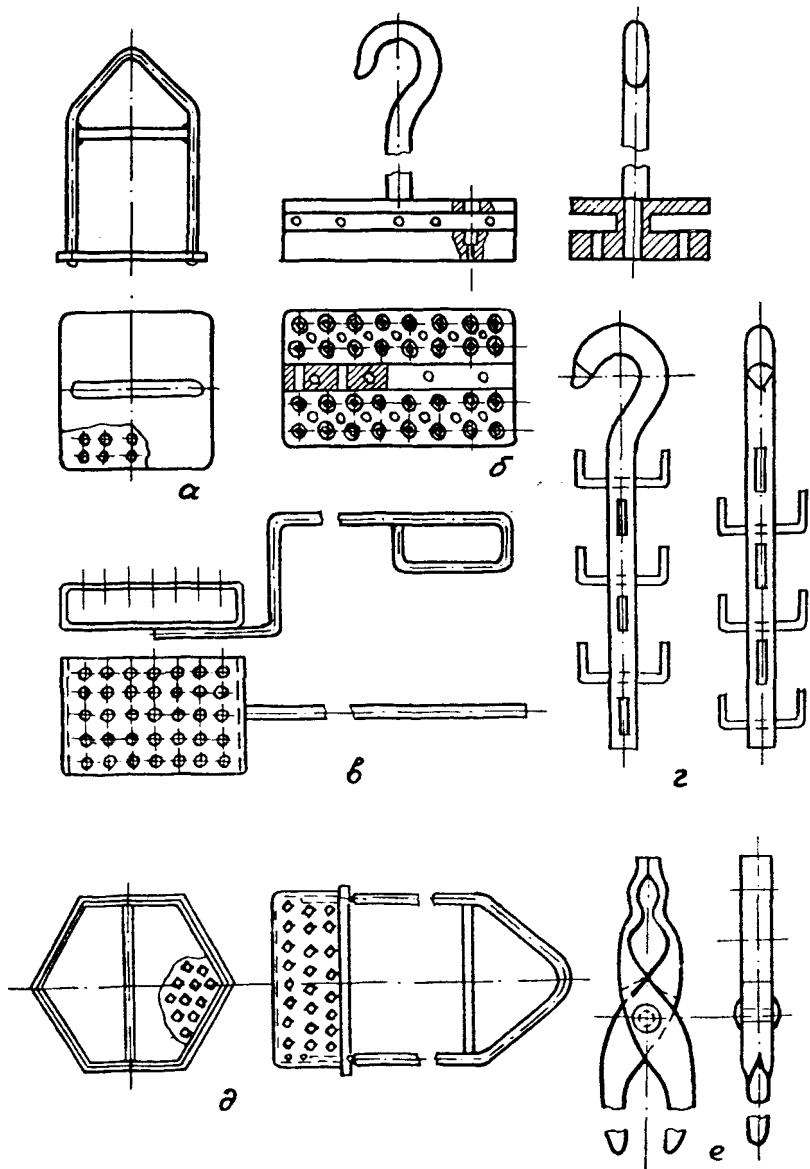


Рис. П2.1. Приспособления для закалики при нагреве в соляных ваннах:
 а — подвеска для закалики инструментов с коническим хвостовиком; б — подвески для закалики метчиков; в — приспособление для закалики сверл; г — подвеска для закалики круглых плашек; д — корзинка для закалики мелких деталей; е — клещи с гофрированными губками

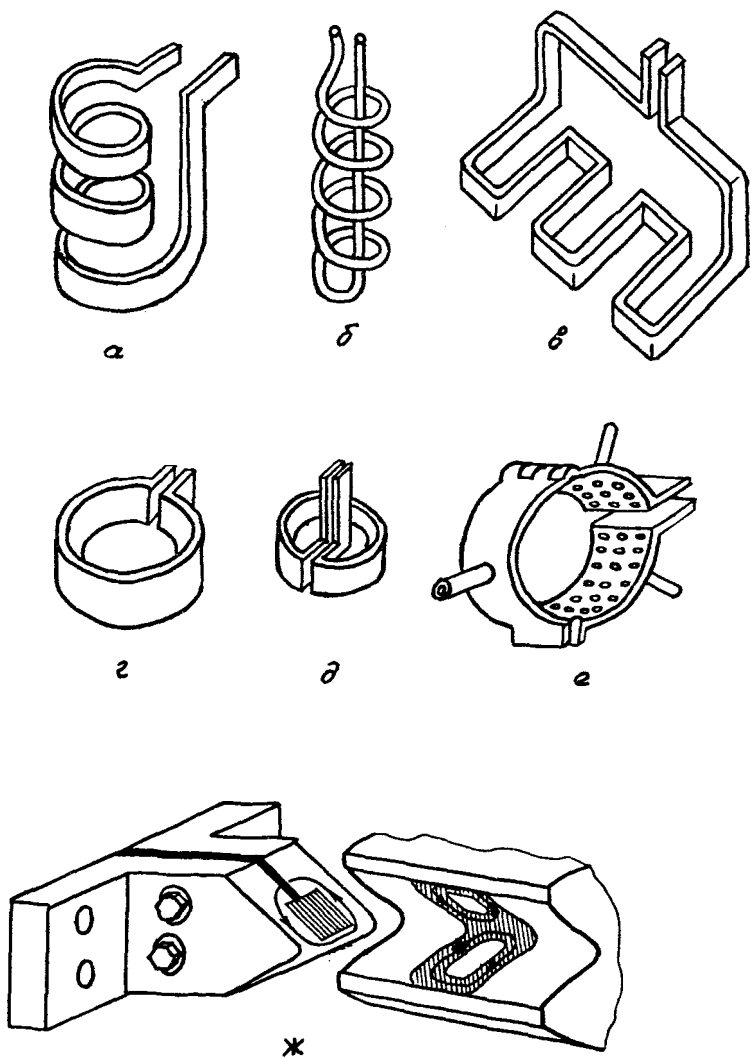


Рис. П2.2. Схемы индукторов для нагрева ПВХ: а, г — наружных цилиндрических поверхностей; б, д — внутренних цилиндрических поверхностей; в — плит и плоскостей методом перемещения; е — шеек коленчатых валов; ж — крупно-
дуальных шестерен по впадине зубьев непрерывно — последовательным способом

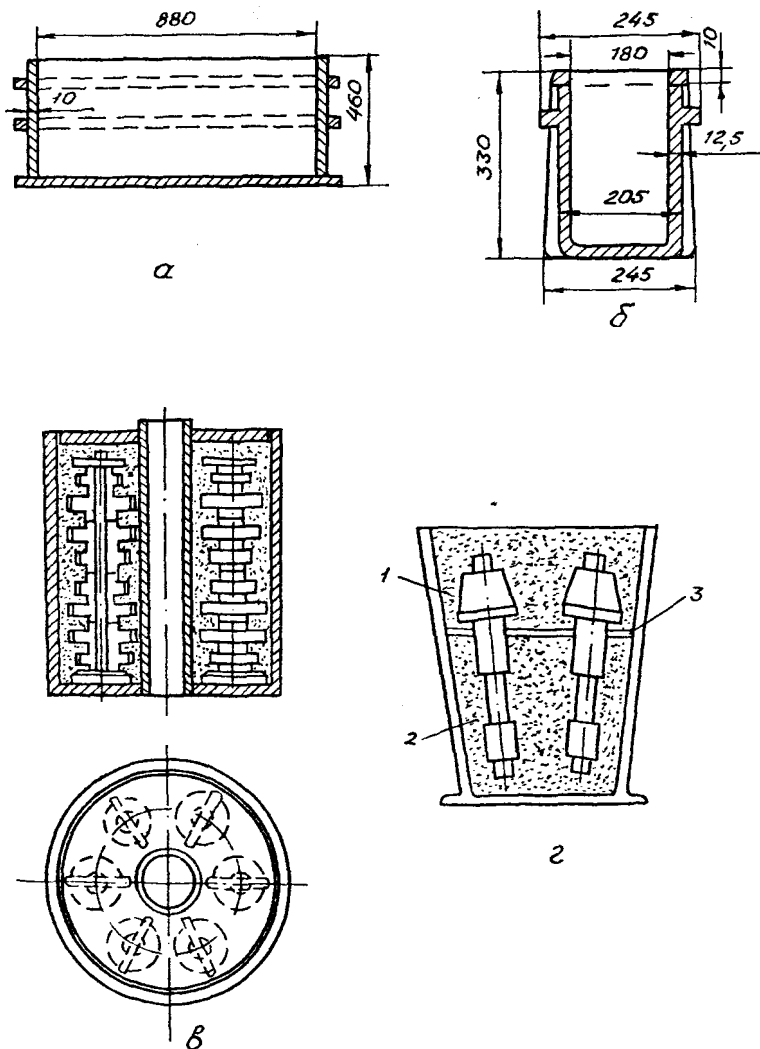


Рис. П2.3. Ящики для цементации твердым карбуризатором: а — призматические стальные сварные; б — чугунные литые; в — цилиндрические с внутренней трубой; г — цилиндрические для цементации части детали: 1 — карбуризатор; 2 — песок; 3 — прокладка

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Выбор материалов по заданным условиям эксплуатации и свойствам	3
2. Описание структуры и свойств материала	6
3. Выбор типа заготовки и разработка технологической схемы изготовления детали (инструмента)	8
4. Изготовление полуфабрикатов (заготовок) методамиковки и штамповки	14
4.1. Общие сведения	14
4.2. Температурный интервалковки и штамповки	14
4.3. Ковка	16
4.4. Объемная штамповка	22
5. Предварительная термическая обработка поковок	28
6. Термическая обработка отливок	31
7. Упрочняющая термическая обработка деталей машин и инструментов	34
7.1. Закалка деталей машин и инструментов	35
7.2. Отпуск деталей машин и инструментов	44
7.3. Поверхностная закалка деталей	49
8. Химико – термическая обработка деталей машин и инструментов	58
8.1. Цементация (нитроцементация) деталей машин из малоуглеродистых сталей	58
8.2. Азотирование и низкотемпературное цианирование деталей машин и инструментов	72
9. Вспомогательные и дополнительные операции, связанные с термической обработкой	92
10. Дефекты и контроль качества термической обработки	94
10.1. Контроль технологических процессов термообработки	96
10.2. Контроль качества термообработанных деталей и инструментов	98
Библиографический список	106
Приложение 1	108
Приложение 2	121

Морозов Николай Петрович

Уваров Вячеслав Васильевич

Уварова Вера Сергеевна

Термическая обработка стальных деталей машин,
инструментов и отливок

Редактор **Л. Я. Чегодаева**

Техн. редактор **Н. М. Каленюк**

Корректор **Т. И. Щелокова**

Лицензия Л Р № 020301 от 28.11.91 г.

Подписано в печать 13.12.95. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 7,67 . Усл. кр. – отт. 7,79 . Уч. – изд. л. 7,91.

Тираж 300 экз. Заказ **531**.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С. П. Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.