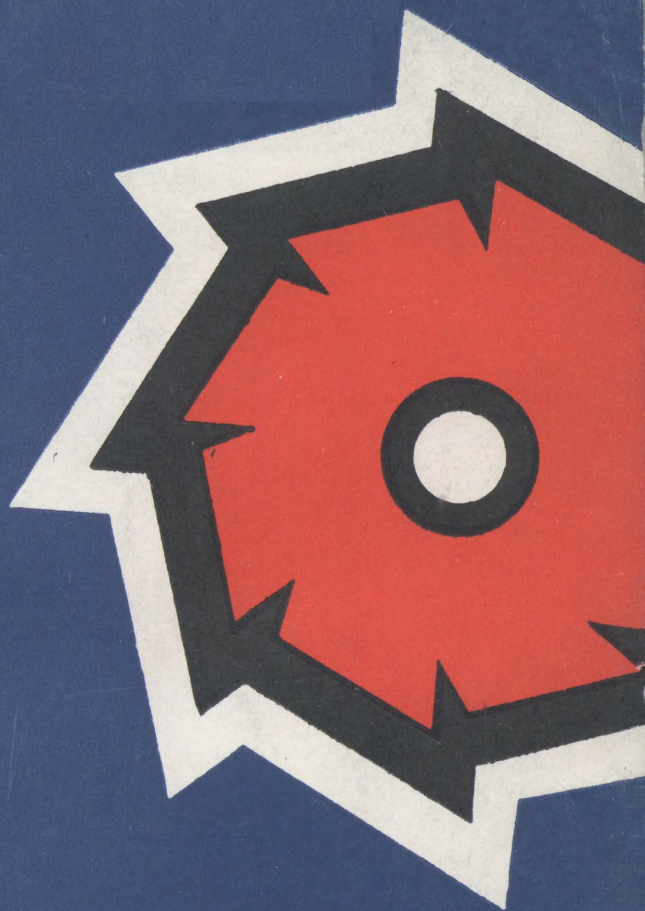


**К. И. ДЕМЬЯНОВСКИЙ**

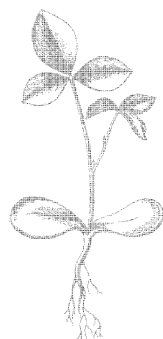


**ТЕРМИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА  
ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО  
ИНСТРУМЕНТА**

К. И. ДЕМЬЯНОВСКИЙ

---

**ТЕРМИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА  
ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО  
ИНСТРУМЕНТА**



Scan AAW

**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»  
Москва 1972**



**Термическая обработка дереворежущего инструмента.** Демьяновский К. И. «Лесная промышленность». 1972 г., 104.

Приведены краткие сведения об основных материалах, применяющихся для изготовления дереворежущих инструментов, их свойствах и особенностях термической обработки. Изложена технология термической обработки инструмента для фрезерования, строгания и сверления древесины.

Рассмотрены вопросы повышения износостойкости рамных пил путем термической и термомеханической обработки зубьев. Описаны собственные исследования автора в этой области.

Таблиц 34, иллюстраций 30, библиография — 18 названий

3—15—3  
86—72

**Константин Ильич Демьяновский**

**ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕРЕВЕРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Редактор издательства *А. М. Максакова*  
Художественный редактор *Н. И. Плотников.*  
Технический редактор *Г. Л. Карлова*  
Корректор *Е. Н. Соколова*  
Обложка художника *В. И. Воробьева*

Т-18867. Сдано в производство 28/VI—1971 г. Подписано к печати 30/XII—1971 г. Бумага 60×90<sup>1/16</sup> типограф. № 3. Печ. л. 6,5. Уч.-изд. л. 6,77. Тираж 5000 экз. Издат. № 129/69  
Цена 35 коп. Зак. 14977. Тематический план 1972 г. № 86

Издательство «Лесная промышленность», Москва, Центр, ул. Кирова, 40 а.

г. Тула. Тип. изд-ва газ. «Коммунар», ул. Ф. Энгельса, 150.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Цель термической обработки состоит в том, чтобы путем нагрева стального изделия до определенной температуры и последующего охлаждения достигнуть требуемого изменения строения металла. Термической обработкой можно придать инструментальной стали высокую твердость, износостойкость, прочность и достаточную вязкость, т. е. те свойства, которыми должен обладать режущий инструмент.

На результаты обработки важнейшее влияние оказывают время (скорость) нагревания, температура, до которой производится нагрев, время (продолжительность) выдержки при этой температуре и время (скорость) охлаждения.

**Сталь и основные элементы микроструктуры.** Сталью называются железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 2,14%. Кроме основы — железа, в стали имеется много других элементов. По химическому составу стали подразделяют на углеродистую, в состав которой входит углерод и неизбежные примеси (Mn, Si, S, P и др.), и легированные, в состав которых входят еще специально введенные элементы, например Ni, Cr, Mo, W, V и др., для сообщения стали требуемых свойств. Даже незначительное изменение содержания углерода очень сильно влияет на свойства инструментальных углеродистых сталей — изменяет их структуру и свойства.

**Железо и основные элементы микроструктуры стали.** Железо может существовать в двух модификациях в зависимости от температурных условий. При температурах ниже 911° железо существует в форме  $\alpha$  (альфа-железо) и имеет объемноцентрированную решетку  $Fe_{\alpha}$ . При нагреве выше 911° происходит перегруппировка атомов с изменением типа кристаллической решетки в гранецентрированную  $Fe_{\gamma}$  (гамма-железо), которая существует до 1392°. При медленном охлаждении перестройка кристаллической решетки происходит в обратном порядке.

Температурные остановки, при которых происходит перестройка решеток, называются критическими температурами или критическими точками. Критические точки обозначаются буквой А. Температуры критических точек в сплавах иные, чем в чистом железе. Кроме того, в сплавах в отличие от элементов различают две критические точки — нижнюю и верхнюю.

Железо способно растворять углерод и другие элементы, образуя твердые растворы. Твердый раствор углерода в альфа-железе называется ферритом, а в гамма-железе — аустенитом.

Феррит может содержать в твердом растворе при комнатной температуре всего лишь 0,006% С, а при 723° максимально 0,02% С. Механические свойства феррита: предел прочности при растяжении  $\sigma_{\approx} 250 \frac{MH}{M^2}$  ( $25 \frac{KG}{MM^2}$ ); удлинение  $\sigma \approx 50\%$ , твердость HB  $\approx 80\%$ .

Аустенит. Область устойчивого состояния аустенита на диаграмме (рис. 1) —  $FSG$ . Точка  $E$  ( $1145^\circ$ ) характеризует предельную растворимость углерода в гамма-железе (2,14% С). Аустенит немагнитен и вязок. Твердость  $HB=170\div 220\%$ .

Цементит — химическое соединение углерода с железом (карбид железа)  $Fe_3C$ , содержащее 6,67% С. Цемент до  $217^\circ$  ферромагнитен, обладает очень высокой твердостью ( $HB>800$  или  $HRC>65$ ), отличается хрупкостью, плохо травится кислотами. Цементит наблюдается в структуре стали в виде сетки по границам зерен или игл и светлых зерен.

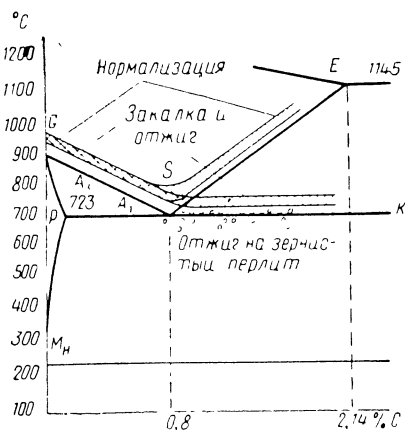


Рис. 1. Левая часть диаграммы сплавов железо — углерод

Твердость троостита  $HB=350\div 450$ . Феррито-карбидная смесь дисперсностью между перлитом и трооститом называется сорбитом. Твердость сорбита  $HB=270\div 320$ .

Мартенсит — пересыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе ( $Fe_\alpha$ ). Мартенсит образуется при весьма быстром охлаждении аустенита, отличается весьма большой твердостью ( $HRC>60$ ) и хрупкостью. Это основная закалочная структура.

## ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛИ ПРИ НАГРЕВАНИИ

Основой для изучения термической обработки железоуглеродистых сталей является диаграмма железо — углерод. Однако при рассмотрении стали возможно воспользоваться только левой нижней частью диаграммы, ограниченной содержанием углерода до 2,14% (см. рис. 1).

В соответствии с диаграммой принято разделять стали на три группы: эвтектоидные, содержащие около 0,8% углерода, структура их состоит только из перлита; доэвтектоидные, содержащие меньше 0,8% углерода, структура которых состоит из феррита и

Перлит — механическая смесь (эвтектонид), состоящая из очень мелких пластинок или зернышек цементита, расположенных в ферритной основе. Твердость  $HB=170\div 250$ . Строение перлита можно различить на полированной и протравленной поверхности стали (микрошлифе) при увеличении в 100—200 раз.

Механические свойства перлита зависят от степени измельченности (дисперсности) частиц цементита. Очень высокодисперсная (мелкая смесь феррита и карбидов называется трооститом. Эта смесь настолько мелка, что ее можно рассмотреть только в электронный микроскоп.

перлита; заэвтектоидные, содержащие от 0,8 до 2% углерода, структура которых в исходном состоянии состоит из перлита и вторичного цементита.

При нагревании эвтектоидной стали до температуры  $A_1$  (линия  $pSK$ ) в результате фазовой перекристаллизации перлит превращается в мелкозернистый аустенит. Таким образом, эта сталь от температуры  $A_1$  и выше будет иметь целиком аустенитную структуру. При нагревании заэвтектоидной стали до температуры  $A_1$  аналогичным образом весь перлит превратится в аустенит. Структура при этой температуре будет состоять из аустенита и вторичного цементита. При нагреве от  $A_1$  ( $pSK$ ) до  $A_3$  ( $SE$ ) избыточный (вторичный) цементит растворяется в аустените и выше  $A_3$  будет только один аустенит.

При нагревании доэвтектоидной стали произойдут аналогичные превращения. Выше  $A_3$  ( $GS$ ) структура стали тоже будет представлять один аустенит.

Аустенит является устойчивым только при температуре выше  $A_1$  ( $pSK$ ). При охлаждении ниже этой температуры аустенит становится неустойчивым и начинается его превращение.

Превращение переохлажденного аустенита может происходить как при непрерывном охлаждении, так и в процессе выдержки.

Рассмотрим превращения в инструментальной стали, нагретой до аустенитного состояния (выше линии  $GSE$ ), при охлаждении.

### **ПРЕВРАЩЕНИЯ АУСТЕНИТА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ**

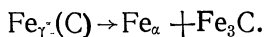
Охлаждение нагретой стали является важнейшей технологической операцией термической обработки. Скорость охлаждения при закалке оказывает решающее влияние на образование той или иной закалочной структуры, а следовательно, на придание определенных свойств закаленной стали.

Указывалось, что аустенит устойчив только выше  $723^\circ$  (линия  $pSK$ ) и при охлаждении до температур ниже  $pSK$  распадается с образованием других структур. В зависимости от температуры, при которой произойдет распад, могут происходить превращения двух типов: эвтектоидное и мартенситное.

При эвтектоидном превращении из аустенита образуются феррито-цементитные смеси. Превращения этого типа являются диффузионным процессом и полностью подчиняются законам кристаллизации. Этими процессами определяется как скорость превращения, так и дисперсность структуры.

При малой скорости охлаждения, например при отжиге стали, превращение начнется при малой степени переохлаждения (на  $10\text{--}20^\circ$ ), т. е. при температуре около  $700^\circ$  ( $723^\circ - 20^\circ = 703^\circ$ ), и будет протекать в некотором интервале температур. При таких температурах превращения образуется феррито-цементитная

смесь крупнопластинчатого строения, которая называется перлитом. Твердость перлита  $HB=180\div250$ .



Такая структура является равновесной и характеризует отожженное состояние стали.

При увеличении скорости охлаждения аустенита распад его будет начинаться при все более низких температурах с образованием феррито-цементитных смесей, дисперсность которых будет постепенно увеличиваться по мере снижения температуры начала превращения. Иначе говоря, чем ниже начало распада аустенита, тем тоньше строение образующейся структуры.

При переохлаждении аустенита до  $650^{\circ}$  пластинки цементита и феррита, образующие смесь, окажутся тоньше, чем в перлите. Такая структура называется сорбитом закалки.

При еще большем переохлаждении аустенита, когда распад начинается, например, при  $550\text{—}400^{\circ}$ , образующаяся феррито-цементитная смесь настолько дисперсна, что ее строение можно рассмотреть только в электронный микроскоп. Такая высокодисперсная смесь называется трооститом закалки. Твердость троостита  $HB=350\div450$ , но пластичность ниже, чем у сорбита.

Феррито-цементитные смеси могут образовываться в интервале температур от  $723$  до  $550^{\circ}$ . Все эти структуры, получающиеся в результате превращения переохлажденного аустенита, представляют собой феррито-цементитную смесь. Разница между ними только в величине частиц цементита: в сорбите эти частицы мельче, чем в перлите, а в троостите мельче, чем в сорбите.

Непременным условием образования феррито-цементитных смесей (перлита, сорбита и троостита) является возможность протекания диффузионных процессов углерода и других элементов в аустените. При дальнейшем понижении температуры превращения аустенита (ниже  $500^{\circ}$ ), резко уменьшается скорость диффузии. При температурах около  $200\text{—}240^{\circ}$  диффузия практически прекращается.

Начиная с некоторой температуры переохлаждения ( $240^{\circ}$  для стали  $C=0,8\%$ ), начинается бездиффузионное, так называемое *мартенситное превращение* с образованием закалочной структуры — мартенсита. Мартенсит, как уже указывалось, является самой твердой закалочной структурой и очень хрупкой; его твердость  $HRC>60$ ; он имеет игольчатое строение.

При мартенситном превращении происходит лишь перестройка решетки гамма-железа в решетку альфа-железа без выделения углерода, т. е. он остается в решетке альфа-железа. Так как нормально альфа-железо может растворить в себе не более  $0,04\%$  углерода, то образовавшийся твердый раствор углерода в альфа-железе называют пересыщенным.

Мартенситное превращение (рис. 2) протекает в интервале температур от  $M_n$  (начало превращения) по  $M_k$  (конец превраще-

ния). Положение этих температур не зависит от скорости охлаждения стали и определяется в основном химическим составом аустенита.

обеспечения необходимой скорости охлаждения следует выбирать определенную охлаждающую среду. Получением мартенситной структуры не заканчивается термическая обработка. После закалки ее отпускают.

Назначение отпуска—снять внутренние напряжения, уменьшить хрупкость, повысить пластичность стали при одновременном сохранении достаточной прочности или твердости. Отпуск производится непосредственно после закалки. Основными факторами, влияющими на результаты отпуска, являются температура нагрева и длительность выдержки. В процессе отпуска в закаленной стали происходит ряд сложных превращений, приводящих к распаду мартенсита и образованию новых структур с иными свойствами.

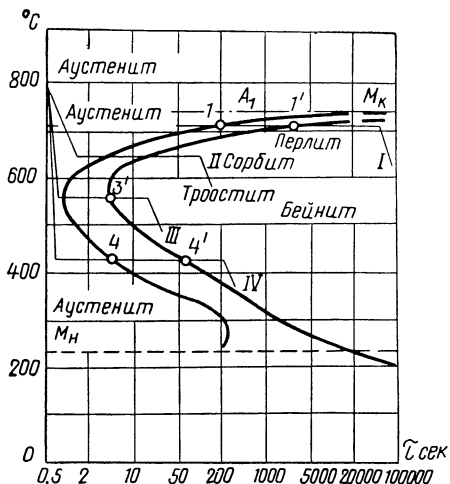


Рис. 2. Диаграмма изотермического превращения аустенита для стали с  $C=0,8\%$



При низком отпуске сталь нагревают до температур 150—200°. Он предназначен для снятия внутренних напряжений, уменьшения хрупкости и сохранения высокой твердости и износостойкости. Низкий отпуск применяется для режущего, измерительного инструмента и в других случаях, когда требуется высокая твердость. Низкий отпуск повышает немного прочность и вязкость за счет снижения хрупкости. Твердость после низкого отпуска остается  $HRC=60\div 63$ . Структура закаленной стали после низкого отпуска называется мартенситом отпуска.

При среднем отпуске сталь нагревают до температуры 350—500°. Твердость снижается до  $HRC=40\div 45$ . Структура — троостит отпуска. Средний отпуск выполняется в том случае, когда при повышенной твердости сталь должна иметь высокую прочность, упругость, сопротивляемость ударным и знакопеременным нагрузкам. Среднему отпуску подвергают пружины, рессоры и прочие изделия.

Высокий отпуск заключается в нагреве стали до 500—650°. Он применяется для получения наибольшей вязкости изделия при сохранении достаточной твердости и упругости.

Время выдержки отпускаемой стали при температуре отпуска зависит от размеров изделий, формы их поперечного сечения, температуры отпуска, получаемых свойств и других факторов. Оно находится в пределах от 1 до 1,5 ч и приводится в справочной литературе.

Из вышеизложенного следует, что сорбит и троостит могут быть получены двумя путями:

закалкой стали при соответствующей скорости охлаждения;  
отпуском стали, закаленной на мартенсит, при соответствующей температуре.

Природа этих структур одинакова, но характер их строения различен. У сорбита и троостита закалки цементитные включения пластинчатой формы, а у сорбита и троостита отпуска — зернистой. Лучшими механическими свойствами, особенно вязкостью и пластичностью, отличаются сорбит и троостит отпуска.

## **ПРЕВРАЩЕНИЯ АУСТЕНИТА ПРИ ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ**

Закалочные структуры, кроме мартенсита, т. е. сорбит, троостит и игольчатый троостит могут быть получены не только путем непрерывного охлаждения аустенита, но и в результате его распада при постоянной температуре при тех или иных степенях переохлаждения. Свойство аустенита превращаться в различные структуры при различных степенях переохлаждения отражено на диаграммах изотермического превращения аустенита.

На рис. 2 показана наиболее типичная и простая диаграмма изотермического распада аустенита для эвтектоидной стали. По оси ординат отложены температуры, а по оси абсцисс — время в

секундах в логарифмической шкале. Левая С-образная кривая диаграммы показывает начало распада переохлажденного аустенита, правая С-образная — его конец. Линия  $M_n$  определяет положение начала мартенситного превращения, а линия  $M_k$  — конец. Таким образом, на диаграмме можно выделить следующие области. Выше линии  $A_1$  — область устойчивого существования аустенита. Левее левой С-образной кривой и в интервале температур от  $A_1$  до  $M_n$  — область переохлажденного аустенита. Правее правой С-образной кривой — область продуктов, образовавшихся из распавшегося аустенита.

Между С-образными линиями — область начавшегося, но не законченного превращения аустенита. Здесь имеется смесь нераспавшегося аустенита и продуктов его распада. Между линиями  $M_n$  и  $M_k$  — область мартенситного превращения.

Положение точек  $M_n$  и  $M_k$  не зависит от скорости охлаждения и определяется химическим составом стали (аустенита). Например, чем больше в стали углерода, тем ниже лежат точки (линии)  $M_n$  и  $M_k$ . В этом же направлении влияет большинство легирующих элементов.

Положение, а также вид кривых диаграммы зависят от химического состава стали. Большинство легирующих элементов сдвигает кривые вправо, а некоторые, кроме того, изменяют и характер этих кривых. Поэтому в зависимости от степени легирования и легирующих элементов может быть значительно увеличена устойчивость аустенита во времени. Это будет означать, что такие стали не потребуют для закалки больших скоростей охлаждения, и тем глубже будут прокаливаться, чем дальше сдвинуты. С-образные кривые от температурной ординаты.

По диаграмме изотермического превращения можно получить сведения о превращении переохлажденного аустенита при любой степени переохлаждения. Если незначительно переохладим нагретую до аустенитного состояния сталь, например на  $23^\circ$ , то превращение аустенита будет происходить при  $700^\circ$ .

В точке  $I$  оно начнется, и в точке  $I'$  закончится с образованием грубой феррито-цементитной смеси пластинчатого строения, которая, как мы знаем, называется перлитом (луч  $I$ ). При температуре переохлаждения, соответствующей лучу  $II$ , образуется сорбит.

При большем переохлаждении, например до  $560^\circ$ , превращение закончится в точке  $3'$  с образованием троостита (луч  $III$ ). При переохлаждении аустенита до  $450^\circ$  превращение начнется в точке  $4$  и закончится в точке  $4'$  с образованием игольчатого троостита, верхнего бейнита (луч  $IV$ ). При еще большем переохлаждении, когда распад будет происходить в области температур несколько выше  $M_n$ , образуется структура нижнего бейнита.

Нижний бейнит состоит из основы — низкоуглеродистого отпущенного мартенсита, в которую вкраплены зернышки и пластинки карбидов.

Бейниты по своим механическим свойствам занимают промежуточное место между трооститом и мартенситом. Их твердость  $HRC=45\div 55$ . Бейнитное превращение идет не до конца, поэтому в структуре бейнита имеется и аустенит.

Диаграмма показывает, что продолжительность существования переохлажденного аустенита (инкубационный период) различная при разных степенях переохлаждения. Наименьшую устойчивость аустенит имеет при  $500\text{—}550^\circ$ . Таким образом, имея диаграмму изотермического превращения аустенита, можно определить для данной стали необходимую скорость охлаждения и выдержку для получения нужной структуры.

Изучение изотермического распада переохлажденного аустенита не только объяснило многие явления, связанные с процессом термической обработки стали, но и позволило создать ряд новых методов термической обработки, так называемую изотермическую и ступенчатую обработку стали. В зависимости от температуры и скорости нагрева и охлаждения стали различают несколько видов термической обработки.

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

**Отжиг** с фазовой перекристаллизацией — это процесс термической обработки, заключающийся в нагревании сплава до температур выше фазовых превращений (см. рис. 1), с последующим медленным охлаждением. Отжиг инструментальных сталей производится для улучшения обрабатываемости стали на станках, уменьшения остаточных напряжений и подготовки структуры для последующей термической обработки.

**Нормализация.** При этом виде термической обработки сталь нагревают выше критического интервала (выше  $A_3$ ) на  $30\text{—}50^\circ$ , дают выдержку при этой температуре и последующее охлаждение на спокойном воздухе (см. рис. 1).

Однако инструментальные, особенно легированные, стали после нормализации обладают высокой твердостью, и для возможности обработки резанием нормализованные легированные стали подвергают высокому отпуску при  $550\text{—}650^\circ$ . Следует отметить, что проведение даже двух операций термической обработки, т. е. нормализации и высокого отпуска, требует меньше времени, чем проведение отжига для этих сталей.

**Закалкой** называется процесс термической обработки, состоящий из нагрева стали до температуры, находящейся в критическом интервале ( $A_{c3} \text{—} A_{c1}$ ) или выше, выдержки ее при данной температуре и последующего быстрого охлаждения. Закалка инструментальной стали с последующим отпуском предназначена для повышения твердости и износоустойчивости при достаточной вязкости.

**Отпуск стали** — процесс термической обработки, заключающийся в нагревании закаленного сплава до температур ниже фазовых

превращений ( $A_1$ ), в результате чего происходят превращения, приближающие сплав к равновесному состоянию.

Отпуск, приводящий к распаду мартенсита закалки на феррито-цементитную смесь, оказывает большое влияние на все свойства стали и уменьшает остаточные напряжения.

## **МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МАРКИ СТАЛЕЙ, ИХ СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЕ**

Инструментальные стали характеризуются высокой твердостью, прочностью, износостойкостью и рядом других свойств, необходимых режущему инструменту. Разработано много инструментальных сталей, различающихся по эксплуатационным и технологическим свойствам, а следовательно, имеющих различный химический состав и структуру. Выбор материала для дереворежущего инструмента определяется условиями обработки древесины, типом инструмента и технологией его изготовления. Материал для станочного дереворежущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания, испытывающего ударную нагрузку по пульсирующему циклу и имеющего малые углы заточки, должен обеспечить высокую прочность режущей части и высокую стойкость к истиранию. Задача по созданию такого инструментального материала, в котором бы наилучшим образом сочетались эксплуатационные и технологические свойства, не решена окончательно. Поиск в этом направлении продолжается. Не так давно разработаны и нашли широкое применение специальные стали Р4 и 9Х5ВФ, предложены и исследованы стали 85Х6НФ ( $C=0,80\div0,90\%$ ,  $Cr=5,0\div6,0\%$ ,  $Ni=0,60\div0,90\%$ ,  $V=0,30\div0,50\%$ ) и 85Х6Н1ФТ, которые оказались наиболее подходящим материалом для строгальных ножей. Однако в большинстве случаев для дереворежущих инструментов используются материалы из номенклатуры инструментальных сталей станкоинструментальной промышленности. Наряду с инструментальными сталями широкое применение для изготовления дереворежущего инструмента получили твердые сплавы, которые превосходят по износостойкости все известные марки инструментальных сталей.

**Инструментальные стали.** Примерное назначение марок стали для дереворежущего инструмента основных типов приведено в табл. 1, а химический состав сталей в табл. 2.

### **КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ, И ИХ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

**Углеродистые стали** характеризуются невысокой твердостью в отожженном или высокоотпущенном состоянии. Твердость отожженной углеродистой стали, имеющей структуру зернистого перлита, составляет 170—180 НВ. При такой твердости стали хорошо обрабатываются резанием и давлением.

Таблица 1

**Примерное назначение марок инструментальных сталей  
для режущего инструмента**

Наименование инструмента	Марка стали	Заменяющие стали
Рамные пилы . . . . .	9ХФ	—
Круглые (дисковые) пилы . . . . .	9ХФ	ШХ15
Конические пилы . . . . .	9ХФ	ШХ15
Строгальные пилы . . . . .	9ХФ, 9Х5ВФ	Х6ВФ
Ленточные пилы . . . . .	9ХФ	У10А
Цельные и составные фрезы . . . . .	Х6ВФ, 9Х5ВФ, Р9, Р18	Х12Ф, ХВГ, У8А, У10А
Концевые фрезы . . . . .	Х6ВФ, 9ХВФ, Р9, Р18	Х12Ф1
Сменные ножи сборных фрез . . . . .	Х6ВФ, 9Х5ВФ, Р9, Р18	9ХС, Х12Ф1
Ножи строгальные . . . . .	85Х6НФ, 85Х6Н1ФТ	9Х5ВФ, 9ХС
Ножи строгальные для обработки твердых пород . . . . .	8Х4В4Ф1 (Р4), Р18, 85Х6НФ	Р9, 9Х5ВФ
Ножи стружечных станков . . . . .	9Х5ВФ, Х6ВФ, Р4	Х12Ф, 9ХС, У10А
Циклевальные ножи . . . . .	9ХФ	У10А
Сверла и зенковки . . . . .	9Х5ВФ, Х6ВФ, Р4, Р9	9ХФ, 9ХС
Долбежные инструменты . . . . .	9Х5ВФ, Х6ВФ, Р4, Р9	9ХФ, 9ХС, У10А
Пильные цепи . . . . .	9ХФ	—
Окорочные фрезы . . . . .	ХВГ, Х12Ф1	У10А
Ножи рубительных машин . . . . .	9ХС, 9Х5ВФ	—
Стапески, долота, топоры и другой ручной инструмент . . . . .	У7А, У8А	—
Пилы ручные . . . . .	9ХФ	У8—У10А

Таблица 2

**Химический состав инструментальных сталей**

а) Углеродистые стали (ГОСТ 1495—54)

Марка стали	С	Mn	Si	С	Р
				не более	
У7А	0,65—0,74	0,20—0,40	0,15—0,35	0,030	0,035
У8А	0,75—0,84	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У10А	0,95—1,04	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У11А	1,05—1,14	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У12А	1,15—1,24	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030

б) Легированные стали (ГОСТ 5950—63)

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	W	V
ХВГ	0,90—1,05	0,80—1,10	0,15—0,35	0,90—1,20	1,2—1,6	—
ХВ5	1,25—1,45	0,15—0,40	0,15—0,35	0,40—0,70	4,0—5,0	0,15—0,30
9ХФ	0,80—0,9	0,30—0,60	0,15—0,35	0,40—0,70	—	0,15—0,30
9ХС	0,85—0,95	0,30—0,60	1,2 —1,6	0,95—1,25	—	—
9Х5ВФ	0,85—1,0	0,15—0,40	0,15—0,40	4,5 —5,5	0,8—1,2	0,15—0,30
8Х4В4Ф1 (Р4)	0,75—0,85	0,15—0,40	0,15—0,40	4,0 —5,0	4,0—5,0	0,90—1,40
Х6ВФ	1,05—1,15	—	—	5,5 —7,0	1,1—1,5	0,40—1,70
Х12Ф1	1,20—1,45	—	—	11,0—12,5	—	0,70—0,90
Х12	2,00—2,20	—	—	11,5—13,0	—	—

в) Быстрорежущие стали (ГОСТ 9373—60)

Марка стали	C	Cr	W	V	Co	Mo, не более
P18	0,70—0,80	3,8—4,4	17,5—19,0	1,0—1,4	—	0,3
P9	0,85—0,95	3,8—4,4	8,5—10,0	2,0—2,6	—	0,3

К достоинствам этих сталей относят также возможность получения несплошной закалки благодаря малой прокаливаемости, в результате чего сохраняется вязкая незакаленная сердцевина, которая повышает устойчивость сталей против поломок при ударах и вибрациях. Углеродистые инструментальные стали можно закалывать с низких температур (770—820°C).

Крупным недостатком этих сталей является малая устойчивость переохлажденного аустенита и, как следствие этого, высокая критическая скорость закалки. Поэтому углеродистые стали необходимо закалывать в воде или в водных растворах солей (щелочей) за исключением инструментов небольшого сечения: инструменты диаметром до 3—5 мм можно охлаждать в масле, диаметром до 8—12 мм — в расплавленных солях. Инструменты диаметром (или стороной) до 15—18 мм после охлаждения в воде получают сквозную прокаливаемость, однако в них возникают при этом значительные остаточные напряжения и деформации.

Инструменты большего сечения при охлаждении в воде приобретают закалочную мартенситную структуру и высокую твердость только в тонком поверхностном слое. При этом из-за резкого различия объемных изменений, происходящих в поверхностном слое и в незакалившейся сердцевине, закалка таких инструментов (диаметром более 20—30 мм) может вызвать на границе между этими слоями значительные растягивающие напряжения и даже трещины. Для режущего инструмента более целесообразна мартенситная структура с избыточными карбидами, образую-

щаяся в сталях с 0,9—1,2% С. Такая сталь имеет высокую твердость, износостойкость и удовлетворительные механические свойства.

Другим недостатком углеродистых сталей является малая теплостойкость, выражающаяся в способности сохранять твердость после закалки при нагреве всего лишь до температур, не превышающих 170—200°C. Из-за такой низкой теплостойкости сталь теряет твердость поверхностных слоев даже при шлифовании и заточке вследствие выделяющегося при этих процессах тепла.

Из углеродистых сталей можно изготавливать дереворежущий инструмент, режущие элементы которого не подвергаются в процессе работы нагреву до температуры выше 200—220°C. Закалка этих сталей производится путем нагрева как в воздушных печах, так и жидкостных ваннах. Условия охлаждения при закалке определяются сечением инструмента. Режимы закалки углеродистых инструментальных сталей указаны в табл. 3.

Таблица 3

Режимы закалки углеродистых сталей

Марка стали	Охлаждение в воде		Охлаждение в масле или горячих средах	
	температура, °C	HRC	температура, °C	HRC
У7А	780—800	62—64	800—820	59—61
У10А	770—790	63—64	790—810	61—62
У12А	770—790	63—65	790—810	61—62

Отпуск закаленного инструмента производится непосредственно после закалки. Температура отпуска принимается в зависимости от вида и назначения инструмента. Зависимость твердости от температуры отпуска приведена в табл. 4. Механические свойства и твердость углеродистых сталей в зависимости от температуры закалки и отпуска показаны на рис. 3.

Таблица 4

Зависимость твердости от температуры отпуска

Температура отпуска, °C	Твердость по Роквеллу	
	для стали У7 и У7А	для стали У10А, У12А
160—200	63—60	65—62
200—300	60—54	62—57
300—400	54—43	57—49
400—500	43—35	49—38

**Низколегированные стали.** Стали неглубокой прокаливаемости (9ХФ, ХВГ и др.), а также глубокой прокаливаемости (ХВГ, 9Х5ВФ, 8Х4В4В4Ф и Х6ВФ) по сравнению с углеродистыми имеют лучшие технологические и режущие свойства, обладают высокими механическими свойствами и теплостойкостью.

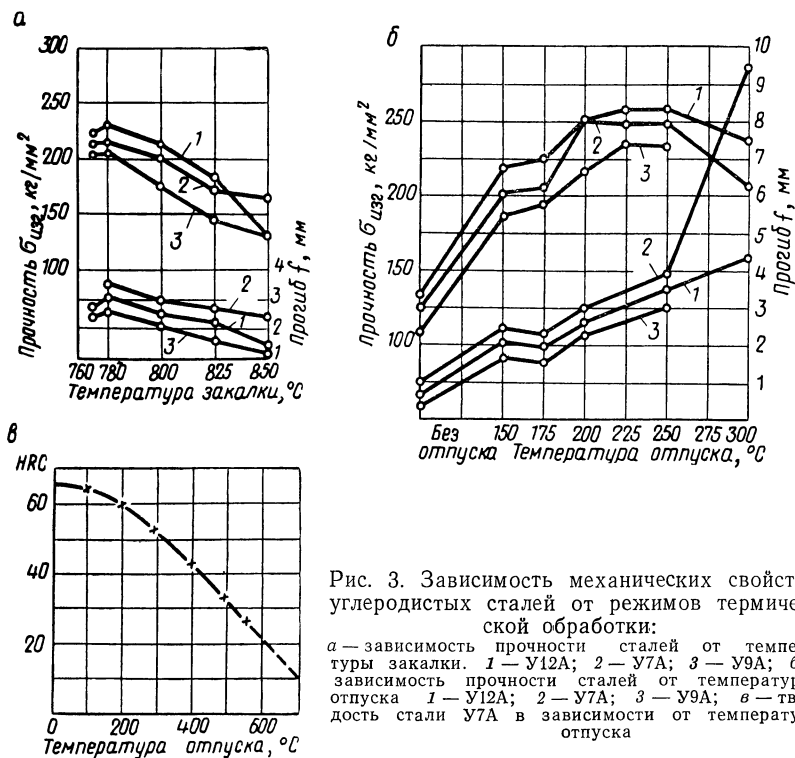


Рис. 3. Зависимость механических свойств углеродистых сталей от режимов термической обработки:

а — зависимость прочности сталей от температуры закалки. 1 — У12А; 2 — У7А; 3 — У9А; б — зависимость прочности сталей от температуры отпуска. 1 — У12А; 2 — У7А; 3 — У9А; в — твердость стали У7А в зависимости от температуры отпуска

Низколегированные инструментальные стали применяют вместо соответствующих углеродистых сталей для возможности закалки инструмента в горячих средах. В связи с тем, что некоторые низколегированные стали имеют стоимость и обрабатываемость, мало отличающуюся от тех же показателей у углеродистых, но значительно лучшую закаливаемость и механические свойства, применение их вместо углеродистых всегда целесообразно.

Стали повышенной и глубокой прокаливаемости применяют для изготовления инструмента больших сечений, охлаждаемых при закалке в масле или горячих средах.

**Хромованадиевая сталь 9ХФ.** Присутствие ванадия в этой стали способствует образованию мелкого зерна и препятствует перегреву. Вследствие этого сталь 9ХФ превосходит по вязкости заэвтектоидные углеродистые и хромистые стали, особенно



после отпуска при 300—400°, создающего трооститную структуру. Сталь отличается хорошей твердостью и прочностью. Инструменты небольших сечений, изготовленные из этой стали, можно закаливать в масле и расплавленных солях.

Из стали 9ХФ рекомендуется изготавливать дереворежущий инструмент, для которого трудно обеспечить равномерный нагрев под закалку. Широко применяется эта сталь для изготовления рамных и других пил, ножей строгальных, ножей для бумажного производства и т. д. В табл. 5 приведены режимы отжига и закал-

Таблица 5

Режимы отжига и закалки стали 9ХФ

Вид обработки	Температура нагрева, °С	Температура изотермической выдержки, °С	Охлаждающая среда	Твердость
Отжиг . . . . .	760—790	640—680	—	До 255 НВ
Закалка . . . . .	820—840	—	Масло, соль (150—160), затем воздух	HRC 61—63

ки этой стали. Хромокремнистая сталь 9ХС получила широкое применение для изготовления различных видов дереворежущих инструментов. Сталь 9ХС имеет равномерное распределение карбидов, что позволяет получать высокую степень остроты лезвия. Зависимость твердости от температуры отпуска выражается следующими цифрами:

Температура отпуска, °С . . .	200—300	300—400	400—500
Твердость по Роквеллу . . .	60— 55	55— 50	55— 40

Инструмент диаметром до 40—60 мм из этой стали закаливается в масле на твердость 61—63 RC. Благодаря повышенной устойчивости переохлажденного аустенита сталь 9ХС легко закалить в горячей среде с температурой 150—200° даже после длительной выдержки в них. Это позволяет применять как ступенчатую, так и изотермическую закалку.

Большая прокаливаемость и хорошая закаливаемость стали 9ХС позволяют легко обрабатывать инструменты широкой номенклатуры диаметром до 120 мм. Сталь мало склонна к флокенообразованию.

Ценной особенностью стали 9ХС является стабильность свойств, поскольку эта марка стали свободна от карбидной ликвации, что особенно важно для дереворежущих инструментов, имеющих малые углы заточки. Другим достоинством стали 9ХС является значительная устойчивость против отпуска. Сталь со-

хранят твердость не ниже 60HRC после отпуска с нагревом до 225—250°, т. е. на 30÷50° выше, чем углеродистые и хромистые стали типа X.

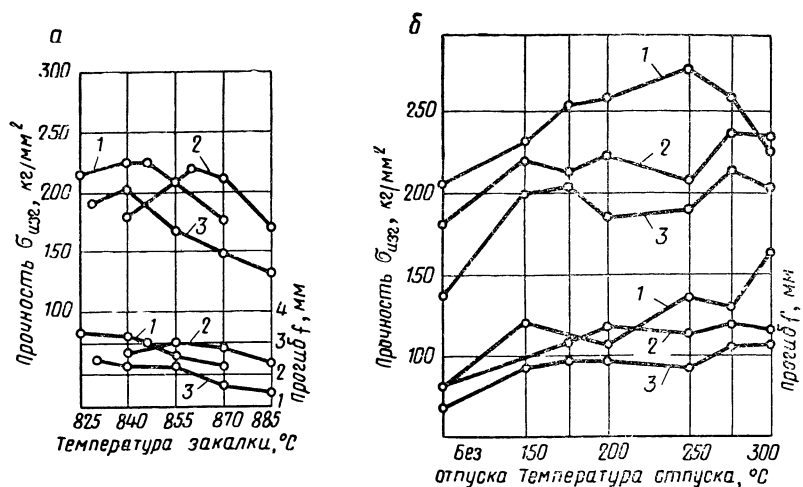


Рис. 4. Прочность и твердость сталей X, 9XC и XG в зависимости от температуры закалики и отпуска:  
а — в зависимости от температуры закалики; б — в зависимости от температуры отпуска; 1 — X; 2 — 9XC; 3 — XG

Недостатком стали 9XC является обезуглероживание, происходящее при нагреве 750—800°. Для защиты от него нагрев для закалики надо проводить в тщательно раскисленной соли (1—1,5% буры через 4 ч работы). Если для термообработки используются печи, то нагрев производят в защитных газовых атмосферах, а в простейшем случае — в использованном карбюризаторе или чугунной стружке. Другим недостатком стали является сравнительно высокая твердость отожженной стали (до 217—247 HB), хотя структура стали после отпуска представляет зернистый перлит.

Механические свойства стали, зависимость твердости от температуры отпуска представлены на рис. 4, 5. Зависимость твердости от температуры отпуска выражается следующим образом:

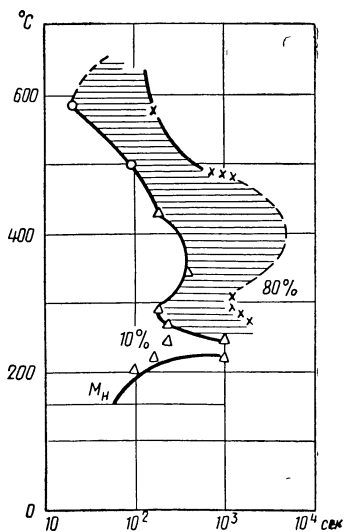


Рис. 5. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 9XC (нагрев 875°C)

Температура отпус- ка, °С . . .	150—200	200—300	300—400	400—500	500—600
Твердость по Рок- веллу . . . .	64— 62	62— 55	55— 52	52— 42	42— 36

Хромомарганцовистые стали ХВГ и 9ХВГ обладают повышенной прокаливаемостью. Вследствие карбидообразующего влияния вольфрама в закаленном и низкоотпущенном состоянии они имеют больше избыточных карбидов и большую твердость (HRC 64—66), чем, например, стали X и 9ХС. Вольфрам способствует также сохранению мелкого зёрна и улучшению вязкости. Кроме того, сталь характеризуется значительным количеством остаточного аустенита (до 40%), что снижает деформацию при термообработке.

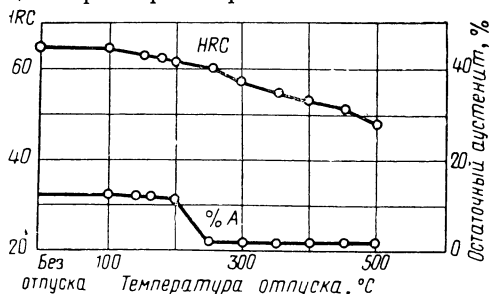


Рис. 6. Твердость и количество остаточного аустенита в зависимости от температуры отпуска (сталь ХВГ)

Существенным недостатком стали ХВГ является большая карбидная неоднородность и высокая твердость в отожженном состоянии (HB 255—207).

Сталь предназначена для изготовления инструментов, которые должны обладать повышенной износостойкостью в условиях, не вызывающих значительного разогрева режущей кромки, а также инструмента сложной конфигурации,

для которого допускается лишь незначительное коробление при закалке. Из этой стали изготовляют, например, фрезы, ножи бумажной промышленности и другой дереворежущий инструмент. Некоторые свойства стали показаны на рис. 6, а зависимость твердости от температуры выражается следующими данными:

Температура отпус- ка, °С . . .	150—200	200—300	300—400	400—500
Твердость по Рок- веллу . . . .	63— 62	62— 58	58— 52	52— 46

Стали 9Х5ВФ, 9Х5Ф и Х6ВФ (характеризуются высокой прокаливаемостью и способностью сохранять устойчивость против отпуска. Высокая твердость сохраняется после отпуска с нагревом до 300—400°.

Эти стали имеют сравнительно невысокую твердость после отжига (187—228 HB) и хорошо обрабатываются резанием.

Структура стали после отжига — мелкозернистый перлит и карбиды. По структурному признаку стали являются заэвтектоидными. Инструменты из сталей 9Х5ВФ и Х6ВФ диаметром или

толщиной до 100—120 мм получают высокую твердость (60—61 HRC) при закалке в масле, а толщиной до 40—50 мм — при охлаждении на воздухе. Недостатком сталей 9Х5ВФ и 9Х5Ф является повышенная по сравнению со сталями перлитного класса карбидная неоднородность.

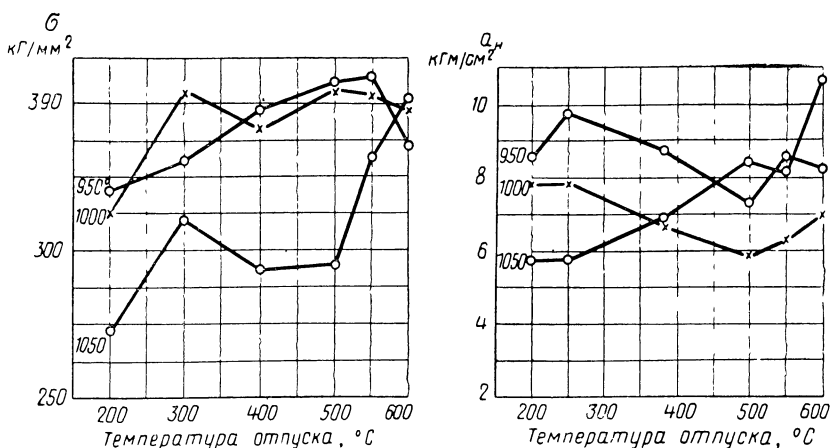


Рис. 7. Механические свойства стали X6BF в зависимости от режимов термической обработки

Сталь 9Х5ВФ, созданная сравнительно недавно, получила широкую известность и применение для изготовления строгальных ножей, фрез и других дереворежущих инструментов. Износостойкость дереворежущих инструментов из этих сталей в 2—3 раза выше износостойкости инструмента, изготовленного из малолегированных сталей перлитного класса. Близка по составу и свойствам к стали 9Х5ВФ сталь X6BF. После термической обработки она характеризуется высокими механическими свойствами (рис. 7). На рис. 8 показана диаграмма изотермического превращения.

Высокохромистые стали X12, X12M, X12Ф1 после соответствующей термической обработки приобретают высокую износостойкость и прочность, при закалке не получают значительных объемных изменений, коробления и деформаций, что весьма важно для инструментов сложной формы. Сталь хорошо шлифуется.

Высокохромистые стали содержат большое количество карбидов (до 16% в отожженном состоянии) и являются сталями карбидного класса. В сталях X12Ф1 это карбиды типа  $(Cr, Fe)_7C_3$ , а в стали X12 имеются еще карбиды цементитного типа.

Из указанных сталей сталь X12Ф1 получила в настоящее время наибольшее распространение, так как по свойствам она равноценна стали X12M, но менее дефицитна и более вязка, чем сталь X12.

Большим недостатком этих сталей является повышенная карбидная неоднородность, которая весьма отрицательно проявляется в инструментах с тонкой режущей кромкой. Прочность стали с большим карбидным баллом по шкале карбидной неоднородности (ГОСТ 5952—51) в поперечном направлении на 30—40% ниже, чем в продольном. Рекомендуют следующий температурный интервал ковки

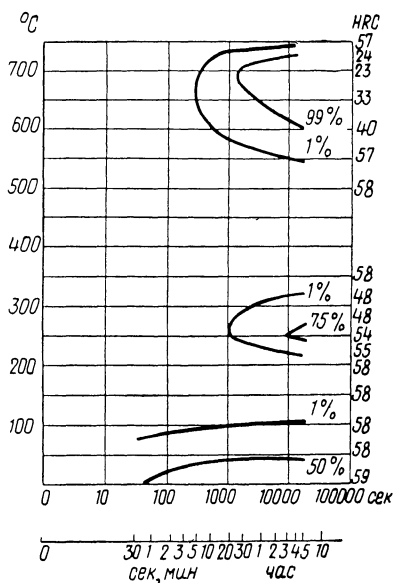


Рис. 8. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Х6ВФ (по данным А. П. Гуляева и К. А. Малининой).

ки. Это объясняется тем, что после закалки стали получается структура мартенсита с карбидами и остаточный аустенит, содержание которого в структуре тем больше, чем выше температура закалки.

В связи с влиянием температуры закалки на твердость и количество остаточного аустенита, для сталей Х12Ф1 и других этого типа разработано два вида термической обработки: на первичную и на вторичную твердость.

При обработке на первичную твердость сталь Х12Ф1 закалывают (обычно в масле) от температуры 1070—1090°C с последующим сравнительно низким отпуском. Такая обработка обеспечивает наибольшую прочность и сталь получает высокую твердость (61—63 RC). Структура стали — мартенсит, карбиды и остаточный аустенит (20—30%). При таком содержании аустенит улучшает вязкость стали. Температуру закалки надо соблюдать возможно более точно.

При обработке на вторичную твердость сталь Х12Ф1 нагревают до более высокой температуры (1140—1160°C) и охлаждают

в температурном интервале ковки заготовок из сталей Х12Ф1 и Х12Ф: нагрев 1160—1180°, конец обработки 870—900°. Отжиг этих сталей производится при нагреве до 850—870°. Продолжительность выдержки после нагрева менее 2 ч. Охлаждают со скоростью 30—40° в час до 700—720° и выдерживают не менее 2—3 ч. Дальнейшее охлаждение проводится в печи до 600—650°, а потом на воздухе. Для большего снижения твердости дают дополнительный отпуск при 760—790° с выдержкой 2—3 ч. Структура стали после отжига — сорбитообразный перлит и избыточные карбиды.

Характерной особенностью высокохромистых сталей является весьма большая зависимость их структуры и свойств от температуры закалки.

в масле или на воздухе с последующим многократным отпуском.

После обработки на вторичную твердость сталь приобретает повышенную красностойкость, но пониженные механические свойства по сравнению со сталью, закаленной на первичную твердость.

В технологическом отношении закалка на вторичную твердость более трудоемка. Поэтому первый вариант термической обработки следует признать наилучшим для дереворежущих инструментов. Некоторые свойства стали Х12Ф1 приведены на графиках (рис. 9).

**Быстрорежущие стали** как инструментальный материал занимают промежуточное место между углеродистой сталью и твер-

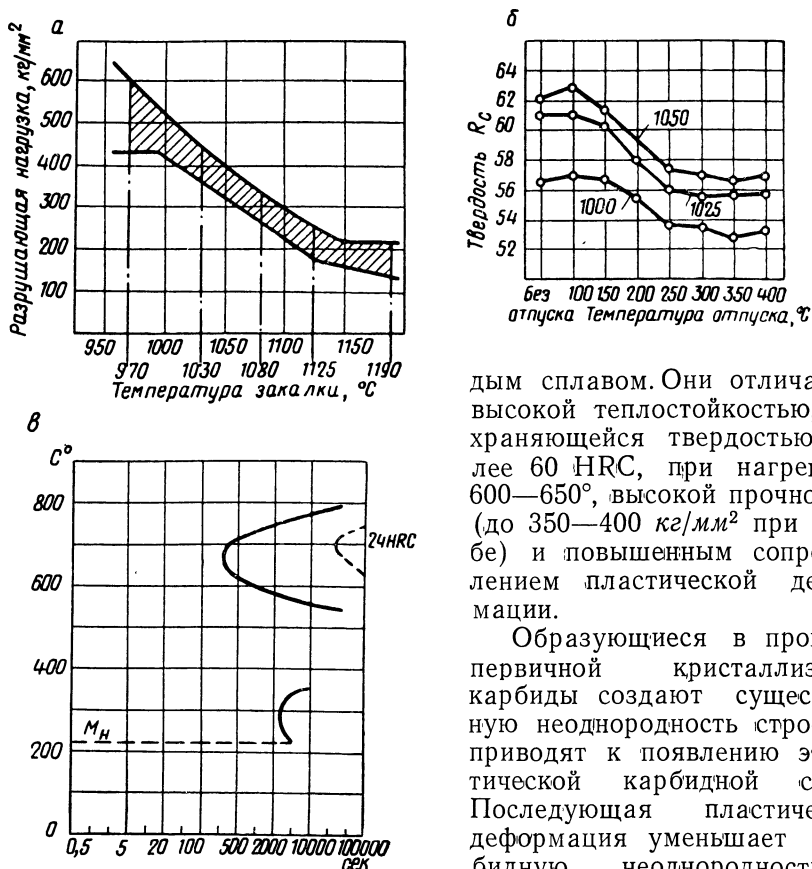


Рис. 9. Некоторые свойства стали Х12Ф1:

а — механические свойства в зависимости от температуры закалки (отпуск при  $150^{\circ}\text{C}$ ); б — твердость в зависимости от температуры закалки и отпуски; в — диаграмма изотермического превращения аустенита

дым сплавом. Они отличаются высокой теплостойкостью, сохраняющей твердость более 60 HRC, при нагреве до  $600\text{—}650^{\circ}$ , высокой прочностью (до  $350\text{—}400 \text{ кг/мм}^2$  при изгибе) и повышенным сопротивлением пластической деформации.

Образующиеся в процессе первичной кристаллизации карбиды создают существенную неоднородность строения, приводят к появлению эвтектической карбидной сетки. Последующая пластическая деформация уменьшает карбидную неоднородность и улучшает механические свойства. Оценку карбидной неоднородности производят по 10-балльной шкале (ГОСТ 5952—63).

При плохой «прокованности» быстрорежущей стали получается неравномерное распределение карбидов, т. е. скопление карбидов отдельными участками, что создает неравномерную твердость. Если скопление карбидов окажется на режущей кромке инструмента, то в процессе работы возможно ее выкрашивание.

Для понижения твердости, улучшения обрабатываемости, подготовки структуры к закалке и предупреждения нафатлинистого излома сталь послековки отжигают. Наиболее рационален изотермический отжиг, при котором сталь нагревают до  $830\text{--}850^\circ\text{C}$  и после необходимой выдержки охлаждают до  $720\text{--}750^\circ$  со скоростью  $30\text{--}40^\circ$  в час. Продолжительность выдержки при этой температуре дают не менее 4 ч. После окончания выдержки сталь охлаждают сначала в печи до  $600\text{--}650^\circ$  со скоростью  $40\text{--}50^\circ$  в час, а затем на воздухе. Нормальная твердость быстрорежущей стали после отжига  $\text{HВ}=207\div 255$ . Микроструктура правильно отожженной быстрорежущей стали — сорбитообразный перлит и избыточные карбиды.

В стали Р18 основным карбидом является сложный карбид  $\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$ , в небольших количествах присутствует карбид хрома  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , карбид ванадия  $\text{VC}$  и карбид цементного типа. Количество карбидов в отожженной стали Р18—25%, в стали Р9 17—18%.

Быстрорежущие стали поставляются в отожженном состоянии. Сталь проверяют на карбидную неоднородность, определяют обезуглероженный слой и устанавливают характер излома.

Для сталей Р18 и Р9, поставляемых в виде поковок диаметром от 60 до 100 мм, карбидный балл (ГОСТ 5950—58) не должен быть больше 5. Обезуглероженный слой не должен превышать нормы по ГОСТ 5950—58.

Закалка быстрорежущей стали. Сталь Р18 при закалке нагревают до  $1260\text{--}1300^\circ$ , а сталь Р9 до  $1210\text{--}1250^\circ$ . Нагрев выполняют в два этапа. До  $800\text{--}850^\circ$  нагревают (подогревают) медленно, выдерживают для выравнивания температуры (15—20 сек. на 1 мм диаметра при нагреве в соли и 25—30 сек при нагреве в печи). Нагрев от  $800\text{--}850^\circ$  до максимальной температуры производят ускоренно. Необходимость быстрого нагревания в этом температурном интервале связана со способностью быстрорежущей стали легко окисляться при высоких температурах.

Выдержку при высокой температуре дают очень незначительную, только такую, которая необходима для прогрева рабочего объема инструмента. Высокая температура при закалке нужна для того, чтобы как можно больше растворить карбидов в аустените и получить его легированным. Однако даже при таких температурах полного растворения карбидов не происходит, и крупные первичные карбиды остаются вне твердого раствора (аустенита). Структура быстрорежущей стали при температуре закалки состоит из легированного аустенита и карбидов, а после охлаж-

дения стали P18 образуется структура, состоящая из 55% мартенсита, 30% остаточного аустенита и 15% нерастворившихся карбидов. Охлаждение нагретой быстрорежущей стали обычно производится в масле, но инструмент диаметром до 5 мм можно охлаждать на воздухе.

С целью снижения остаточных напряжений и уменьшения деформации, предупреждения трещин и повышения механических свойств применяют изотермическую закалку, особенно при закалке крупных инструментов сложной формы. При изотермической закалке охлаждение нагретой быстрорежущей стали производят в соляной ванне, имеющей температуру 200—300° (смесь  $\text{KNO}_3$ —56% и  $\text{NaNO}_2$ —44%), с выдержкой в ней нагретого инструмента 30—40 мин.

Образование мартенсита при закалке происходит в определенном температурном интервале. При закалке от температур выше 1100° точка  $M_K$  (окончание мартенситного превращения) располагается при температурах ниже нуля, поэтому если охлаждение стали при закалке закончить не при температуре окружающей среды, а продолжить до минусовых температур, до точки  $M_K$ , то весь аустенит преобразуется в мартенсит. Однако при охлаждении до обычной температуры в структуре закаленной быстрорежущей стали, как указывалось, обязательно будет присутствовать остаточный аустенит. В этих условиях уменьшить количество остаточного аустенита можно в результате отпуска. Другим важным процессом при отпуске быстрорежущей стали является выделение дисперсных карбидов из мартенсита. Мартенситное твердение аустенита и дисперсионное твердение мартенсита в результате выделения дисперсных карбидов приводят к повышению твердости после отпуска.

Отпуск надо выполнять сразу после закалки для более полного превращения остаточного аустенита. Температура отпуска для P18 и P9 колеблется в пределах от 560 до 570°. Правильно закаленная сталь получает после отпуска твердость  $\text{HRC} = 63 \div 65$ .

Для придания стали лучших механических свойств применяют трехкратный отпуск. Инструменты лучше отпускать в расплавленных солях, так как они обеспечивают более равномерный нагрев, защищают от окисления и позволяют нагревать только рабочую часть инструмента.

Продолжительность каждого отпуска около 60 мин при нагреве в соли (рис. 10).

### **ТРЕБОВАНИЯ К ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ СТАЛЯМ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В СОСТОЯНИИ ПОСТАВКИ**

Качество стали, поступающей для изготовления дереворежущего инструмента, во многом определяет его эксплуатационные характеристики. Поэтому инструментальные стали должны отвечать требованиям государственных стандартов: на углеродистую



инструментальную сталь ГОСТ 1435 — 42; на легированную сталь ГОСТ 5950 — 51; на быстрорежущую сталь ГОСТ 5952 — 51.

Контроль инструментальной стали следует начинать уже со склада на наличие клейма и марки стали. Прутки стали диаметром более 30 мм контролируют на наличие клейм, указывающих марку стали, номер плавки и товарный знак завода-поставщика по ГОСТ 7566 — 55. На прутках диаметром меньше 30 мм и на листах стали толщиной до 4 мм, поставляемых в пачках, контро-

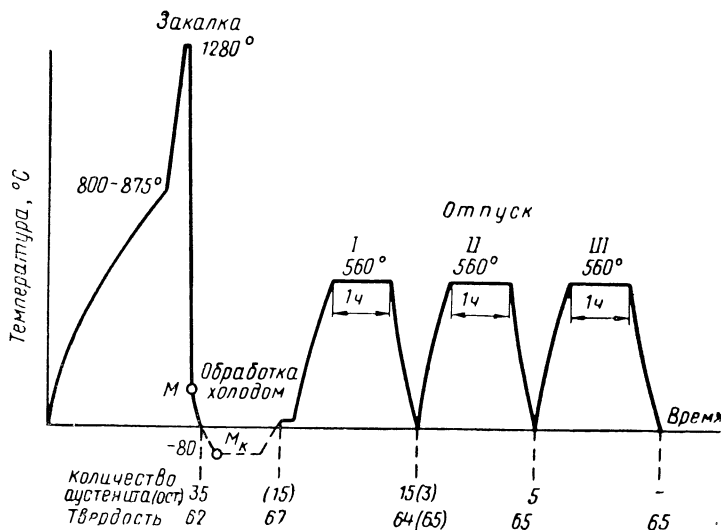


Рис. 10. График термической обработки быстрорежущей стали Р18

лируются эти же данные на бирке. Данные на прутках или бирках сверяют с сертификатами и, кроме того, проверяют размеры прутков. Металл контролируемой партии исследуется также на искровую пробу с целью выявления в данной партии стали других марок.

Прутки диаметром до 30 мм, составляющие пачку, проверяют в объеме 2%, но не менее 5 шт. из пачки. Все без исключения прутки большего сечения должны проверяться по искре.

Для разбраковки прутков стали по маркам с помощью пробы на искру необходимо иметь набор эталонов, изготовленных из известных марок сталей. Каждая марка стали в зависимости от содержания в ней углерода и легирующих элементов имеет свой пучок искр и окраску, по которым ее определяют.

Дальнейший контроль поступившей на завод инструментальной стали заключается в установлении соответствия ее техническим условиям, а иногда и дополнительным требованиям на отдельные виды инструмента. Этот контроль выполняется в основном в лабораторных условиях с использованием приборов и ла-

бораторного оборудования. Ниже приведены характеристики каждой партии стали, которые необходимо контролировать.

**Контроль твердости.** Твердость стали в состоянии поставки характеризует ее обрабатываемость резанием. Твердость, при которой обеспечивается хорошая обрабатываемость при хорошей чистоте поверхности, составляет для сталей У10А и У12А —  $HV=187 \div 207$ , для 9ХС —  $HV=207 \div 240$  и т. д. Твердость инструментальной стали в состоянии поставки регламентируется ГОСТ 1435 — 54 (углеродистая сталь), ГОСТ 3950 — 51 (легированная сталь) и ГОСТ 5952 — 51 (быстрорежущая сталь). Твердость определяют на прессе Бриннеля в объеме 5—10% от партии одной плавки и одного размера, на образцах длиной 30—50 мм, отрезаемых от штанги.

Контроль прутков большого диаметра проводится приборами переносного типа. Прутки диаметром 5—10 мм допускается проверять по Роквеллу (шкала В) с пересчетом результатов определения единицы Бриннеля. Если проводится пробная термическая обработка образцов поступившей стали, то твердость после закалки определяют на приборе Роквелла по шкале С.

**Контроль микроструктуры.** Такой контроль производится для стали в состоянии поставки и после пробной термической обработки. Основные дефекты структуры углеродистых и легированных сталей — цементитная сетка, пластинчатый перлит, полосчатое расположение карбидов, крупные неметаллические включения.

Наиболее распространенными дефектами исходной структуры быстрорежущей стали, особенно в прутках диаметром более 40—50 мм, являются: ледебуритная эвтектика, карбидная неоднородность, крупные и неравномерно расположенные карбиды. Наличие таких дефектов при закалке приводит к появлению трещин по границам зерен.

Такая структура не может быть исправлена термической обработкой и сохраняется в готовом инструменте. Ледебуритная эвтектика является окончательным браком, а карбидная неоднородность и крупные карбиды могут быть устранены хорошей и правильной проковкой заготовок. Дефекты, подобные отмеченным для быстрорежущей стали, характерны и для высокохромистых сталей типа Х12.

Для дереворежущих инструментов наиболее пригодна сталь, которая при твердости в пределах ГОСТ имеет структуру зернистого перлита с равномерно распределенными избыточными карбидами. Контроль карбидной неоднородности обязательно должен проводиться для высокохромистых и быстрорежущих сталей на прутках диаметром 40 мм и более. Для исследования готовятся микрошлифы, вырезанные поперек прокатки, а микроструктуру просматривают при увеличении в 400 или 500 раз в соответствии с методикой ГОСТ 5952—51.

Карбидную неоднородность характеризуют карбидным баллом

по специальным шкалам, различным для заэвтектоидных и ледебуритных сталей. Карбидный балл определяют сравнением распределения карбидов в проверяемой стали, видимого в микроскоп при увеличении в 100 раз, с эталонами шкалы.

Карбиды распределяются по поперечному сечению неравномерно, причем эта неравномерность меньше у поверхности. Поэтому для получения сравнимых результатов карбидный балл принято определять в участке, лежащем на половине радиуса от поверхности.

Заэвтектоидные инструментальные стали характеризуют по пятибалльной шкале. Балл 3 указывает на значительную неоднородность и заметное ухудшение структуры. Для лучшего выявления карбидов шлифы, по которым будет производиться исследование, закаливают с температур, принятых для стали данной марки, и отпускают при 300—350°. В этом случае слаботравящиеся светлые карбиды будут хорошо просматриваться на темном фоне троостита.

Ледебуритные стали (P18, X12Ф1 и др.), имеющие большую карбидную неоднородность, характеризуют по десятибалльной шкале. Хотя эта шкала установлена для быстрорежущей стали P18, но она может быть использована и для других сталей. В этой шкале балл 1 характеризует равномерное распределение карбидов, баллы 2 и 3 — слабовыраженную полосчатость, балл 4 — более значительную полосчатость, баллы 5 и 6 — полосчатость и сравнительно тонкую и разорванную сетку. Балл 7 характеризует еще большую полосчатость и толстую разорванную сетку. Остальные баллы свидетельствуют о еще больших дефектах в структуре.

Контроль карбидной строчечности в инструментальных легированных сталях проводят по ГОСТ 5950—51 по шкале 6А и по ГОСТ 8233—56 на продольных микрошлифах.

Для изготовления дереворежущего инструмента с малыми углами заточки не должна использоваться сталь, имеющая в структуре карбидную сетку или значительную карбидную неоднородность (допускается не более второго карбидного балла).

**Контроль глубины обезуглероженного слоя.** Одним из недостатков инструментальных сталей всех марок является наличие в них обезуглероженного слоя. Обезуглероживание поверхности стали на глубину, превышающую допустимые пределы, может привести к снижению износостойкости режущего инструмента, если этот слой не будет снят при механической обработке. Особенно опасно наличие данного дефекта на инструменте с нешлифуемым профилем.

Максимально допускаемая толщина обезуглероженного слоя (на сторону) для углеродистых сталей составляет:

Диаметр проката, мм	. . . . .	.6—10	11—16	17—25	26—40	>60
Максимальная толщина обезуглероженного слоя, мм	. . . . .	0,3	0,4	0,5	0,6	1,5 диаметра (толщины)

Для легированных сталей:

Диаметр проката, мм	. . . . .	. 8—10	11—15	16—30	31—50	51—70	>70
Максимальная толщина обезуглероженного слоя, мм	. . . . .	0,35	0,4	0,5	0,65	1	1,5
						диаметра	(толщины)

На углеродистых и легированных сталях обезуглероженный слой легко выявляется металлографическим анализом. На быстрорежущей стали обезуглероженный слой этим методом выявляется значительно труднее.

Контроль глубины обезуглероженного слоя рекомендуется производить следующими методами: в углеродистых сталях — по глубине ферритной зоны в отожженном состоянии (ГОСТ 1763—42); в легированных инструментальных сталях — по методу А. А. Попова, уточненному Ю. А. Геллером и М. Н. Фадюшиной; в высокохромистых сталях и в сталях Х6ВФ и 9Х5ВФ — по методу В. Д. Садовского (ГОСТ 5952—61), уточненному А. А. Бадаевой для стали Х6ВФ.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОВКЕ, ОТЖИГУ И УЛУЧШЕНИЮ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Операции по горячей и термической обработке являются предварительной подготовкой инструмента к его окончательной обработке, которая обеспечивает получение оптимальных технологических параметров.

**Ковка** заэвтектоидных инструментальных сталей применяется для придания требуемой формы заготовкам и для того, чтобы раздробить карбидную сетку, измельчить карбиды и равномерно распределить их в структуре. Температурные интервалы ковки для рассматриваемых сталей приведены в табл. 6.

Таблица 6  
Температурные интервалы ковки для различных марок сталей

Марка стали	Температура, °С		Марка стали	Температура, °С	
	начала ковки	конца ковки		начала ковки	конца ковки
У7А, У7	1100—1125	850—870	Х6ВФ	1100	850
У10А, У10	1075—1100	850—750	9Х5ВФ	1140	850—900
У12А, У12	1075—1100	850—750	8Х4В4Ф1 (Р4)	1120	900—950
ХВГ	1050	850	Х12Ф1	1050	850
9ХС	1100—1140	870—800	Р18	1150	950
			Р9	1150	950

Для нагрева заготовки из углеродистых и малолегированных сталей (У7, У10, У12, 9ХС и др.) помещают в печь с температурой 600—700°, а заготовки размером меньше 90×90 мм можно загружать в печь с более высокой температурой.

После этого заготовки нагревают до температур ковки. Выдержка при температуре ковки должна обеспечить полный про-

грев. Если требуется деформация с небольшим обжатием, то целесообразно понизить температуру нагрева (против указанной), чтобы не заканчивать деформацию при повышенной температуре. Необходимо учитывать, что энергичная ковка может повышать температуру нагрева на 50—100°. Температура окончанияковки (деформации) при обработке на готовый профиль должна обеспечивать получение желательной структуры металла и предупреждать выделение карбидной сетки.

Заготовки из высоколегированных и быстрорежущих сталей, имеющих малую теплопроводность, следует нагревать перед ковкой более медленно. Нагрев должен состоять из двух этапов — предварительного и окончательного. При предварительном нагреве заготовки загружают в печь с температурой 400—500° и прогревают там до 850—860° со скоростью 100° в час. Выдержка при этой температуре составляет  $\frac{1}{3}$  времени нагрева. При окончательном нагреве, который желательно выполнять во второй печи, заготовки нагревают до температуры началаковки. Выдержка при температуре окончательного нагрева дается из расчета 30 мин на 25 мм сечения заготовки. Во время нагрева заготовку следует кантовать не менее 2 раз.

Ковка заготовок должна проводиться путем многократной обратной вытяжки и так, чтобы деформация происходила по всему сечению заготовки, а не ограничивалась одной лишь ее поверхностью. Для получения износостойкого дереворежущего инструмента с малыми углами заточки, изготовляемого из сталей ХВГ, Х12Ф1 и Р18, необходима особенно тщательная, всесторонняя ковка заготовок, чтобы максимально раздробить ледебуритные карбиды и достичь сравнительно равномерного распределения их в массе металла. Для достижения этого ковку выполняют иногда за 10—15 переходов. Недооценка этой рекомендации безусловно проявится в уменьшении стойкости лезвия выкрашиванию.

Заготовки послековки во избежание появления трещин следует подвергать специальному охлаждению в печи от температуры 720—740°. После выдержки при этой температуре в течение 2—3 ч заготовки охлаждают в печи до 400—500°, а затем на воздухе, после чего заготовки поступают на отжиг.

**Отжиг заготовок.** Заготовки, предназначенные для изготовления инструмента, отжигаются во-первых, с целью получения оптимальной твердости, обеспечивающей хорошую обрабатываемость стали на металлорежущих станках; во-вторых, с целью получения мелкозернистой равномерной структуры стали для последующей закалки инструмента; в-третьих, для исправления дефектной структуры углеродистых и легированных сталей.

В зависимости от расчетного сечения заготовки делят на группы. В одну садку совместно загружаются заготовки одной, максимум, двух групп:

Номер группы	.	.	.	I	II	III	IV
Расчетная толщина, мм	.	.	.	до 25	26—60	61—100	101—150

Заготовки III и IV групп не должны загружаться в печь навалом.

Отжиг заготовок из углеродистых и малолегированных сталей рекомендуется проводить по следующему режиму: загрузка заготовок в печь при 600—650°, время нагрева до температуры отжига из расчета 40 мин. на каждые 25 мм расчетной толщины заготовки. Выдержка при температуре отжига должна составлять  $\frac{1}{5}$  времени нагрева. Охлаждение в печи до 400°, далее на воздухе.

Отжиг инструмента из углеродистых и легированных сталей можно производить либо в защитной атмосфере, либо в отработанном карбюризаторе, либо в угле с добавкой 10—15% кальцинированной соды. Время нагрева углеродистых и малолегированных сталей берется из расчета 40 мин на каждые 25 мм ширины ящика (по наименьшему его размеру).

Отжиг инструмента из быстрорежущей стали производится в печи с защитной атмосферой, а в случае отсутствия ее можно применить упаковку в ящики со свежей чугунной стружкой. Для этой цели надо использовать просеянную стружку из серого чугуна.

Отжиг инструмента из быстрорежущих сталей в карбюризаторе или в угле не разрешается, так как может происходить обезуглероживание. Рекомендуемые температуры отжига указаны в табл. 7.

Таблица 7

Температуры отжига для различных марок сталей

Марка стали	Температура отжига, °С	Твердость НВ	Марка стали	Температура отжига, °С	Твердость НВ
У10А	750—770	197—179	9Х5ВФ	820—840	
У12А	750—770	207—187	Р4	820—840	
9ХС	780—810	241—207	Р18	870—890	255—207
ХВГ	770—790	229—197	Р9	870—890	255—207

Итак, послековки и отжига должна получиться структура, являющаяся исходной перед закалкой инструмента. Наиболее желательными структурами стали в исходном состоянии являются:

для углеродистых инструментальных сталей — зернистый перлит;

для инструментов из легированных сталей типа ХВГ, 9ХС структура — мелкозернистый перлит, для сталей Х6ВФ и 9Х5ВФ — мелкозернистый перлит и карбиды;

для высокохромистых сталей типа Х12 и Х12Ф1 — сорбитообразный перлит и избыточные карбиды;

для быстрорежущих сталей Р18 — сорбитообразный перлит и карбиды.

# **ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

## **РЕЖИМЫ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Основной и наиболее ответственной операцией термической обработки инструмента является закалка и отпуск. Разработка оптимальных режимов закалки и отпуска требует одновременного решения нескольких вопросов, обусловливающих эксплуатационные качества инструмента. Эти качества определяются в основном износостойкостью и прочностью режущей его части, т. е. свойствами в определенной степени противоположными. Оптимальные режимы термической обработки должны обеспечить наиболее благоприятное сочетание этих свойств. Дереворежущий инструмент должен иметь достаточно высокую прочность режущей кромки против выкрашивания, отгибов и других видов формоизменения, возникающих под действием внешних сил, и высокую сопротивляемость износу. Опыт показывает, что в условиях циклического воздействия нагрузки при резании древесины работоспособность инструмента часто определяется не общей величиной полного линейного износа режущей части, а глубиной и количеством возникающих на режущей кромке выломов и других дефектов. Поэтому прочность режущей части инструмента в определенных условиях обработки древесины имеет не меньшее значение, чем сопротивляемость износу.

Нами сделана попытка разработать рациональные режимы термообработки для некоторых видов дереворежущего инструмента. Эта задача решалась путем изучения прочности режущей части инструмента, термообработанного по разным режимам, с последующим испытанием его при обработке древесины с целью установления эксплуатационных качеств.

Опытные резцы, изготовленные из сталей У8А, У12А, 9ХС, 9Х5ВФ и Х12Ф1, отжигали для получения рекомендуемой исходной структуры, а затем производили закалку и отпуск по нескольким вариантам для резцов каждой марки стали.

Режущую часть резцов испытывали на изгиб в специальном устройстве, которое позволяло прилагать разрушающую нагрузку на заданном расстоянии от вершины резца. Расстояние от вершины резца до линии контакта нагрузки принималось соразмерным глубине крупных выкрошин, которые могут появляться на режущей кромке резца в процессе обработки древесины.

В результате испытаний определена статическая прочность в очень малых высотах расчетных сечений режущей части клиновидных закаленных резцов из разных инструментальных сталей.

Вторым вопросом, как указывалось, было испытание опытных резцов на износостойкость при обработке древесины. Исследова-

ние проводилось при встречном и попутном строгании древесины сосны и ели. Критериями оценки качества инструмента служили величина и количество дефектов, появившихся на лезвии в процессе обработки древесины, величина хорды кривой затупления и в ряде случаев увеличение мощности резания. На основании проведенных исследований установлено следующее:

1. Стойкость лезвия к механическому воздействию во многом определяется прочностью режущей части инструмента. Резцы, испытанные в условиях фрезерования древесины (резцы из сталей Х12Ф1 и 9Х5ВФ), имеющие наибольшую прочность режущей части, показали при обработке древесины наиболее высокую сопротивляемость выкрашиванию, отгибам и т. д.

2. Износостойкость инструмента, изготовленного из высокоуглеродистых заэвтектоидных сталей, во многом зависит от исходной структуры сталей перед закалкой. Устойчивость режущей кромки и износостойкость инструмента в целом будет тем выше, чем равномернее и мельче будут структурно свободные карбиды. Оптимальное распределение карбидов в структуре таких сталей может быть достигнуто правильной обработкой давлением. Так, лучшая структура в сталях типа Р18 и Х12Ф получается при ковке их под углом  $45^\circ$  к первоначальному расположению волокон.

3. Если по границам зерен имеется хрупкая фаза (цементитная сетка), то в большинстве случаев выломы режущей кромки происходят по этим границам. Прочность режущей части инструмента выше. Эти обстоятельства предполагают мелкозернистое строение стали.

4. Твердость режущей части инструмента, предназначенного для продолжительной работы в условиях высоких скоростей резания древесины, не должна быть ниже 58—59 HRC.

На основании приведенных выводов сделаны уточнения режимов термообработки дереворежущего инструмента, предназначенного для фрезерования древесины. В табл. 8 приведены рекомендуемые режимы обработки. Технология термообработки некоторых дереворежущих инструментов приводится в технологических картах (см. стр. 92—106).

## **ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТА**

Оборудование термических цехов или участков подразделяют на основное, дополнительное и вспомогательное. Основное оборудование используют для осуществления главных операций термической обработки дереворежущего инструмента — нагрева и охлаждения. Дополнительное оборудование необходимо для осуществления таких операций, как очистка и правка деталей, нанесение упрочняющих или декоративных покрытий, контроль качества термической обработки.

Выбор типа оборудования определяется характером производ-



ства. При мелкосерийном производстве целесообразно применять универсальное оборудование, при массовом — специализированное, которое гарантирует большую стабильность качества обработки.

Таблица 8

**Режимы заковки и отпуска дереворежущего инструмента**

Марка стали	Оптимальные режимы		Твердость HRC	Инструмент
	заковка, °C	отпуск, °C		
9ХФ	800—840	450—500	45—42	Пилы рамные с плющенным зубом
ХВГ	830—850	220	59—60	Фрезы насадные
9Х5ВФ	1000—1050	250—450	56—58	Ножи строгальные
Х6ВФ	990—1010	190—210	58—60	Фрезы, сменные ножи, фрезы концевые
8Х4В4Ф1 (Р4)	1120	550—560 3 раза по часу	58—60	Ножи строгальные, ножи стружечные станков, сверла, зенковки
9ХС	860—870	190—200	60—62	Инструмент простой формы
9ХС	860—870	260—270	58—59	Фрезы, сменные ножи, сверла, зенковки и др.
Х12Ф1	1050—1070	190—200	59—61	Инструменты простой формы
Х12Ф1	1000—1050	250—270	57—59	Строгальные ножи, фрезы
Р18	1270—1280	560	>62	Ножи строгальные, ножи сменные, фрезы, резцы токарные
Р9	1220—1240	560	≥62	Ножи строгальные, сверла спиральные, фрезы насадные
У7А	800—830	200	58—59	Фрезы насадные, фрезы концевые, сверла, сверла шнековые
У10А	780—800	200—220	59—61	

Нагрев под заковку инструмента может быть осуществлен тремя способами:

1. В печах с нефтяным или газовым обогревом и с газовой средой в рабочем пространстве, созданной продуктами горения; в электрических с воздушной атмосферой; в электрических или газовых (с радиационными трубами) с нейтральной атмосферой.

2. В ваннах с расплавленными солями (с нефтяным, газовым и электрическим нагревом ванн).

3. Токами высокой частоты.

Основным оборудованием для нагревания инструмента пока являются печи и печи-ванны, изготавливаемые заводами треста «Электропечь».

По технологическому назначению различают печи для заковки, цементации, для азотирования и т. д. По конструкции рабочего пространства печи бывают муфельные, шахтные, камерные и др.

За последние годы Всесоюзный научно-исследовательский институт электротермического оборудования (ВНИИЭТО) разрабо-

тал типизированное электротермическое оборудование. В новых размерных рядах печей, разработанных в 1961 г., предусмотрены повышение к. п. д., увеличение производительности, приспособленность к выполнению термической обработки в контролируемых средах и в вакууме, а также внесены и другие изменения.

Вместо существующих условных обозначений печей (например, Н-15, Н-30, Г-30 — камерные печи; Ш-35, Г-65 — шахтные и т. д., где цифра обычно соответствовала мощности в киловаттах) введены новые обозначения, например:  $CH3=2,5 \times 5,0 \times 1,7/12$ ;  $СДО=14 \times 28 \times 10/10$ ;  $СШЦ=0304/10$  и т. д. Буквы означают: первая — нагрев сопротивлением; вторая — тип печи (Н — камерная, Д — с выдвижным подом, Ш — шахтная и др.); третья — среда (О — окислительная, З — защитная, Ц — цементационная, В — вакуум). Цифры в числителе обозначают соответственно ширину, длину и высоту рабочего пространства в дециметрах (в шахтных печах первые две цифры показывают диаметр, вторые — высоту рабочего пространства). Знаменатель показывает температуру рабочего пространства в сотнях градусов Цельсия.

Наиболее широкое применение нашли камерные электрические печи серии Н с рабочей температурой 950—1000°. Они имеют металлические нагревательные элементы, расположенные на поду печи и на всех боковых стенках, включая дверцы (заслонки). Подовые нагревательные элементы защищены плитой из жароупорной стали. В некоторых печах нагревательные элементы располагают и на своде.

Высокотемпературные камерные печи (до 1300°) типа Г30 и Г50 имеют карборундовые нагреватели, которые расположены на своде и на полу и подключены к сети через ступенчатый трансформатор или автотрансформатор. Достоинством печей этого типа является стабильность температурного режима, недостатком — хрупкость карборундовых стержней.

Таблица 9

Техническая характеристика электрических камерных печей

Тип печи	Мощность, <i>квт</i>	Рабочая температура, °С	Производительность, <i>кг/ч</i>	Размеры рабочего пространства, <i>мм</i>		
				ширина	длина	высота
Н20×40	8	950	15	200	400	140
Н30×65	18	950	50	300	650	200
Н40×80А	30	1000	85	400	800	260
Н50×100	45	1000	150	500	1000	320
Н65×130	70	1000	220	650	1300	400
Г30	30	1300	50	300	400	250
Г50	50	1300	130	450	700	350

При нагреве инструмента из высокохромистых и быстрорежущих сталей до высоких температур во избежание образования трещин часто рядом с высокотемпературными печами устанавливают печи для предварительного подогрева. Техническая характеристика некоторых камерных электрических печей приведена в табл. 9. В настоящее время наиболее распространен нагрев инструмента под закалку в печах-ваннах с расплавом солей.

Это объясняется следующими особенностями:

1. Жидкая среда обеспечивает одинаковую интенсивность нагрева инструмента со всех сторон, что способствует однородности его структуры и свойств, и уменьшает величину закалочной деформации.

2. В жидкой среде возможны местный нагрев изделия на необходимой длине и получение на данном участке требуемой высокой твердости.

3. Стержневые инструменты можно помещать в расплавленную соль в строго вертикальном положении на необходимую длину, что позволяет уменьшить искривление этих инструментов.

4. Жидкая среда препятствует окислению поверхности инструмента.

Общим недостатком расплавленных солей является их обезуглероживающее действие на поверхность инструмента.

При нагреве в соляных ваннах облегчается использование различных приспособлений, в том числе многоместных, позволяющих избежать соприкосновения нагреваемых изделий друг с другом и обеспечивающих всестороннее равномерное омывание их расплавленной солью. Применение таких приспособлений способствует механизации и автоматизации процессов термической обработки изделий в соляных ваннах и улучшает организацию производства.

В настоящее время широко применяют электродные соляные ванны различных типов, тигельные электрические с внешним обогревом (с элементами сопротивления) и с внутренним (преимущественно с трубчатыми электронагревателями). При оснащении этих ванн специальной аппаратурой и приборами температуру можно регулировать автоматически до  $\pm 5^\circ$ . Нагрев в соляных ваннах можно осуществлять при температурах от 140 до  $1350^\circ$ .

Соляные ванны разделяют на высокотемпературные (используемые при  $1000\text{--}1350^\circ$ ), среднетемпературные (при  $720\text{--}950^\circ$ ) и низкотемпературные (при  $140\text{--}700^\circ$ ). Основным назначением высокотемпературных ванн, содержащих до 100%  $\text{BaCl}_2$ , является окончательный нагрев под закалку быстрорежущих и других высоколегированных сталей. Однако они с успехом используются теперь и для предварительного подогрева инструмента из этих сталей при  $1050\text{--}1070^\circ$ . Среднетемпературные соляные ванны в настоящее время применяются для различных целей: для окончательного нагрева под закалку углеродистых и малолегированных

сталей, для предварительного подогрева при закалке изделий из быстрорежущих и других высоколегированных сталей, для нагрева при отжиге или нормализации заготовок. Низкотемпературные соляные ванны, работающие при 120—380°, используют в основном для отпуска инструмента из углеродистых и малолегированных сталей, а также для охлаждения при ступенчатой и изотермической закалках.

**Электродные соляные ванны.** Отечественная промышленность выпускает несколько серий электродных печей-ванн мощностью от 20 до 100 *квт*. Техническая характеристика некоторых из них приведена в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

**Техническая характеристика некоторых печей-ванн  
(напряжение на первичной обмотке трансформатора 380/220 в)**

Тип печи- ванны	Полезная мощность, <i>квт</i>	Рабочая темпера- тура, °С	Произво- дитель- ность, <i>кг/ч</i>	Размеры рабочего пространства, <i>мм</i>		
				ширина	длина	высота
СП35/10*	16	1300	155	130	240	220
СП35/15	14	1300	135	200	300	240
СП60/20	22	1300	210	210	300	220
СП100/40	35	1300	330	250	390	320

\* В числителе — мощность трансформатора, *квa*; в знаменателе — полезный объем расплавленной соли, *л*.

ВНИИЭТО разработал типаж новых электродных соляных ванн серии СВС с рабочими температурами 650, 850 и 1300° и мощностью 20, 35, 60 и 100 *квт*.

В настоящее время все реже применяются электродные соляные ванны мощностью 20 и 35 *квт*, чаще устанавливают ванны мощностью 60 *квт* и более. Ванны С35 и С75 имеют рабочее пространство в форме шестигранной призмы, футеровка выполнена фасонным шамотным кирпичом. На трех стенках печи (через одну) установлены металлические плоские электроды, которые не должны доходить до дна во избежание короткого замыкания при раскислении и осаждении окислы. Недостатком этих ванн является то, что электрический ток, проходя через весь объем соли, проходит также через погруженные в нее детали, вызывая небольшой перегрев деталей.

В последние годы разработаны иная форма рабочего пространства ванн и иное расположение в них электродов. Наряду с вышеуказанной формой широкое распространение получили ванны квадратного сечения с тремя электродами. Такое расположение электродов позволяет лучше использовать рабочее пространство. Эти ванны проще в изготовлении и эксплуатации.

**Тигельные соляные ванны.** Эти ванны имеют внешний обогрев. В них соли, находящиеся в тиглях, нагреваются с помощью спиральных и ленточных нагревателей, размещаемых на боковых стенках кладки. Обычно эти ванны имеют диаметр 200—400 мм и небольшую мощность, 10—30 квт. Реже для термической обработки применяют тигельные ванны с газовым обогревом и еще реже ванны с нефтяным обогревом. Тигли для ванн с наружным обогревом могут быть литыми с толщиной стенки 12—30 мм (из чугуна, сталей или сплавов типа Х18Н9Т, Х25Н20С2), и штампованными или сварными из малоуглеродистых сталей.

Все тигельные ванны с наружным обогревом малопроизводительны и имеют сравнительно непродолжительный срок службы тиглей и нагревателей. Поэтому в последнее время получили широкое распространение ванны с внутренним обогревом. Нагрев их осуществляется переменным током 220 и 380 в с помощью трубчатых электронагревателей, в которых помещена нихромовая спираль, изолированная от стенок трубы. Широкий опыт использования соляных ванн с внутренним обогревом подтвердил успешность их применения для отпуска и охлаждения при ступенчатой закалке инструмента.

Измерение температуры соляных ванн. Температуру соляных ванн, работающих при 1000—1300°, рекомендуются измерять радиационным пирометром «Тера-50» и электронным потенциометром. Температуру ванны можно измерять и радиационным пирометром, но точность измерения не превышает  $\pm 20^\circ$ .

Иногда для кратковременных измерений пользуются безынерционной хромель-алюмелевой термопарой. Однако эти термопары выдерживают всего лишь 100—200 погружений по несколько десятков минут.

Для измерения и регулирования температуры среднетемпературных соляных ванн применяют электронные потенциометры типа ЭПД-120 или ЭПД-107 группы ХА со шкалой 600—1100° в комплекте с хромель-алюмелевой термопарой. Точность измерений около  $\pm 10^\circ$ .

Для измерения температуры соляных ванн, работающих при 150—400°, используют электронные потенциометры типа ЭПП-09, ЭПД-107, группы ХК со шкалой 0—400° в комплекте с хромель-копелевой термопарой. Чехлы для термопар изготавливают из сталей 10 или 20, а в высоко- и среднетемпературных соляных ваннах применяют нержавеющие стали типа Х25.

Соли для ванн. При выборе солей для ванн большое значение имеет температура их плавления. Соль или смесь солей должна быть перегрета не менее чем на 40—70° выше температуры их плавления, так как при этом достигается необходимая жидкотекучесть расплава и незначительное налипание соли на инструмент. Распространенные расплавы высоко- и среднетемпературных ванн приведены в табл. 11.

Таблица 11

## Составы высоко- и среднетемпературных ванн

Группа стали	Назначение ванны	Состав расплава солей	Температура плавления, °C	Рабочие температуры, °C
Углеродистые и легированные	Нагрев под закалку	78% BaCl <sub>2</sub> + +22% NaCl	635	700— 900
		70% NaCl+ +25% KCl	700	780— 900
Высокохромистые	Предварительный подогрев	78% BaCl <sub>2</sub> + +22% NaCl	635	790— 810
	Окончательный нагрев при закалке		—	980—1050
Быстрорежущие	Предварительный подогрев	78% BaCl <sub>2</sub> + +22% NaCl	635	840— 860
	Окончательный нагрев		960	1200—1300

Во избежание обезуглероживания инструмента в процессе нагрева при втором и окончательном нагреве необходимо проводить следующие мероприятия:

1. Проверять химический состав применяемых солей; не применять солей, имеющих отклонения по составу от ГОСТ или ТУ.

2. Периодически производить присадку в ванну раскислителей (буры и др.). По рекомендации ВНИИ, среднетемпературные ванны следует раскислять бурой через 4 ч работы. Количество вводимой буры должно составлять 1—1,5%.

Раскисление ванны можно производить также сухим кусковым древесным углем, для чего на дне ванны, разогретой до верхнего температурного предела обработки инструмента, опускают на 8—10 мин дырчатый ковш с углем.

Прекращение бурления ванны и язычки синеватого пламени на ее поверхности указывают на конец раскисления. Раскисление высокотемпературных ванн (с хлористым барием) обычно производится молотым 75%-ным ферросилицием, который добавляется в расплавленную соль 1—2 раза в смену в количестве 150—200 г за один прием. Раскисление низкотемпературных ванн, применяющихся при ступенчатой и изотермической закалке, а также для отпуска инструмента, не производят.

Нагреваемый инструмент во избежание оплавления режущих кромок помещается в ванне на расстоянии не менее 50 мм от электродов.

Условия нагрева инструмента в ваннах. Нагрев в соляных ваннах происходит с большой скоростью благодаря

высокому коэффициенту теплоотдачи расплавленных солей. Это может привести к деформации инструмента, а в некоторых случаях и к образованию трещин. Кроме того, при погружении в ванну холодного или мокрого инструмента происходит разбрызгивание расплавленной соли, что небезопасно для обслуживающего персонала.

Чтобы уменьшить внутренние напряжения при нагреве изделия и сделать работу на ваннах безопасной, необходимо применять ступенчатый нагрев под закалку. Для углеродистой и легированной стали следует производить один подогрев при 400—500°, а для быстрорежущей — два, первый при 400—500°, и второй при 840—860°.

Подогрев инструмента из углеродистой и легированной стали и первый подогрев инструмента из высокохромистой и быстрорежущей стали следует производить в камерных печах или в камерах шахтного типа.

Из печей-ванн наиболее удобными и экономичными для нагрева под закалку инструмента из стали всех марок следует считать электродные ванны.

Тигельные ванны менее производительны, чем печи-ванны, и точность регулирования температуры в них меньше, чем в электродных.

Для охлаждения в горячих средах (изотермическая, ступенчатая закалка) используют ванны с электрическим обогревом (тигельные и электродные), а также с газовым и нефтяным обогревом. Нагрев ванны нужен лишь в начале работы для расплавления и нагрева охлаждающей среды до заданной температуры. В процессе работы расплавленная соль может перегреваться за счет тепла закаливаемых изделий. Для поддержания необходимой температуры эти ванны снабжают наружными змеевиками для охлаждения водой или делают ванну с двумя или более отделениями, в которых поочередно закаливают изделия. На некоторых заводах с целью охлаждения ванны делают без футеровки.

При ручной закалке на индивидуальных соляных ваннах, инструмент нагревают в клещах, связках или в многоместных приспособлениях. В серийном производстве, когда применяют механизированные блоки ванн или поточные линии, термическую обработку инструмента можно производить только в многоместных приспособлениях.

Для обеспечения требуемого качества закалки инструмента при нагреве его в соляных ваннах необходимо автоматическое регулирование температуры ванн для окончательного нагрева инструмента из сталей всех марок и для второго подогрева инструмента из высокохромистой и быстрорежущей стали. В печах и шахтных камерах, а также в ваннах для охлаждения контроль температуры может производиться показывающими приборами.

Шахтные печи. В шахтных печах рабочая камера расположена вертикально. Шахтные печи занимают в цехе меньшую

площадь и на единицу площади пода дают большее количество продукции, чем камерные. Их можно применять для различных видов термической обработки. Для нагрева этих печей применяют жидкое или газообразное топливо, а также электроэнергию. Технические данные типовых электрических шахтных печей приведены в табл. 12, 13.

Т а б л и ц а 12

**Технические данные электрических шахтных печей  
(напряжение 380/220 в)**

Тип печи	Мощность, квт	Рабочая температура, °С	Производительность, кг/ч	Размеры рабочего пространства, мм		
				ширина (диаметр)	длина	высота

**Высокотемпературные печи**

Г65	65	1300	250	300	300	1470
Г95	95	1300	300	300	300	2200

**Среднетемпературные печи**

Ш-35	35	950	125	300	300	1200
Ш-55	55	950	230	300	300	2000

**Низкотемпературные печи**

ПН-32А	36	650	280	500	—	650
ПН-34А	75	650	550	950	—	1220

Т а б л и ц а 13

**Технические данные печей для газовой цементации**

Тип печи	Мощность, квт	Рабочая температура, °С	Производительность, кг/ч	Размеры рабочего пространства, мм		
				ширина (диаметр)	длина	высота

ШЦН-20	20	1050	50	300	—	450
ШЦН-45А	45	1050	150	450	—	600
ШЦН-95А	110	1050	500	600	—	1200

**ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ НАГРЕВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ  
ЗАКАЛКЕ**

Продолжительность нагрева под закалку должна обеспечить сквозной прогрев и выравнивание температуры по всему сечению инструмента и завершение необходимых структурных превраще-



ний. Общее время нагрева складывается из времени нагревания до заданной температуры и времени выдержки при температуре нагревания.

Скорость нагревания до заданной температуры не должна превышать той, при которой могут возникнуть напряжения в металле, превосходящие допускаемые. Наиболее опасно возникновение внутренних напряжений при нагревании до температур 500—600°, когда металл обладает малой пластичностью. В этом диапазоне температур нагревать инструмент следует с наибольшей осторожностью. Время нагревания до заданной температуры  $\tau_n$  можно определять несколькими способами. Кратко рассмотрим способы, предложенные А. П. Гуляевым и Е. А. Смольниковым:

$$\tau_n = aD = 0,1D,$$

где  $D$  — диаметр шара, *мм*;

$\tau_n$  — время сквозного прогрева шара, *мин*.

Для определения времени нагревания различных по форме изделий в различных средах с учетом их расположения в печи формула будет иметь вид:

$$\tau_n = 0,1K_1K_2K_3D_1 \text{ мин},$$

где  $D_1$  — размерная характеристика нагреваемого инструмента (изделия), *мм*;

$K_1$  — коэффициент формы, имеющий следующие значения (отношение длины цилиндра к диаметру больше 3): шар — 1, цилиндр — 2, параллелепипед — 2,5, пластина — 4; если отношение длины цилиндра или пластины к диаметру или к толщине не превышает 2,5, то эти коэффициенты следует умножить на 0,75;

$K_2$  — коэффициент среды (для нагрева в соли равен 1, в свинце — 0,5, в газовой среде — 2);

$K_3$  — коэффициент равномерности нагревания от 1 до 2,2, в зависимости от формы поперечного сечения и расположения изделий в печи.

Указанный способ определения времени нагревания достаточно точен и наиболее удобен для практического применения. По второму способу, предложенному Е. А. Смольниковым,

$$\tau_{\text{нп}} = K \frac{V}{F};$$

$\tau_{\text{нп}}$  — время нагревания образца простой формы, *мин*;

$V$  — объем изделия, *см<sup>3</sup>*;

$F$  — поверхность изделия, *см<sup>2</sup>*;

$K$  — суммарный физический фактор нагревания, *мин/см*.

Отношение  $v/F$  называется геометрическим показателем тела:

$$W = \frac{V}{F} \text{ см и тогда } \tau_{\text{нп}} = KW.$$

$W$  вычисляется по формулам, а значения коэффициента  $K$  — по табл. 14.

### Формулы для вычисления $W$ изделий простой формы

#### Форма тела

Шар . . . . .	$\frac{D}{6}$
Цилиндр сплошной, нагреваемой со всех сторон . . . . .	$\frac{Dl}{4l+2D}$
Цилиндр сплошной, нагреваемый с одного конца . . . . .	$\frac{Dl_1}{4l_1+D}$
Полый цилиндр, нагреваемый кругом . . . . .	$\frac{(D-d) l}{4l+2(D-d)}$
Прямоугольная пластина, нагреваемая со всех сторон . . . . .	$\frac{B a l}{2 (Bl+Ba+al)}$

В приведенных формулах приняты следующие обозначения:

- $D$  — наружный диаметр, см;  
 $d$  — внутренний диаметр, см;  
 $l$  — длина изделия;  
 $l_1$  — длина нагреваемой части, см;  
 $B$  — толщина пластины, см;  
 $a$  — ширина пластины, см.

Таблица 14

#### Значения коэффициента $K$ для различных условий нагревания

Тип стали	Температура нагрева, °C	Нагревающая среда	$K$
Углеродистая и легированная . . . . .	300—400 750—900	Воздух . . . . .	45
		То же . . . . .	40
		Продукты сгорания . . .	35
		Соль . . . . .	10
Легированная . . . . .	750—900	Воздух . . . . .	45
		Продукты сгорания . . .	40
		Соль . . . . .	13
Быстрорежущая и высокохромистая . . . . .	500—650 800—900	Воздух . . . . .	35
		Продукты сгорания . . .	30
		Соль . . . . .	7
		То же . . . . .	10
Быстрорежущая . . . . .	200—1300	»	5

При нагревании инструмента, отличающегося по форме от изделий простейшего вида, необходимо скорректировать эти данные таблицы. Определяют коэффициент формы  $z_{\phi}$ . Он равен отношению продолжительности сквозного прогрева данного инструмента к продолжительности сквозного прогрева гладкого образца простой формы  $\tau_{\text{нп}}$ , равного ему по габариту:  $z_{\phi} = \tau_{\text{ни}} : \tau_{\text{нп}}$ .

Ниже приведены значения коэффициента  $z_{\phi}$  для различного инструмента, нагревающегося целиком:

Фрезы цилиндрические . . . . .	0,90	Фрезы торцовые, насадные . . . . .	0,80
Ножи . . . . .	0,90	Сверла . . . . .	0,57
Фрезы дисковые, зенкеры . . . . .	0,85	Фрезы сложные . . . . .	0,75

Продолжительность сквозного прогрева данного инструмента вычисляют по формуле  $\tau_{\text{ни}} = z_{\phi} \tau_{\text{нп}}$ .

После достижения инструментом заданной температуры необходима выдержка, чтобы произошли, как указывалось, структурные превращения. Время выдержки не зависит ни от способа нагревания, ни от сечения изделия, а зависит от структуры стали. Рекомендуемая продолжительность выдержки в камерных печах и ваннах приведена в табл. 15, 16, 17.

Т а б л и ц а 15

**Примерные нормы выдержки при нагреве образцов диаметром (толщиной) более 3 мм при температуре 750—900°**

Нагревательный агрегат	Выдержка, сек, на 1 мм диаметра или наименьшей толщины	
	для углеродистых и низколегированных сталей	для легированных сталей
Электрическая печь . . . . .	50—80	70—90
Соляная ванна . . . . .	20—25	25—30
Свинцовая ванна . . . . .	6—8	8—10

Т а б л и ц а 16

**Примерная продолжительность окончательного нагрева цилиндрических фрез под закалку**

Размеры, мм		Быстрорежущая сталь			Легированная сталь		
диаметр	ширина	количество одно-временно нагреваемых фрез	время нагрева, мин		количество одно-временно нагреваемых фрез	время нагрева, мин	
			в соляной ванне	в камерной печи		в соляной ванне	в камерной печи
40	50	2	1,1—1,2	2,2—2,4	2	2,2—2,4	10—11
50	60	2	1,4—1,5	2,8—3,0	2	2,8—3,0	12—13
60	60	2	1,8—2,0	3,6—4,0	2	3,6—4,0	14—16
75	80	1	2,8—3,0	5,6—6,0	1	5,2—5,6	20—26
90	100	1	3,8—4,0	7,6—8,0	1	7,6—8,0	22—24

**Примерная продолжительность окончательного нагрева  
концевых фрез под закалку**

Диаметр, мм	Количество одновременно нагреваемых фрез	Время нагрева, мин			
		для быстрорежущих сталей		для углеродистых и легированных сталей	
		в соляной ванне	в камерной электропечи	в соляной ванне	в камерной электропечи
12	5—6	1,1—1,3	2,0—2,5	2,4—2,6	9—10
16	5—6	1,5—1,6	3,0—3,5	3,5—3,8	12—13
18	4—5	1,7—1,8	3,5—4,0	4,0—4,2	13—14
20	3—4	2,0—2,2	4,0—4,5	4,3—4,5	15—16
22	3—4	2,2—2,4	4,5—5,0	4,7—5,0	17—18
25	2—3	2,5—2,8	5,0—5,5	5,5—6,0	18—20

### **ОХЛАЖДЕНИЕ ПРИ ЗАКАЛКЕ ИНСТРУМЕНТА И ОХЛАЖДАЮЩИЕ СРЕДЫ**

Условия охлаждения при закалке определяются необходимо-стью получения мартенситной структуры высокой твердости и минимальной деформации инструмента.

Решающее влияние на результат закалки имеет скорость охлаждения. В связи с этим закалочные среды по возможности должны обладать большой охлаждающей способностью, но не во всем диапазоне температур, а только в интервале температур наименьшей устойчивости аустенита. В области мартенситного превращения охлаждение должно проходить с пониженной скоростью. При такой схеме охлаждения достигается высокая твердость и уменьшается вероятность образования трещин и закалочной деформации. Поверхность закаленного инструмента должна быть чистой или легко очищаться от окалина и покрывающих ее остатков солей и масел.

Для различных групп инструментальных сталей (углеродистых, легированных, высокохромистых и быстрорежущих) требуются различные скорости охлаждения, а следовательно, и применение различных охлаждающих сред. Все среды, применяемые для охлаждения инструмента при закалке, подразделяются на группы: 1 — вода и водные растворы; 2 — масла; 3 — расплавленные соли и щелочи; 4 — воздух. В табл. 18 приведены сравнительные данные некоторых охладителей.

**Вода и водные растворы.** Воду применяют для закалки инструмента из углеродистой стали, так как она обеспечивает необходимую скорость охлаждения в интервале перлитного превращения для получения закаленного слоя необходимой глубины. Температура воды должна быть в пределах от 18 до 25°. Дальнейшее повышение температуры воды и загрязнение ее маслами или мы-

лом резко снижает ее охлаждающую способность в интервале температур от 550 до 650°, что приводит к образованию мягких пятен (мест с пониженной твердостью) на поверхности инструмента.

Таблица 18

**Скорость охлаждения стали в различных закалочных средах**

Закалочные среды	Скорость охлаждения, °C/сек, в интервале тем- ператур, °C	
	550—650	200—300
Вода при 18° . . . . .	600	270
» » 50° . . . . .	100	270
» » 74° . . . . .	30	200
10%-ный раствор поваренной соли в воде . . . . .	1100	300
10%-ный раствор соды в воде . . . . .	800	270
10%-ный раствор серной кислоты в воде . . . . .	750	300
Эмульсия (смесь масла и воды) . . . . .	70	200
Минеральное масло . . . . .	150	30
Керосин . . . . .	170	50
Воздух (обдув сжатым воздухом) . . . . .	30	10
Воздух спокойный . . . . .	3	1

При охлаждении в воде на закаливаемой поверхности образуется паровая рубашка, обладающая очень плохой теплопроводностью, что также может привести к появлению мягких пятен. Этот недостаток устраняют добавлением в воду некоторого количества кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) или соли ( $\text{NaCl}$ ). С этой же целью инструменту, погруженному в воду или водный раствор, сообщают движение.

Таблица 19

**Интервал рабочих температур и относительная охлаждающая способность закалочных сред**

Охлаждающая среда	Относительная закаливающая способность при температурах, °C			Интервал рабочих температур, °C
	20	60	99	
Вода спокойная . . . . .	1	0,44	0,07	18—25
Водные растворы NaCl:				
5%-ный . . . . .	1,14	0,72	0,14	18—35
10%-ный . . . . .	1,23	—	—	18—35
Водные растворы NaOH:				
5%-ный . . . . .	1,20	0,90	0,20	18—35
10%-ный . . . . .	1,20	—	—	
Масло минеральное . . . . .	0,17	Повышается		20—150

Водные растворы солей и щелочей охлаждают инструмент более интенсивно, чем чистая вода, и значительно меньше изменяет свою охлаждающую способность при повышении температуры раствора (табл. 19).

Большая скорость охлаждения водой и водными растворами не только в интервале перлитного превращения, что необходимо, но и в интервале температур мартенситного превращения, когда в стали возникают внутренние напряжения, приводит к деформации, а иногда и к образованию трещин. Поэтому воду и водные растворы применяют в качестве охлаждающей среды только при закалке инструмента простой формы диаметром или толщиной более 8—12 мм. Пока промышленность не располагает такой закалочной жидкостью, которая быстро охлаждала бы в перлитном интервале температур и медленно в мартенситном.

Медленное охлаждение в мартенситном интервале обеспечивает минеральное масло. В этом главное преимущество этого охладителя. Однако масло медленно охлаждает и в интервале перлитного превращения — это его основной недостаток. Поэтому масло применяют для закалки сталей с хорошей прокаливаемостью. Для углеродистых сталей скорость охлаждения масла при 550—650° будет недостаточна.

Масло имеет и ряд других недостатков: в процессе длительной работы оно стареет и делается непригодным для дальнейшей работы; опасно в пожарном отношении; трудно отмывается с поверхности закаленного инструмента; ухудшает санитарное состояние термических цехов. В связи с этим масло следует по возможности заменять другими охлаждающими средами, например расплавами солей.

Керосин используют для закалки в тех случаях, когда требуется жидкость с большей закаливающей способностью, чем масло, но меньшей, чем вода. Основной недостаток керосина — большая опасность загорания. Закалочные баки с керосином необходимо герметично закрывать крышкой с песочным затвором. Температура керосина не должна превышать 38°. Раскаленную деталь следует быстро и полностью погружать в керосин, чтобы к ней не было доступа воздуха.

## СПОСОБЫ ЗАКАЛКИ

Для выполнения необходимого режима охлаждения в практике используются различные приемы и способы охлаждения. Так, для уменьшения скорости охлаждения выше 650° применяют закалку с подстуживанием. При этом способе инструмент, нагретый до закалочной температуры, некоторое время выдерживают на воздухе, а потом опускают в охладитель. При выдержке на воздухе ни в коем случае нельзя допустить передержку, так как в аустените может частично или полностью произойти высокотемпературное превращение до того, как он будет опущен в ох-

лаждающую ванну. Время выдержки при подстуживании устанавливают опытным путем. Подстуживание уменьшает термические напряжения.

**Закалка в двух средах.** Этот способ применяется для уменьшения скорости охлаждения при температуре ниже  $400\text{--}300^\circ$ . С этой целью нагретый инструмент вначале погружают в воду, и после короткой выдержки в воде переносят в масло. В этом случае быстрое охлаждение в воде предотвращает высокотемпературное перлитное превращение, а последующее замедленное охлаждение в масле уменьшает закалочные напряжения в мартенситном ин-

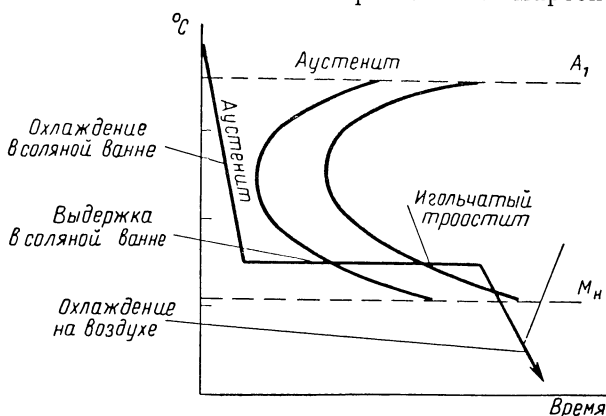


Рис. 11. Схема ступенчатой закалки

тервале. Очень ответственным моментом в этом случае является продолжительность выдержки в воде. Она устанавливается опытным путем для каждого конкретного инструмента. Изделие выдерживают в воде до потемнения поверхности. Для инструментов диаметром  $15\text{--}25\text{ мм}$  время выдержки в воде равно примерно  $5\text{--}8\text{ сек.}$

Этот способ достаточно широко применяется в производстве режущего инструмента из углеродистой стали.

**Ступенчатая закалка** (рис. 11). При этом способе также достигается уменьшение скорости охлаждения в мартенситном интервале температур. Нагретый до закалочной температуры инструмент быстро погружают в ванну с горячей средой, а затем после некоторой выдержки его охлаждают на воздухе или в холодном масле.

Режим ступенчатой закалки устанавливают на основании диаграмм изотермического превращения аустенита. Температура горячего охладителя должна соответствовать области высокой устойчивости переохлажденного аустенита. Обычно ее принимают на  $20\text{--}30^\circ$  выше линии мартенситного превращения.

При выдержке в горячей среде происходит выравнивание температуры по сечению изделия. Инструмент при извлечении из го-

рячей среды должен быть в аустенитном состоянии. В этот момент он пластичен, чем и пользуются для его плавки вручную или под прессом. В дальнейшем происходит мартенситное превращение при медленном охлаждении на воздухе или в масле. Ступенчатая закалка более проста, чем закалка через воду в масло, и дает более стабильные результаты.

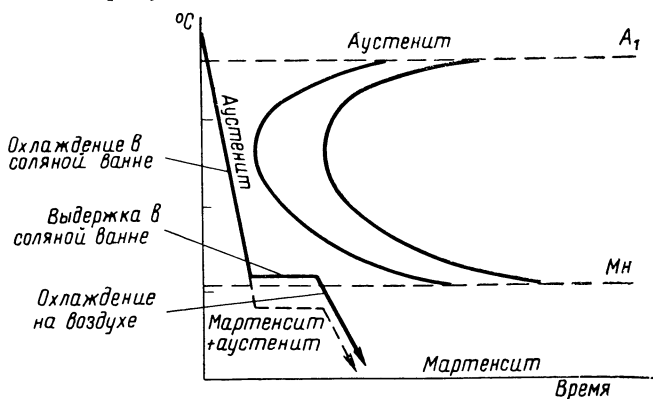


Рис. 12. Схема изотермической закалки

Основным недостатком ступенчатой закалки является малая скорость охлаждения в горячей среде. Поэтому применение ее для углеродистых сталей ограничено изделиями небольшого сечения (до 6—8 мм толщиной). Этот способ закалки широко применяют для инструментов из сталей ХВГ, 9ХС, Х, 9ХФ, 9Х5ВФ и др.

В табл. 20 характеризуются горячие среды для ступенчатой и изотермической закалки.

Таблица 20

Горячие среды для ступенчатой и изотермической закалки		
Среда	Температура применения, °С	Температура начала кристаллизации, °С
Минеральные масла . . . . .	до 180—200	—
45% NaNO <sub>3</sub> +55% KNO <sub>3</sub> . . . . .	230—550	218
55% KNO <sub>3</sub> +45% NaNO <sub>2</sub> . . . . .	150—400	137
(80% KOH+20% NaOH)+6% H <sub>2</sub> O .	150—300	130

**Изотермическая закалка** (рис. 12). По способу практического осуществления этот способ мало отличается от ступенчатой закалки. Для изотермической закалки применяют те же горячие среды, что и для ступенчатой (см. табл. 18). Температура горя-



чей среды 250—400°. Время выдержки в горячей среде должно быть достаточным для полного распада аустенита, оно выбирается по диаграмме изотермического превращения аустенита для данной стали (см. рис. 4, 6, 8 и т. д.). После выдержки инструмент охлаждают на воздухе. В результате изотермической закалики образуется структура бейнита (игольчатый троостит), имеющая твердость  $HRC=45\div55$  и достаточную пластичность.

Изотермическая закалка резко уменьшает закалочные напряжения и коробление. Другое преимущество этого способа заключается в том, что бейнитное превращение в некоторых легированных сталях не доходит до конца и в стали сохраняется большое количество остаточного аустенита. Изотермическая закалка таких сталей приводит к повышению ударной вязкости по сравнению со сталью, закаленной на мартенсит и получившей отпуск на такую же твердость. Поэтому изотермическую закалку особенно желательно применять для обработки дереворежущих инструментов с малыми углами заточки лезвия. Примерное время охлаждения нагретых стальных цилиндров в солях с разной температурой приведено в табл. 21.

Таблица 21

Время охлаждения стальных цилиндров  
в солях с разной температурой

Диаметр цилиндра, мм	Время, мин, в течение которого цилиндр принимает температуру соли, °С		
	205	260	315
25	5,0	4,0	3,5
50	8,0	7,0	6,0
70	13,5	12,5	11,5

## ОЧИСТКА ИНСТРУМЕНТА ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

После термической обработки инструмент может иметь на поверхности окалину, закалочные соли и минеральные масла. Для высококачественной очистки его необходимо произвести следующие операции: отмыть соли и масла; удалить окислы железа и травильный шлам. В зависимости от имеющегося в цехе оборудования очистка инструмента производится различными способами.

По типовой технологии удаление масла, соли и других загрязнений предусмотрено производить путем промывки инструмента в специальных моечных машинах, где он подвергается химическому и механическому воздействию горячего щелочного раствора. Раствор подается насосами под давлением около 3 атм в сопла, расположенные сверху, с боков и внизу рабочей камеры моечной машины.

Более простым оборудованием для очистки инструмента слу-

жат обычные выварочные бачки, подогреваемые газовыми горелками, нефтяными форсунками или паровыми змеевиками.

Далее производится гидроочистка для удаления с инструмента окалины, окислов и травильного шлама. Суспензия для гидроочистки состоит из 400 г электрокорунда и раствора, содержащего 15 г кальцинированной соды и 10 г нитрита натрия ( $\text{NaNO}_2$ ) на 1 л воды. Суспензию подают на изделие под давлением 5—6 атм. Продолжительность обработки 15—30 мин. Обработку производят на установке барабанного типа или на аппарате для гидроочистки вручную. Простые пескоструйные аппараты для этой цели применять запрещено. Сложный по конфигурации инструмент (не подвергающийся шлифованию) проходит химическую очистку, состоящую из нескольких операций:

1. *Предварительная промывка* инструмента от солей и масла производится в моечной машине или в выварочной бачке в горячем (70—90°) щелочном растворе. Состав готовится из жидкого стекла и каустической соды по рецепту: 440 вес. ч. жидкого стекла смешиваются со 120 вес. ч. каустической соды, растворенной в 440 вес. ч. воды. Общая щелочность раствора должна составлять 0,38—0,41 %  $\text{NaOH}$ .

2. *Кипячение в подкисленной воде* (в кипящем 2%-ном растворе соляной кислоты) осуществляется перед травлением для сокращения расхода соляной кислоты и времени травления. Кипячение продолжается в течение 5—10 мин и производится для растворения солей, оставшихся на инструменте, и для разрыхления окалины.

3. *Травление* предназначается для окончательного снятия окалины, разрушения и удаления оставшихся от предварительного кипячения хлористых солей. Оно производится в растворе 2 вес. ч. технической соляной кислоты, 1 вес. ч. воды, 0,5% присадки «Глютам» или КС. Продолжительность травления 3—5 мин при 18—20°.

4. *Повторная промывка* применяется для полного удаления кислоты и грязи, образовавшихся при травлении, и осуществляется в проточной воде.

5. *Кипячение* в 2%-ном содовом растворе производится в течение 10 мин для полной нейтрализации кислоты.

6. *Пассивирование* применяется для предохранения инструмента от коррозии. Оно производится в горячем водном растворе, содержащем 25%  $\text{NaNO}_2$  с выдержкой инструмента в ванне в течение 3—5 мин.

После такой обработки инструмент получается вполне чистым и защищенным от последующей коррозии благодаря полному удалению хлористых солей и покрытию его поверхности нитридной пленкой.

*Оксидирование (щелочное) инструмента.* Путем щелочного оксидирования на поверхности инструмента получают оксидную пленку, предохраняющую от атмосферной коррозии

металлическую поверхность. Оксидная пленка имеет значительно большую коррозионную стойкость, чем металл. Щелочное оксидирование представляет собой химическую обработку стальных изделий раствором, содержащим едкий натрий и азотнокислый натрий. В результате обработки этим раствором при определенной температуре на поверхности металла образуется оксидная пленка черного или коричневого цвета, состоящая преимущественно из магнитной окиси железа. Процесс щелочного оксидирования для серийного и мелкосерийного производства включает следующие операции:

1. Обезжиривание в растворе, содержащем 10% едкого натрия и 0,2—0,3% жидкого стекла при температуре 80—100° в течение 10—30 мин, при котором предусматривается удаление с поверхности изделий масел и, частично, закалочных солей.

2. Промывка в холодной (15—20°) проточной воде в течение 2—3 мин.

3. Травление в 18—20%-ной соляной кислоте при температуре 30—50° в течение 10 мин.

4. Промывка в холодной проточной воде в течение 2—3 мин.
5. Оксидирование.

Оксидирование углеродистых сталей производят в растворе, содержащем 560—580 г едкого натра и 200—220 г азотнокислого натрия на 1 л воды при температуре  $140 \pm 2^\circ$  в течение 20—35 мин.

Оксидирование легированных сталей осуществляют в растворе, содержащем 620—630 г едкого натрия и 240—250 г азотнокислого натрия на 1 л воды при температуре  $142 \pm 2^\circ$  в течение 20—35 мин.

После оксидирования производится промывка в горячей (60°) и холодной проточной воде в течение 2—3 мин.

Далее обрабатывают инструмент в пассивирующем содовом-нитритном растворе, состоящем из 1—2% нитрита натрия и 0,3% кальцинированной соды, при температуре 60—70° в течение 1—2 мин.

### **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТА**

Для обеспечения высокого качества термической обработки инструмента необходимо соблюдать следующие условия:

1. Строго выполнять заданную технологию термической обработки.

2. Правильно подобрать оборудование, обеспечивающее получение однородных и стабильных свойств инструмента после его термической обработки.

3. Применять приборы, обеспечивающие контроль заданных технологических режимов.

4. Обеспечить соответствующую техническую квалификацию термистов.

В связи с тем, что перечисленные условия не всегда имеются или не полностью соблюдаются, необходимо контролировать качество термической обработки. Существуют два вида контроля — операционный и окончательный.

Операционный контроль осуществляется в процессе термической обработки. Он состоит из наблюдения за выполнением установленного технологического процесса (заданного режима термической обработки) и периодической выборочной проверки качества заготовок или инструмента в процессе их обработки (твердости микроструктуры и т. д.).

Операционный контроль при ручной обработке производится мастером цеха или участка, окончательный — отделом технического контроля.

Соотношение объема операционного и окончательного контроля зависит от степени механизации и автоматизации процессов термической обработки. Так, при термической обработке с применением автоматических и полуавтоматических устройств достигаются более стабильные показатели качества, чем при ручной обработке. Поэтому в первом случае особенно важен операционный контроль, а значение и объем окончательного контроля уменьшается. Кроме того, в этом случае при окончательном контроле в основном проверяют только те параметры, которые не могли быть проверены в процессе обработки инструмента.

При операционном контроле окончательной термической обработки (закалка, отпуск и др.) следует контролировать следующие параметры:

1. Отсутствие обезуглероживающего действия соляных ванн для подогрева и окончательного нагрева инструмента под закалку.
2. Температуру ванн подогрева, окончательного нагрева, охлаждающих сред, ванн для отпуска.
3. Продолжительность выдержки при подогреве и нагреве под закалку и при отпуске.
4. Твердость инструмента.
5. Микроструктуру или макроструктуру (излом).
6. Качество отпуска.
7. Биение или кривизну инструмента.
8. Наружные дефекты (трещины, сколы, разъедание и т. д.).

Обезуглероживающее действие соляных ванн определяется методом фольги по изменению содержания углерода в тонкой стальной ленте (бритвенной), нагреваемой в расплавленной соли. Для определения обезуглероживания берут образцы ленты из стали У13 шириной 30—35 мм и длиной 80—100 мм. Образцы ленты нагревают в ваннах при рабочей температуре, затем охлаждают в воде, дробят в порошок и определяют содержание углерода.

Контроль обезуглероживающего действия высокотемпературных ванн производится при закалке ленты от 1280° с выдержкой 1 мин, а среднетемпературных ванн — от 870° с выдержкой 10 мин.

При потере углерода в ленте более чем на 0,1% для средне-температурных ванн и более чем на 0,3% для высокотемпературных ванн обезуглероживающее действие считается с недопустимым.

Микроструктуру оценивают по шкале мартенсита при увеличении 500. При закалке инструмента или образца от оптимальной температуры структура мартенсита должна соответствовать первому баллу. При закалке инструмента из быстрорежущей стали допускается мартенсит третьего балла. Контроль микроструктуры производится выборочно (3—5% от партии инструмента).

Твердость инструмента измеряют на приборе Роквелла. Твердость режущей части стержневого инструмента проверяют тарированным напильником, при твердости инструмента менее HRC 62 напильник должен сцепляться с поверхностью инструмента.

Применение напильника для определения твердости допускается только в двух случаях: когда невозможно или трудно применить прибор Роквелла и когда требования чертежа или ТУ к данному инструменту позволяют применить этот способ контроля.

Контроль по выявлению трещин в инструменте после закалки производится следующим образом:

1. Визуальный контроль после обдувки на пескоструйном аппарате — 100%.

2. Сложный фасонный инструмент после осмотра проходит выборочную проверку на магнофлюкс (5—10% от партии).

3. Простым и надежным способом является проверка в керосине. В этом случае инструмент погружают на 10—15 мин в керосин, а затем обтирают инструмент насухо, и там, где имеются трещинки, керосин выступает в виде темных линий.

## **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

При отжиге, нормализации, закалке и отпуске инструмента должны соблюдаться правила безопасной работы.

При обслуживании печей, работающих на газовом топливе, необходимо соблюдать следующие правила:

газовые горелки печей должны зажигаться поочередно: пуск газа в горелку разрешается только после поднесения к выходному отверстию горелки зажженного запальника;

если при пуске агрегата горелка потухла, то перед повторным ее зажиганием топка и дымоходы должны быть тщательно провентилированы;

при проскоке пламени необходимо выключить газовую горелку и после ее остывания устранить причину проскока, и только после этого вновь разжечь горелку;

эксплуатация печей, работающих на газе, в случае их неисправности, а также при нарушении тяги запрещается;

включенные в работу печи оставлять без присмотра не разрешается; при прекращении подачи газа должны быть немедленно

перекрыты отключающие устройства на вводе газопровода и у печей.

При обслуживании электрических печей основное внимание должно быть уделено выполнению правил электробезопасности. Все токонесущие части электрических печей должны быть изолированы или ограждены. Ограждения и другие металлические не несущие тока конструкции должны быть заземлены. Электрические печи должны иметь блокировку для автоматического выключения тока у нагревательных элементов при открывании дверей печи. Клещи и другие приспособления для переноса нагретых изделий должны соответствовать размеру и профилю удерживаемого инструмента. Рукоятки приспособлений, применяющихся для ручной загрузки инструмента в печь, выгрузки из печи, должны быть такой длины, чтобы руки рабочих не подвергались действию высокой температуры.

При подготовке печей-ванн надо прежде всего загрузить ванну предварительно просушенными солями. Уровень расплавленных солей не должен превышать  $\frac{3}{4}$  высоты ванны. Пленки и шлаки из ванны должны удаляться через каждые 2—3 ч при помощи специальных, предварительно просушенных ковшей с отверстиями. В ванны должны загружаться только совершенно сухие инструменты. Для этого необходимо применять приспособления с длинными и прочными рукоятками.

Для уменьшения окисления и улетучивания расплавленных солей зеркало ванны следует покрывать защитным слоем, например слоем серебристого графита. Работа у печей-ванн производится обязательно в очках и рукавицах.

Масляные закалочные ванны должны быть оборудованы специальными спускными кранами, устанавливаемыми в нижней части ванны, для отвода воды в случае ее попадания в ванну. Для закалки должно применяться масло с температурой вспышки не ниже 170°.

Максимальная температура нагрева масла при закалке не должна превышать 80—85°. Закалочные ванны должны быть оборудованы плотно закрывающимися крышками, чтобы в случае возникновения пожара можно было немедленно закрыть ванну и прекратить доступ воздуха к горячему маслу.

Ванны должны оборудоваться местной вытяжной вентиляцией.

Если при термической обработке инструмента применяется обработка холодом, то при такой обработке следует соблюдать следующие правила:

инструмент, предназначенный для обработки холодом, необходимо тщательно обезжирить и просушить;

нельзя курить и зажигать огня в помещении, где находится жидкий кислород;

работать надо в хлопчатобумажном костюме, прочной обуви, в брюках навыпуск, в рукавицах и очках;

следует применять холодильники с крышками и пользоваться клещами с удлиненными ручками.

Технология термической обработки дереворежущего инструмента приведена в технологических картах (см. стр. 92—106).

## **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЬЕВ РАМНЫХ ПИЛ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Значительную долю в объеме механической переработки древесины составляет распиловка ее с помощью лесопильных рам. Производительность и качество распиловки на рамах определяют пропускную способность лесопильных цехов и во многом объем производства лесопильно-деревообделочных комбинатов. Поэтому повышение производительности лесопильных рам продолжает оставаться важнейшей задачей лесопиления. Конструкции и мощность современных лесопильных рам позволяют повысить их производительность путем увеличения посылки, однако такую возможность сдерживает инструмент — пилы.

Пилы по технологическим требованиям, обусловленным необходимостью плющения зубьев в холодном состоянии в процессе изготовления, подвергаются термической обработке, обеспечивающей заданную твердость всего лишь 45—46 HRC. Известно, что твердость других дереворежущих инструментов составляет примерно 58—63 HRC. Таким образом, изготавливаемые пилы имеют заведомо пониженную твердость и износостойкость.

Противоречивые требования, предъявляемые к пилам при их изготовлении, не позволяют в полной мере использовать свойства стали для получения наилучших режущих качеств пилы. В связи с этим понятно стремление преодолеть противоречие между эксплуатационными и технологическими требованиями к пилам и полностью использовать хорошие стойкостные свойства стали рамных пил.

Одним из наиболее реальных для практической реализации способов является местная дополнительная термическая обработка зубьев после их плющения. Сущность способа состоит в том, что вершину зуба пилы нагревают до закалочной температуры, а при последующем охлаждении происходит закалка. Нагрев зуба производят обычно за 2—5 сек, а скорость охлаждения, обусловленная теплопроводностью стали, составляет, в зависимости от объема нагретого участка, 250—450 град/сек. Такие условия нагрева и охлаждения обеспечивают полную закалку вершины зубьев.

Нагрев зубьев можно производить электроконтактным способом и в поле токов высокой частоты (ТВЧ).

## ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ ЗАКАЛКА ЗУБЬЕВ ПИЛ

Этот способ нагрева предложен А. Э. Грубе и А. В. Алексеевым еще в 1950 г. (рис. 13). В эти годы некоторые заводы успешно использовали электроконтактный способ закалки зубьев рамных пил и подтвердили реальную возможность работы такими пилами. Однако этот простой способ значительного повышения стойкости зубьев пил, не требующий ни капитальных затрат, ни изменения технологии подготовки их, почти не применяется промышленностью.

Такое положение отчасти можно объяснить тем, что вопросы технологии закалки почти не исследованы. Кроме того, работы по контактному нагреву проводились для пил с разведенными, а не с плющенными зубьями.

Чтобы готовить пилы с закаленными зубьями с безусловной уверенностью в полной их работоспособности, потребовалось дополнительное изучение вопросов технологии подготовки пил. Проведенные исследования в той или иной мере относились к изучению следующих вопросов:

1. Величины контактной площадки электрода с зубом, его положения на зубе.

2. Определения усилия прижима электрода, скорости и температуры нагрева.

3. Выявления размеров закалочной зоны, обеспечивающей необходимую структуру металла и прочность зуба.

4. Установления режимов и способов отпуска закаленных зубьев.

5. Разработки режимов смягчающего отпуска перед очередным плющением зубьев.

6. Проверки работоспособности пил с закаленными зубьями при распиловке древесины в условиях производства.

На основании проведенных исследований разработаны практические рекомендации по технологии подготовки рамных пил с закаленными зубьями, обладающими требуемой надежностью.

Обработка технологии термической обработки зубьев рамных пил производилась на опытной установке, изготовленной на базе контактно-сварочной машины АТП-5.

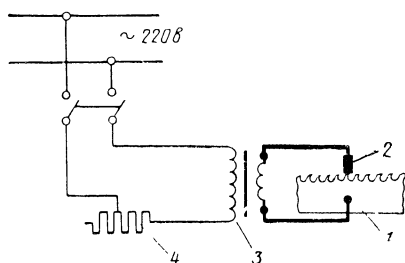


Рис. 13. Принципиальная схема электроконтактной закалки зубьев рам-

ных пил:

1 — пила; 2 — закалочный электрод, 3 — трансформатор; 4 — реостат



## Характеристика машины АТП-5

Номинальная мощность машины при ПВ-20%, <i>квa</i>	5
Пределы регулирования вторичного напряжения, <i>в</i>	1,1—2,2
Максимальный ток короткого замыкания, <i>а</i>	4550
Рабочий ход верхнего электрода, <i>мм</i>	15
Полезный вылет электродов, <i>мм</i>	200

Схема машины показана на рис. 14, а опытная установка на рис. 21. В настоящее время нашей промышленностью (заводом «Электросварка») освоены и выпускаются новые машины для электрической контактной точечной сварки МТ-501 и МТ-601 (ГОСТ 297—61). Машины рассчитаны на повторно-кратковре-

менный режим в условиях относительной влажности воздуха не более 80% и температуры окружающего воздуха от 5 до 40°. По своим техническим данным наиболее подходящей для заковки зубьев пил контактным способом является машина МТ-501.

### Техническая характеристика машины МТ-501

Номинальная мощность, <i>квa</i>	9,2
Номинальный сварочный ток, <i>а</i>	5000
Номинальное первичное напряжение, <i>в</i>	220; 380
Номинальный первичный ток, <i>а</i>	41,6; 23,3
Номинальный режим работы ПВ, %	20
Номинальный вылет, <i>мм</i>	250
Вес машины, <i>кг</i>	215

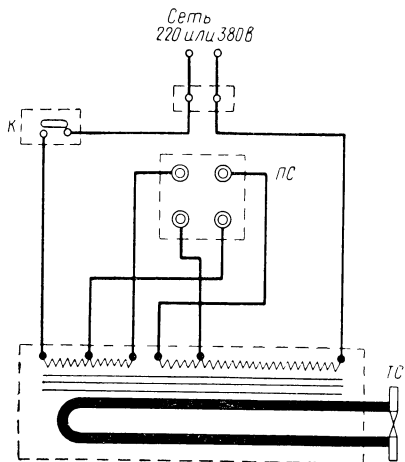


Рис. 14. Электросхема машины АТП-5:  
ПС — переключатель ступеней сварочного тока; К — контактор; ТС — сварочный трансформатор

### Значения параметров в зависимости от ступеней регулирования

Параметры	Напряжение, <i>в</i>	Ступени регулирования				
		1	2	3	4	5
Вторичное напряжение холостого хода, <i>в</i>	—	1,25	1,33	1,45	1,57	1,77
Первичные токи короткого замыкания, <i>а</i>	220	31,60	35,80	41,50	48,40	64,90
	380	18,30	20,70	24,00	28,00	37,50

### Усилие прижима электрода к зубу

Усилие прижима электрода, а следовательно, и удельное давление в контакте (при постоянной площадке контакта) является одним из важных параметров режима нагрева зуба. От удельного давления зависит интенсивность нагрева в зоне нагрева зуба.

С увеличением давления уменьшается контактное сопротивление и снижается плотность тока в нем. Поэтому при постоянстве остальных параметров процесса нагрева (ток сварки, площадь контакта и др.) увеличение давления замедляет нагрев.

В этом случае для нагрева до требуемой температуры закалки потребуется увеличение времени, при этом зона высокотемпературного нагрева также увеличивается. Вместе с тем возрастает количество тепла в нагретом объеме металла. После прекращения нагрева и закалки зуба на воздухе произойдет его вторичный нагрев за счет оставшегося в зубе тепла, причем температура нагрева может оказаться столь высокой, что произойдет недопустимое смягчение закалочной структуры. Кроме того, верхний предел давления электрода ограничивается возможной деформацией зуба.

Другим крайним случаем при выборе этого параметра режима нагрева является слишком малое давление, при котором происходит чрезвычайно интенсивное локализованное нагревание.

Определенное значение имеет также качество обработки поверхностей контакта. В наших условиях чистота обработки поверхности зуба и электрода оставалась постоянной. Она находилась в пределах 5—6-го класса (ГОСТ 2789—59), т. е. соответствовала фактически получаемой при заточке пил. Опытами установлено, что необходимая скорость нагрева зуба под закалку достигается при давлении электрода 6—10 кг при данной конструкции и положении его на зубе (рис. 15).

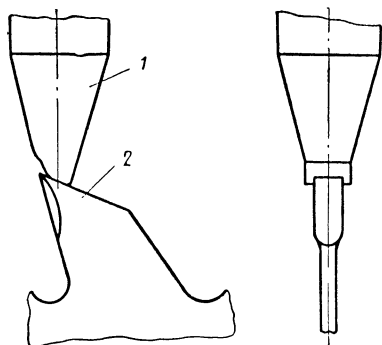


Рис. 15. Конструкция электрода и положение его на зубе:  
1 — электрод; 2 — зуб рамной пилы

### Технология и температура нагрева зуба

Для достижения максимально возможного повышения износостойкости пил за счет местной термообработки зубьев необходимо получить закалочную структуру, распространенную, по крайней мере, от вершины зуба до окончания уширения, получившегося при плющении. Однако получить однородную структуру по всему объему зоны плющения при нагреве зуба контактным способом очень сложно. Дело в том, что электрические и тепловые процессы, протекающие при нагреве зуба, не остаются постоянными. Так, при нагреве металла изменяется собственное и контактное сопротивление зуба, а выделяемая теплота распределяется в объеме зуба неравномерно вследствие изменения теплофизических свойств металла. Кроме того, при сложной форме зуба вследствие

различных условий теплоотвода уменьшается равномерность нагрева, а следовательно, и вероятность получения вполне однородной структуры металла.

Особенно увеличивается неравномерность охлаждения при не отведенном от зуба электроде. Опыты показывают, что в этом случае в результате интенсивного отвода тепла в электрод температура нагрева примыкающего к электроду участка зуба резко отстает от температуры нижележащих слоев металла.

После отключения тока и охлаждения нагретого зуба в мало-нагретых участках его закалочная структура не образуется. В наиболее важной режущей части зуба по существу сохраняется исходная структура стали. Микроструктура зуба, нагретого до закалочной температуры и охлажденного под электродом, показана на рис. 16. Твердость, измеренная по биссектрисе угла, характеризуется следующими данными: для темной зоны (троостит)  $HRC = 43 \div 50$ ; для светлой (отпущенный мартенсит)  $HRC = 62 \div 65$ .

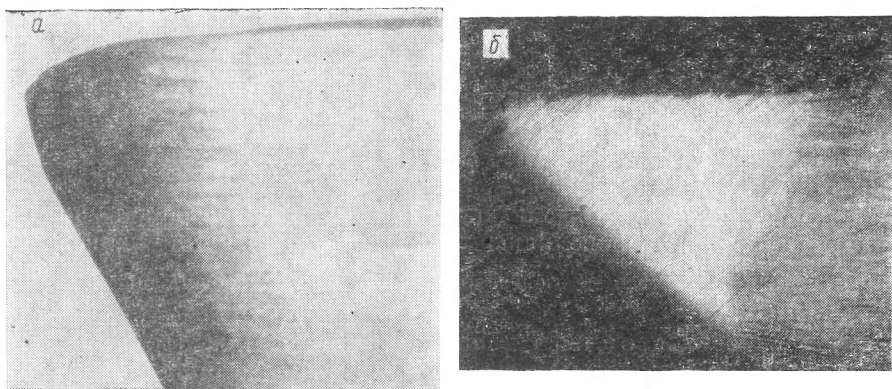


Рис. 16. Микроструктура зуба, охлажденного от закалочной температуры: а — под электродом; б — охлаждение на спокойном воздухе

Таким образом, при охлаждении нагретого под закалку зуба под электродом вершина зуба остается незакаленной. Охлаждение должно быть таким, чтобы к моменту образования закалочной структуры произошло как можно лучшее выравнивание температуры по всему объему закалочной зоны, включая и вершину зуба. Чтобы достигнуть практически удовлетворительного выравнивания температуры и получить аустенит во всем объеме закалочной зоны зуба, необходимо нагреть его до верхнего допустимого предела, а затем дать охлаждение на спокойном воздухе.

Важным обстоятельством является своевременный отвод электрода от зуба после выключения электрического тока. Электрод должен быть отведен от зуба немедленно, не позднее 0,05—0,15 сек после разрыва электрической цепи. Это легко осуществ-

ляется соответствующей конструкцией установки, например, путем смещения на соответствующий угол эксцентрика, включающего ток, относительно эксцентрика подъема электрода (см. рис. 22).

### Температура и размеры нагреваемой зоны

При электроконтактной закалке зуб может быть нагрет до закалочной температуры за 2—3 сек, т. е. со скоростью 300—500 град/сек. При такой большой скорости нагрева интервал оптимальных температур закалки сдвигается в область более высоких температур. Допустимый интервал температур нагрева под закалку увеличивается, но несоблюдение его совершенно недопустимо.

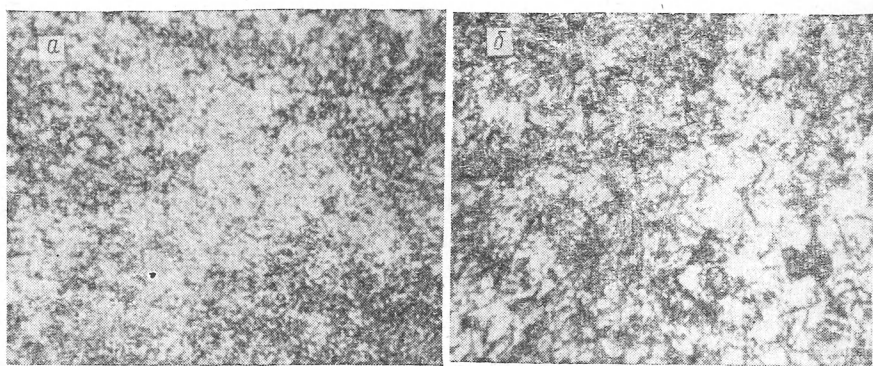


Рис. 17. Микроструктура зубьев, закаленных от разных температур:  
а — при 900—920°; б — при 1000—1200°

Повышение скорости нагрева вносит определенные особенности в процесс превращения перлита в аустенит. Большое значение в этих превращениях имеет характер исходной структуры, а также вид легирующих элементов, входящих в состав стали. Чем мельче исходная структура, тем меньше температура закалки, необходимая при той же скорости нагрева для получения максимальной твердости.

Влияние легирующих элементов, например хрома и ванадия в стали 9ХФ, проявляется в замедлении процессов фазовых превращений вследствие того, что они уменьшают скорость диффузии углерода в железе.

Поскольку время перехода исходной структуры в аустенит при больших скоростях нагрева весьма ограничено, то этот недостаток приходится компенсировать повышением температуры нагрева.

По данным исследований наших металлосведов, температура окончания перекристаллизации стали при больших скоростях на-

грева (150 град/сек и выше) повышается почти до температуры превращения чистого феррита в аустенит.

Так, для стали 85ХФ верхняя граница температуры нагрева должна находиться в следующих пределах: при скорости нагрева 100—200 град/сек 850—880°, при скорости 400—500 град/сек 860—920°.

При больших скоростях нагрева заметно растет и температура начала интенсивного роста зерна (на 150—200°). Однако избежать роста зерна при нагреве инструментальной углеродистой и малолегированной стали выше, например, 1150° не удастся ни при какой практически осуществимой скорости нагрева.

Нами проведено исследование образующейся структуры и прочности зубьев, закаленных при разных температурах (800, 900 и 1000°) и скорости нагрева 300—400 град/сек. В каждом опыте участвовало не менее 20 зубьев. Результаты опытов обработаны статистически и приведены в табл. 22 и на рис. 17.

Т а б л и ц а 22

Результаты опытов по выявлению влияния температуры нагрева зуба на механические показатели

Статистические показатели	Время нагрева, сек	Температура, °C+10°	Заси- нение по боковой поверх- ности, мм	Твердость HRC на расстоянии по биссектрисе от вершины, мм				Разрушаю- щая сила $P_{кв}$ , кг ( $l=1$ мм, $\beta=55^\circ$ )
				1,5	3	5	6,5	
$M$	2,500	$800 \pm 10$	10,6	63,50	63,00	60,0	49,0	266
$\sigma \pm$	0,115	—	—	1,78	3,00	—	—	42,00
$m \pm$	0,036	—	—	0,55	0,95	—	—	13,30
$p$ , %	1,440	—	—	0,87	1,16	—	—	5,00
$M$	3,000	$900 \pm 10$	14,0	64,00	61,30	67,4	50,0	258,00
$\sigma \pm$	0,240	—	—	1,50	3,05	—	—	19,90
$m \pm$	0,072	—	—	0,45	0,92	—	—	6,30
$p$ , %	2,400	—	—	0,70	1,51	—	—	2,44
$M$	3,400	$1000 \pm 15$	14,3	64,20	64,70	64,9	64,2	180,00
$\sigma \pm$	0,350	—	—	1,22	1,21	—	—	20,40
$m \pm$	0,110	—	—	0,38	0,38	—	—	6,40
$p$ , %	3,240	—	—	0,59	0,59	—	—	3,55

Температуру нагрева измеряли хромель-алюмелевой термопарой с диаметром проволоки 0,4 мм. Тарировка термопары проводилась при нагреве специальных образцов в условиях, аналогичных действительным. При измерении температуры спай термопары располагали на расстоянии 2 мм от вершины зуба. Одновременно определялась температура оптическим пирометром по боковой поверхности зуба.

Твердость измеряли на приборе Роквелла (HRC) по боковой поверхности охлажденных зубьев через 1,5—2 мм в направлении биссектрисы угла заострения ( $\beta$ ).

Прочность определяли при испытании подготовленных зубьев на изгиб (рис. 18). Сосредоточенная нагрузка прилагалась со стороны передней грани на расстоянии 1 и 0,5 мм от вершины зуба (см. рис. 15).

Микроисследование зубьев показало, что в вершине зубьев, которые нагревались до 800°, не во всех случаях образовывалась закалочная структура.

Для проведения металлографических исследований шлифы изготовлялись с боковой поверхности зубьев и со стороны передней грани обычным принятым в металлографии способом. Для выявления структуры шлифы протравливали раствором азотной кислоты в спирте. Просматривалась структура при разных увеличениях на микроскопе МИМ-7.

Исследование показало, что в зубьях, закаленных от 800, 900 и 1000°, имеется различие в образовавшихся при закалке структурах (см. рис. 17). В зубьях, закаленных на воздухе от температуры нагрева 800°, в некоторых случаях у вершины зуба не происходит заковки (см. рис. 17, а). В зоне, распространяющейся на 1,5—2 мм от вершины, фиксируется структура тростит или троосто-сорбит, за этой зоной начинается закалочная структура мартенсит и троостит, причем количество трооститных включений уменьшается по мере удаления от вершины зуба. Минимальное содержание их обнаружено в наиболее нагретом участке, на расстоянии около 3 мм от вершины. Исследование позволяет сделать вывод, что при нагреве зуба до 800° не гарантируется закалка во всем объеме нагретой зоны. После отключения тока в этом случае остающегося в зубе тепла оказывается недостаточно, чтобы нагреть вершину зуба до закалочной температуры.

В зубьях, нагретых перед закалкой до 900 и 1000° (см. рис. 17, б), во всем объеме нагретой зоны образуется закалочная структура, состоящая из мартенсита и троостита. Структура у зубьев, закаленных с 900 и 1000°, имеет одинаковые составляющие, но они заметно различаются по крупности строения. Мар-

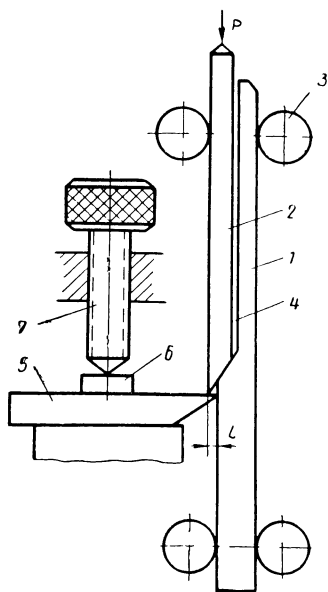


Рис. 18. Схема испытания зуба на изгиб:  
1 — направляющая пластина;  
2 — нажимная пластина; 3 — направляющие ролики; 4 — прокладки фольги; 5 — зуб пилы, подготовленный к испытанию; 6 — прижимной сухарь; 7 — винт

тенсит зубьев, нагретых до  $1000^{\circ}$ , оказывается более грубым (см. рис. 17, б), чем у зубьев, закаленных с более низких температур (см. рис. 17, а). Такое различие в строении закалочных структур обуславливает различие в их механических свойствах. В наших опытах прочность зубьев, закаленных от  $900^{\circ}$ , составляет 97% от прочности зубьев, нагретых до  $800^{\circ}$ , а прочность зубьев при нагреве до  $1000^{\circ}$  — 68%.

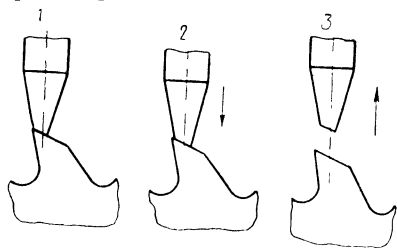


Рис. 19. Схема технологии закалки и отпуска зубьев при электроконтактном нагреве:

1 — электрод прижат к зубу и замыкается электрическая цепь; 2 — электрод прижат к зубу, ток прерван; 3 — электрод отводится после разрыва электрической цепи

Прочность зубьев пилы, испытанных в аналогичных условиях, в исходном, «сыром», состоянии составляет 300 кг, т. е. всего лишь на 11,6% больше прочности закаленных зубьев. Однако износостойкость их в условиях распиловки древесины в 1,8—2 раза ниже, чем износостойкость закаленных зубьев.

Отсюда можно сделать вывод о наиболее рациональных температурных режимах нагрева зубьев. Температура нагрева закалочной зоны зуба должна находиться в пределах от  $860$  до

$920^{\circ}$  при скорости нагрева не ниже  $200\text{—}250$  град/сек. Мы умышленно несколько сужаем возможный интервал температур нагрева, так как при таких больших скоростях нагрева нужно иметь некоторый запас времени, который будет являться определенной гарантией от возможного чрезмерного перегрева зуба и порчи его.

### Отпуск закаленных зубьев

Зубья, получившие местную закалку при электроконтактном нагреве, должны быть отпущены для наилучшего достижения требуемого качества.

При данной технологии нагрева зуба, но при охлаждении его не на воздухе, а под электродом, отпуск должен быть самостоятельной технологической операцией. Однако при разрабатываемом режиме закалки, когда охлаждение нагретых зубьев проводится на воздухе, т. е. при отведенном электроде, можно применить самоотпуск. В этом случае отпуск производится за счет тепла, сохранившегося в зубе после его закалки. Такая технология отпуска является наиболее целесообразной и, по-видимому, наиболее приемлемой для производства (рис. 19).

При закалке с самоотпуском полного охлаждения закаленной зоны зуба в период образования структуры не происходит. После охлаждения до некоторых температур ( $100\text{—}150^{\circ}$ ) начинается вторичный нагрев зуба для отпуска. При недостаточном охлаждении в закаленной зоне сохраняется повышенное количество аустенита, который при вторичном нагреве внутренним теплом превращает-

ся в какой-то мере в мартенсит. Это приводит к тому, что самоотпуск при температуре нагрева зуба до 160—180° не вызывает существенного снижения остаточных напряжений в закаленной зоне.

Поэтому более эффективных результатов можно достигнуть лишь при более высоких температурах отпуска. Следует отметить, что трудно предвидеть окончательные результаты закалки зубьев и самоотпуска, так как они зависят от многих факторов — формы зуба, режимов нагрева и охлаждения, прогретого объема зуба и т. д.

Все вопросы, связанные с отпуском, решались опытным путем. Прежде всего следовало установить режим нагрева, обеспечивающий требуемый для самоотпуска запас тепла. Далее решался вопрос о температуре нагрева закаленной зоны при самоотпуске, при которой обеспечивалась наилучшая прочность при высокой твердости.

Исследования проводились над тремя партиями зубьев по следующей методике. Первую партию зубьев нагревали по режиму, при котором зона свечения распространялась на 6—6,3 мм от вершины зуба, а температура нагрева в средней части зоны выдерживалась в пределах от 820 до 860°.

Таблица 23

Результаты экспериментов по разработке режимов закалки  
в связи с самоотпуском

(Партия зубьев—первая, ступень машины—II, давление электрода  
8—10 кг, температура нагрева 820—860°)

Номера зубьев	Время нагрева, сек	Зака- лочная зона, мм	Цвет самоотпуска	Твердость зуба HRC по биссектри- се при расстоянии от вершины, мм					Разру- шающая сила $P_c$ , кг, при из- гибе $l=1$ мм
				1—2	1,5—2	3—4	5—6	7—8	
1	2,7	7,0	Серый	38	59	65	60	40, 47	232
2	2,8	6,0	Солнечно- желтый	—	62	63	51	45	210
3	3,5	6,8	Фиолетовый	—	63	60	58	40	240
4	2,5	6,0	Оранжевый	—	64	64	65	42	216
5	2,7	6,0	То же	—	64	64	—	44	220
6	2,6	6,0	—»—	—	63	64	61	44	230
7	2,7	6,2	Оранжевый	—	64	64	63	45	202
8	2,8	6,2	—»—	—	63	63	64	47	190
9	2,7	7—6,8	Голубой	—	60	62	60	48	210
10	2,6	—	То же	—	66	66	58	—	240
M	2,7	—	Голубой	—	—	—	—	—	219
$\sigma \pm$	0,28	—	То же	—	—	—	—	—	16,6
$m \pm$	0,09	—	—»—	—	—	—	—	—	5,2
$p, \%$	3	—	—»—	—	—	—	—	—	2,37



## Опыты по разработке режимов отпуска

(Партия зубьев — вторая, ступень машины — II, давление электрода — 8—10 кг)

Номера зубьев	Время нагрева, сек	Зака- лочная зона— нагрев, мм	Тем- пера- тура по пиро- метру	Цвет при самоот- пуске	Твердость HRC на расстоя- нии от вершины, мм				Разру- шающая сила P, кг, l=1 мм
					1—2	3—4	5—6	7—8	
1	3,0	—	900	Оранжево-фиолетовый	64	64	65	46	310
2	3,2	—	910	Голубой	54	64	65	43	360
3	4,3	—	920	То же	54	65	62	43	360
4	4,6	—	920	—»—	63	62	—	47	288
5	5,0	—	920	Серый	62	64	46	47	283
6	3,0	—	900	Оранжево-фиолетовый	64	65	60	46	310
7	3,8	—	920	Оранжевый	—	65	65	47	270
8	4,8	—	920	Серый	60	63	65	65	197
9	3,8	—	910	Оранжево-фиолетовый	—	65	66	41	265
10	4,0	—	900	Голубой	—	67	67	43	340
11	3,6	—	900	То же	—	66	67	46	303
M	3,9	—	—	—»—	—	—	—	—	298
$\sigma \pm$	0,7	—	—	—»—	—	—	—	—	46,9
$m \pm$	0,21	—	—	Голубой	—	—	—	—	14,1
P %	5,4	—	—	То же	—	—	—	—	4,7
1	2,5	5,5	900	Оранжево-голубой	—	65	66	41	252
2	2,5	5,5	900	Фиолетовый	—	65	66	48	252
3	3,0	6,0	910	Оранжево-фиолетовый	—	65	65	46	200
4	2,3	5,2	900	Фиолетовый	—	65	64	45	244
5	3,0	6	950	Голубой	—	65	60	42	205
6	2,5	6	900	Оранжево-фиолетовый	—	64	65	42	210
7	2,6	5,8	910	То же	—	63	64	44	240
8	2,8	5,8	900	Оранжевый	—	64	62	47	200
9	2,7	6,0	910	Оранжево-фиолетовый	—	64	64	44	215
10	3,6	6,2	900	Голубой	—	65	66	41	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	227

(Партия зубьев — третья, ступень машины — III, давление электрода 8—10 кг, температура нагрева—890—1050°)

1	1,2	—	Оранжево-фиолетовый	65	65	62	47	110
2	1,8	6,3	То же	64	65	62	48	120
3	1,5	6	Голубой	65	67	60	44	115
4	1,7	5,6—6	Голубой	66	64	64	42	134
5	2,3	6	То же	66	66	—	46	182
6	1,6	5,5—6	—»—	64	64	64	49	163

Номера зубьев	Время нагрева, сек	Зака- лочная зона— нагрев, мм	Цвет при самоотпуске	Твердость HRC на расстоя- нии от вершины, мм				Разру- шающая сила $P$ , кг, ( $l=1$ мм)
				1—2	3—4	5—6	7—8	
7	1,4	5,5—6	Желтый	—	—	—	—	95
8	1,7	5,5—6	Голубой	66	67	—	45	98
9	1,7	5,5—6	То же	65	67	—	47	155
10	1,5	5,6	—»—	63	63	58	—	134
$M$	1,6	—	—»—	—	—	—	—	131
$\sigma_{\pm}$	0,3	—	—»—	—	—	—	—	28,7
$m_{\pm}$	0,1	—	—»—	—	—	—	—	9,08
$P$ %	6	—	—»—	—	—	—	—	7

Зубья второй партии нагревались тоже до температуры 840—860°, но длину зоны свечения (прогрев до 700° и более) увеличили до 7 мм. Зубья третьей партии нагревали до более высокой температуры, 900—960°, при зоне свечения длиной 6—6,2 мм.

После нагрева зубьев до требуемой температуры и выключения тока немедленно отводился электрод, а передняя грань подшлифовывалась. По цветам, которые появлялись на шлифованной поверхности (цвета побежалости) в результате нагрева внутренним остаточным теплом, определяли температуру отпуска. Способ хотя и старинный, но для данных условий опыта достаточно надежный. Промышленность тоже может воспользоваться этой методикой для уточнения и проверки режимов обработки при подготовке пил. Одновременно температуру отпуска измеряли термопарой. Результаты представлены в табл. 23, 24, 25.

Таблица 25

**Значение прочности зубьев в зависимости от температуры  
и продолжительности нагрева**

Температура нагрева, °C	Средняя продолжи- тельность нагрева, сек	Средняя проч- ность зубьев* $P_p$ , кг	Относительная проч- ность зубьев
820—860	2,70	219	0,74
900—920	2,75	227	0,76
900—920	3,90	298	1,00
980—1050	1,54	131	0,45

\* Средняя прочность зубьев пилы в исходном состоянии до закалки составляет  $P_p = 301$  кг, а относительная прочность 1,01.

Опыты по установлению режима самоотпуска включали, кроме механических испытаний термообработанных по разным режимам зубьев, также и металлографические исследования (в выборочном порядке).

Исследования показали, что при первом режиме нагрева зубьев и при охлаждении на воздухе у некоторых из зубьев вершина не получила закалки. Этот участок имеет трооститовую и даже троосто-сорбитовую структуру. От вершины зуба эта структура распространяется на 1—2 мм и резко переходит в мартенситную структуру закалки.

В зубьях второй партии, нагретых до  $900 \pm 20^\circ$  в течение 2,5—3 сек, структура более или менее подобна структуре зубьев первой партии. Среди них также встречаются зубья с незакаленной вершиной.

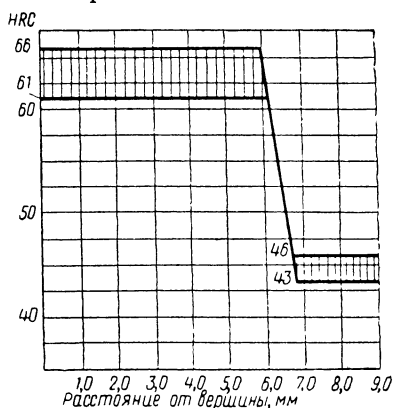


Рис. 20. График изменения твердости по длине закаленного слоя

крайней границы получается закалочная структура мартенсит и некоторое количество троостита (см. рис. 17, б).

Результаты механических испытаний на изгиб при расположении разрушающей силы на расстоянии  $l=1$  мм от вершины, показали различную прочность зубьев (табл. 26).

Наиболее прочными зубьями внутри каждой партии оказались те, которые получили при самоотпуске голубой цвет. Изменение твердости вдоль зуба после закалки и самоотпуска показано на графике (рис. 20).

### Подготовка зубьев пилы для очередного плющения

Существующая технология подготовки рамных пил к работе включает операцию плющения вершин зубьев, имеющую цель увеличить ширину режущей кромки для свободного движения пилы в пропилах.

Для высококачественного плющения зубьев в холодном состоянии материал пилы должен обладать необходимой пластичностью при надлежащей твердости. Таким требованиям в наилучшей мере отвечает специально разработанная для рамных пил сталь 85ХФ (9ХФ). Полотна пил из этой стали на заводе-изгото-

В зубьях второй партии, нагретых под закалку до  $900 \pm 20^\circ$ , но при продолжительности нагрева 3—5 сек, во всех случаях наблюдали закалку всей закалочной зоны, включая и вершину. Это объясняется тем, что хотя температура нагрева одинакова, но при большем времени нагрева до температуры закалки зона зуба, прогревая до высокой температуры, увеличивается, и запас тепла оказывается достаточным для прогрева вершины до закалочной температуры после отвода электрода от зуба.

В зубьях третьей партии, нагретых до  $980-1050^\circ$ , во всей закалочной зоне от вершины зуба до

вители проходят специальную термическую обработку. И все же при плющении зубьев в холодном состоянии на их поверхности образуются трещины, которые являются причиной выкрашивания режущих элементов зубьев. Дальнейшее увеличение вязкости за счет снижения твердости (пила имеет твердость  $HRC=45\div 47$ ) недопустимо по условиям эксплуатации. Таким образом, эксплуатационные и технологические свойства пилы определяются противоречивыми требованиями к металлу, из которого она сделана.

Это противоречие в определенной мере устраняется при закаленных зубьях. При необходимости повторного плющения имеется возможность снизить твердость закаленных зубьев до твердости, обеспечивающей необходимое плющение. Это обстоятельство является положительной особенностью электроконтактной закалки зубьев как способа повышения износостойкости пил.

Для снижения твердости закаленных зубьев перед очередным плющением производится смягчающий отпуск. Технология смягчающего отпуска практически подобна технологии закалки, ее основное отличие в режиме нагрева. Так, во вторичной цепи снизили (ступень I), а пуансон сдвинули от вершины зуба на большую величину, чем при закалке. Нагрев проводили до появления едва заметного свечения ( $550-650^\circ$ ). Результаты опыта приведены в табл. 26.

Таблица 26

Результаты опытов по смягчающему отпуску закаленных зубьев

Номера зубьев	Закалка				Твер- дость после закалки, HRC	Смягчающий отпуск			Твердость после смяг- чающего отпуска HRC
	время нагрева, сек	пока- зания термо- пары	темпе- рату- ра, °C	зона покрас- нения, мм		время нагрева, сек	темпе- ратура по термо- паре	зона засине- ния, мм	
2	3	85	900	7	60, 61, 61	3,5	—	—	31, 33, 38, 40
3	3	80	860	6	65, 61, 62, 47	3,5	—	—	41, 46, 45
4	3	86	910	7	66, 66, 61, 44	2,8	—	—	42, 42, 43, 45
5	2,8	81	870	6	66, 66, 58, 46, 47	3,5	—	—	41, 44, 44, 46
6	2,5	88	940	6	64, 64, 62	3,0	450—500	9—12	42, 43, 43, 44, 45
7	2,7	85	910	7	63, 62, 62	3,3	—	—	40, 37, 37, 47
8	3	86	920	7,5	64, 63, 61	3,5	—	—	44, 44, 42, 46
9	3	89	950	7	64, 64, 62	3,2	—	—	42, 44, 47
10	2,9	85	910	7	63, 64, 63	3,0	—	—	32, 39, 42, 42
11	3	85	910	7	62, 63, 63	2,8	—	—	44, 44, 44, 47

Прочность зубьев исходных, «сырых», пил, испытанных в таких же условиях (сила прикладывалась на расстоянии 0,5 мм от вершины), составляет в среднем 170 кг и твердость  $HRC=45\div 47$ . Исследование показало, что даже в результате столь кратковременного нагрева происходит смягчение закаленных зубьев до твердости равной или ниже той, которую имеет пила в исходном состоянии. Это обстоятельство, т. е. более низкая твердость зубьев после смягчающего отпуска, чем у обычной пилы, позволит получить лучшее качество плющения.

### **Подготовка и испытание опытных пил в условиях производства**

Испытания опытных пил при распиловке древесины в условиях производства были направлены на решение в основном двух задач:

1. Выявление надежности пил в смысле прочности зуба при работе на максимальных посылках.
2. Определение износостойкости опытных пил и пил, подготовленных обычным способом, на основании сравнительных испытаний при распиловке древесины.

Надежность закаленных зубьев (их устойчивость в пропиле и прочность) определяли на основании испытаний пил при распиловке древесины в производственных условиях. С этой целью было подготовлено три партии пил. Каждая партия из трех пил обрабатывалась по своему режиму. Зубья пил первой партии закаливались от нижних температур рекомендуемого нами режима, зубья пил второй партии нагревались при закалке до верхнего предела рекомендуемых температур, а зубья третьей партии закаливались при температурах, заведомо превышающих рекомендуемые. На основании результатов отборочных испытаний были выявлены режимы термической обработки зубьев, обеспечивающие им надежную прочность и работоспособность при высокой твердости режущей части зубьев.

По этим режимам готовилась партия опытных пил для установления их износостойкости. Вопрос решался, как указывалось, на основании сравнительных распиловки опытных и обычных пил. Основное внимание в этой серии испытаний уделено определению величины износа режущих элементов; вопросы качества распиловки и другие вопросы, находящиеся во взаимосвязи с затуплением зубьев, учитывались, но специально нами не рассматривались. Все это достаточно исследовано на обычных пилах.

Для сравнительных испытаний на износостойкость все подготовленные пилы как с закаленными зубьями, так и с обычной технологией подготовки, принятые для сравнения, имели одинаковые параметры зубьев (по ГОСТ 5524—62). Твердость полотна исходных пил была в пределах  $HRC=45\div 47$ , толщина 2,2 мм, шаг зубьев 26 мм, уширение зуба на сторону  $0,8 \pm 0,05$  мм. За-

точка всех испытываемых пил производилась по единообразному режиму.

Как опытные, так и обычные пилы при производственных испытаниях устанавливались в один постав лесорам второго ряда на выпилку досок из бруса. Все условия распиловки испытываемых пил были одинаковыми.

Основными оценочными показателями в соответствии с задачами испытаний на износостойкость приняты радиус закругления  $\rho$  главной режущей кромки, радиусы закругления трехгранных углов ( $\rho_1$  и  $\rho_2$ ) и линейный износ зуба при измерении по биссектрисе угла заточки.

Указанные исследования проводились для всех испытываемых пил. Оценочные параметры измерялись на 13—15 зубьях, начиная с 10 зуба от нижнего конца пилы, которые наиболее полно участвуют в пропиле. Кроме измерения основных оценочных показателей, для некоторых пил проводились подробные исследования по контролю режимов термической обработки зубьев. С этой целью определяли твердость, прочность и микроструктуру зубьев. В табл. 27, 28, 29 приведены результаты подготовки и испытаний некоторых пил с закаленными зубьями.

Таблица 27

Подготовка пилы к испытанию в производственных условиях

(Маркировка пилы—15—32, ступень машины—II, давление электрода 12 кг, положение электрода—0,5 мм от вершины зуба, охлаждение зубьев—воздух)

Номера зубьев	Нагрев зубьев		Продол- житель- ность нагрева, сек	Величи- на заси- нения, мм	Номера зубьев	Нагрев зубьев		Продол- житель- ность нагрева, сек	Величи- на заси- нения, мм
	показа- ния термо- пары	темпе- ратура, °С				показа- ния термо- пары	темпе- ратура, °С		
1	82	840	2,3	8,5	18	—	880	2,7	9,5
7	82	850	2,5	8,5	19	78	810	2,0	9,0
8	84	850	2,0	9,0	20	82	840	2,0	9,5
9	86	880	2,3	10,0	21	78	820	2,0	9,0
10	87	880	2,5	10,0	22	84	860	2,5	10,0
11	82	840	2,7	9,0	23	—	950	3,2	—
12	80	850	2,5	8,5	24	—	850	2,5	9,5
13	78	820	2,0	8,5	25	—	810	2,0	9,0
14	87	880	2,5	10,5	—	M	855	2,4	—
15	86	870	2,5	9,5	—	$\sigma \pm$	—	0,32	—
16	82	840	2,3	8,5	—	$m \pm$	—	0,07	—
17	87	880	2,7	—	—	$P\%$	—	2,9	—

После 7 ч непрерывной распиловки (без переточки) у всех опытных пил с закаленными зубьями проверялись оценочные показатели, а для пилы 15, кроме того, производились дополнительные испытания по определению твердости, прочности и микроструктуры зубьев. Все пилы, кроме 15, после лабораторных иссле-

дований продолжали распиловку древесины еще 7 ч. Таким образом, общее время распиловки древесины для опытных пил составило 14 ч.

Таблица 28

**Протокол испытания опытных пил при распиловке древесины**  
(Вид распиловки—развал бруса, порода древесины—ель, посылка 30—35 мм)

Номер пилы	Номер испытания	Высота распиловки, мм	Количество распиливаемых брусков, шт.	Количество утрат	Общее время работы пил без пересчетов, ч
15	1, 2, 3	130—150	367	3	7
16	1, 2, 3	130—150	367	3	7
17	1, 2, 3	130—150	367	3	7
18	1, 2, 3	130—150	367	3	7
19	1, 2, 3	130—150	117	1	7
20	1, 2, 3	130—150	117	1	7

Таблица 29

**Результаты исследования зубьев пил после производственных испытаний**  
(Маркировка пилы — 15, продолжительность распиловки 7 ч)

Номера зубьев	Твердость		Радиус закругления режущей кромки $\rho$ , мм	Радиусы затупления трехгранных углов		Разрушающая сила $P_a$ , кг ( $l=0,5$ мм)
	по напылу от плющений	по кромке после снятия напыла		$\rho_1$	$\rho_2$	
10	58, 58, 57	—	—	—	—	112
11	49, 55	59	0,06	0,09	0,10	110
12	58, 63	55	0,03	0,08	0,07	108
13	60, 62	60, 65	0,04	0,10	0,08	110
14	61, 62	58, 57	0,03	0,09	0,08	107
15	63, 63	58	0,05	0,08	0,08	110
16	58, 62, 53	48	0,04	0,04	0,06	112
17	—	59	0,04	0,10	0,10	115
20	62, 58	—	—	—	—	105
21	58	56	0,05	0,09	0,10	127
22	59, 55	59	0,04	0,09	0,08	
23	62, 64, 64	—	0,03	0,07	0,09	

**Примечание.** Перед испытанием режущей части зубьев на изгиб они отрезались от пилы и затачивались для получения острого лезвия и единообразного профиля для всех испытываемых зубьев. Заточка проводилась на режимах, полностью исключающих нагрев зубьев и возможность структурных превращений.

Пилы с обычной технологической подготовкой зубьев, находившиеся в поставе пил, для сравнения были сняты после 2,5 ч работы по причине ухудшения качества распиловки. Другие опытные пилы после 7 ч работы имели радиус затупления  $\rho$  тоже от 0,03 до 0,06 мм.

Пила обычная, поставленная для сравнения и проработавшая 2,5 ч (один упряг), имела следующие затупления главной режущей кромки:

Зуб	. . . . .	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	. . . . .	0,03	0,02	0,025	0,03	0,025	0,03	0,04	0,03	0,025	0,03

Среднее значение радиуса закругления главной режущей кромки четырех опытных пил после работы без переточки в течение 7 ч оказалось в пределах от 0,040 до 0,042 мм.

Средний радиус затупления обычных пил, находившихся в одном поставе, но проработавших 2,5 ч, равен  $\rho = 0,028 \div 0,030$  мм. Опыты с испытанием пил для надежности результатов повторены.

Таким образом, в пересчете на один объем распиленной древесины износ опытных пил по затуплению режущей кромки и другим показателям ниже износа обычных пил в 2—2,5 раза. Это повышение износостойкости следует считать минимальным, так как после двух переточек закаленных зубьев износостойкость пил повышается вследствие сошлифовывания наиболее мягкой части закалочной зоны.

Такие же данные по повышению износостойкости закаленных зубьев по сравнению с незакаленными были получены в результате сравнительных испытаний пил, проведенных в ЛТА Алексеевым А. В. Некоторые опытные пилы работали без переточки по 14 ч.

Столь значительное повышение износостойкости пил с закаленными зубьями при ничтожных затратах на подготовку таких пил дает существенный эффект от сокращения расхода пил, шлифовальных кругов, сокращения времени на перестановку пил и т. д.

### **Рекомендация по технологии подготовки рамных пил с закаленными зубьями**

На основании проведенных опытов по уточнению режимов закалки плющенных зубьев рамных пил, испытаний их при распиловке древесины и литературных данных рекомендуем следующую технологию подготовки пил:

1. Смягчающий отпуск для подготовки закаленных зубьев к повторному (очередному) плющению. Нагрев закаленных зубьев производить с минимально возможной скоростью. Если используется машина АТП-5, то включается первая ступень нагрева. Электрод должен прижиматься к задней грани зуба на расстоянии 3—4 мм от вершины. Продолжительность нагрева 3—4 сек. Признаком окончания нагрева может служить появление свечения металла возле контакта. В этот момент прерывается ток и электрод немедленно отводится от зуба. Твердость охлажденных зубьев находится в пределах  $HRC = 38 \div 44$ .

2. Плющение, формовка и предварительная заточка зубьев на автоматах ТчПР, ТчПА и т. д.



3. Закалка зубьев в пределах зоны плющения. Электрод устанавливается по задней грани зуба на расстоянии 0,5—1,0 мм от вершины. Режим по току — II ступень (машина АТП-5). Давление электрода при длине контакта с зубом 3 мм должно быть в пределах 8—10 кг. Ток включается после прижатия электрода к задней грани (стенке) зуба. Продолжительность выдержки под током 3—4 сек. Зуб должен быть нагрет на участке длиной 6—6,5 мм от вершины зуба до температуры 860—900°.

Достаточно надежный контроль за температурой нагрева осуществляется с помощью оптического пирометра. Можно использовать для этой цели термопару хромель-алюмель с толщиной проволоки 0,2—0,4 мм. Спай термопары при измерении температуры нагрева зуба следует прижимать к лунке плющения. Разумеется, что термопара должна быть протарирована при данных условиях измерения температуры.

Как исключение возможен визуальный контроль по цвету каления. Указанным температурам соответствует светло-красный цвет каления.

Косвенным признаком требуемого нагрева может служить величина зоны засинения боковой поверхности зуба. Зона интенсивного засинения при рекомендуемом режиме нагрева распространяется на 12—13 мм от вершины зуба. Протяженность зоны засинения почти в 2 раза превышает протяженность зоны нагрева до закалочных температур. -

При достижении требуемой температуры нагрева ток отключается и почти сразу за этим (через 0,1 сек.) электрод отводится от зуба. В этот момент происходит прогрев малопрогретой вершины зуба до закалочной температуры за счет тепла сильно нагретых зон металла, выравнивание температуры во всем объеме закалочной зоны и, наконец, закалка при охлаждении на воздухе. Закалочная структура тут же отпускается оставшимся внутри зуба теплом. Схема технологического процесса нагрева зубьев показана на рис. 19.

4. Окончательная заточка. В результате повторной заточки не только достигается окончательное формирование режущей кромки, но и сошлифовываются некоторые дефекты вершины зуба, могущие возникнуть при закалке.

На основании проведенных исследований и опыта внедрения приводим еще некоторые рекомендации. Для соблюдения равномерности нагрева и выполнения режима нагрева зубьев необходимо сохранять постоянство переходного контактного сопротивления между зубом и электродом. Это достигается своевременной зачисткой контактной поверхности электрода, постоянством давления, напряжения в сети и взаимного расположения зуба относительно электрода, а также надежным контактом на пиле.

Наш опыт показал, что достаточно производить зачистку контактной поверхности электрода после обработки двух-трех пил. Очень важное значение для получения стабильных результатов

закалки зубьев имеет постоянство напряжения. Если это условие не всегда выполнимо, то заданного режима нагрева можно достигнуть путем регулирования давления электрода на зуб. Поэтому закалочная установка должна иметь устройство для быстрой и точной регулировки давления.

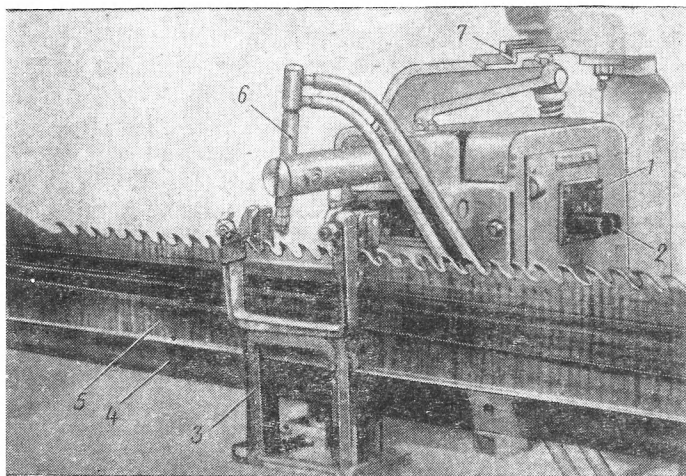


Рис. 21. Схема простейшей опытной установки:  
1 — машина АТП-5; 2 — переключатель ступени сварочного тока; 3 — зажимной столик с токоподводящим контактом; 4 — направляющая линейка; 5 — рамная пила; 6 — электрод; 7 — приспособление для регулирования давления

Электроконтактный нагрев может применяться не только для закалки зубьев рамных пил, но и круглых, а также для закалки режущей части другого дереворежущего инструмента (фрезы, крючья и т. д.).

### Оборудование для контактного нагрева зубьев

Специальное оборудование для электроконтактного нагрева зубьев рамных, а также и круглых пил промышленностью не изготавливается. Простейшее устройство для этой цели может быть изготовлено на основе машины АТП-5, предназначенной для точечной сварки листов. Машина имеет педально-пружинный привод с радиальным ходом верхнего электрода.

Нижний электрод машины при использовании ее для изготовления закалочного устройства следует удалить, а вместо него вывести кабель, который тем или иным способом присоединяют к нагреваемой пиле. Конструкция контакта может быть различной. Движение верхнего электрода осуществляется с помощью педально-пружинного привода. Выше указывалось, что величина

давления электрода на зуб пилы имеет важное значение. Поэтому нами сделано простейшее приспособление для достаточно точной регулировки этого давления. Машина АТП-5 в нашей опытной установке закреплена на специальной тумбе сварной конструкции, на которой крепится также зажимной столик с направляющей линейкой. Конструкция столика позволяет быстро устанавливать пилу и перемещать ее при закалке зубьев.

Перемещение пилы производится движением рукоятки, включение и выключение электрической цепи — при помощи кнопок. Схема экспериментальной установки, использованной нами, показана на рис. 21.

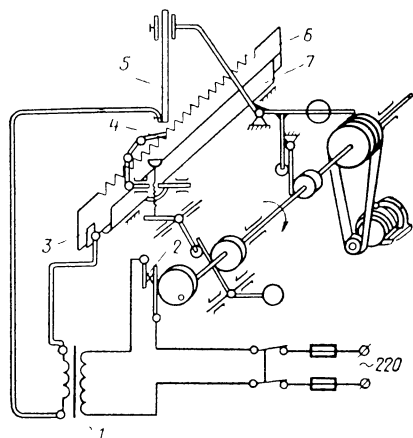


Рис. 22. Кинематическая и электрическая схема реконструированного автомата ИП-1.

- 1 — закалочный трансформатор;
- 2 — прерыватель; 3 — трубка — контакт;
- 4 — собачка подачи пилы;
- 5 — закалочный электрод; 6 — пила;
- 7 — эксцентрик прерывателя

Исследования показали, что при достаточной стабильности первичного напряжения в цепи и некотором опыте работы мы получили достаточно устойчивые результаты по режиму нагрева зубьев при значительной производительности работы. Время для закалки 25—30 наиболее нагруженных зубьев пилы составляет около 3—4 мин. Установка весьма проста по конструкции, компактна и может быть использована для закалки зубьев рамных пил в производственных условиях.

Для широкого и успешного внедрения этого способа повышения износостойкости пил можно создать станки, работающие по автоматическому циклу. Однако пока еще такие станки промышленностью не выпускаются.

Тем не менее известно, что некоторые лесокомбинаты когда-то довольно успешно применяли автоматизированную электроконтактную закалку зубьев.

Для этой цели на комбинате реконструировали пилоточный автомат ИП-1 (рис. 22). Головка с точильным кругом была заменена штангой с электрододержателем. Механизм качания коромысла и механизм подачи пилы были оставлены без изменения. Эксцентрик бокового поворота головки использовали для включения и выключения тока в первичной цепи закалочного трансформатора, установленного на боковой стенке станины автомата. Один из концов вторичной обмотки трансформатора присоединяли к полотну пилы, второй — к медному электроду, закрепленному в электрододержателе и электрически изолированному от массы станка.

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАМНЫХ ПИЛ ПУТЕМ ЗАКАЛКИ ЗУБЬЕВ В ТВЧ

Высокочастотный нагрев по сравнению с электроконтактным характеризуется меньшим перегревом поверхности и гораздо более равномерным распределением температуры в закаливаемом слое. Проведенная нами работа по исследованию и внедрению рамных пил с зубьями, закаленными токами высокой частоты, показала весьма высокую надежность получаемых результатов при большой простоте осуществления автоматизации всех технологических операций по подготовке пил.

Сущность индукционного нагрева заключается в следующем. При прохождении переменного тока высокой частоты по проводнику вокруг последнего образуется пульсирующее магнитное поле. Если в это переменное магнитное поле поместить нагреваемый предмет, например зуб пилы, то в поверхностном слое его будет индуцироваться электродвижущая сила, под влиянием которой в нагреваемом предмете (зубе) потечет ток высокой частоты. Прохождение этого тока вызовет нагрев зуба. При таком нагреве тепловая энергия генерируется непосредственно в самом нагреваемом предмете. Такой характер нагрева определяет характер изменения температуры поверхности и распределение температуры по сечению нагреваемого объекта. Плотность протекания переменного тока значительно больше у поверхности, чем во внутренних слоях; благодаря этому эффекту, нагревание объекта происходит с поверхности на определенную глубину. Для практических целей условно считают, что переменный ток идет с одинаковой плотностью по слою объекта определенной глубины. Этот слой называется глубиной проникновения тока  $\delta$ . На условной глубине проникновения тока выделяется около 90% всего тепла, созданного вихревыми токами.

Глубина проникновения тока  $\delta$  определяется следующей формулой:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ мм},$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление,  $\text{ом} \cdot \text{см}$ ;

$\mu$  — магнитная проницаемость;

$f$  — частота тока,  $\text{Гц}$ .

Резкая граница в глубине проникновения тока наблюдается в стали при нагревании до температуры, при которой она теряет магнитные свойства ( $\mu$  резко падает), т. е. до  $768^\circ$  (точка  $A_2$ ).

Глубина проникновения тока при  $850^\circ$ , так называемая горячая глубина, во много раз больше глубины проникновения тока при  $20^\circ$ . Приблизительно горячая глубина проникновения тока в сталь может быть вычислена по упрощенной формуле

$$\delta_{\text{гор}} \approx \frac{600}{\sqrt{f}} \text{ мм}.$$

Учитывая изменение глубины проникновения тока в зависимости от температур, процесс нагревания токами высокой частоты можно представить в такой последовательности. Сначала быстро нагревается слой определенной глубины. После потери этим слоем магнитных свойств глубина проникновения тока увеличивается и начинает быстро нагреваться следующий, расположенный глубже слой, а повышение температуры в уже нагретом слое замедляется. Затем после потери магнитных свойств вторым слоем начинает быстро нагреваться третий слой и т. д. Такая последовательность нагревания указывает на то, что быстрое распространение тепла при нагревании токами высокой частоты происходит в связи с изменением магнитных свойств, а теплопроводность стали при этом имеет меньшее значение. Из вышесказанного следует, что более быстрое нагревание происходит при более низких температурах, т. е. ниже  $768^{\circ}$  (рис. 23).

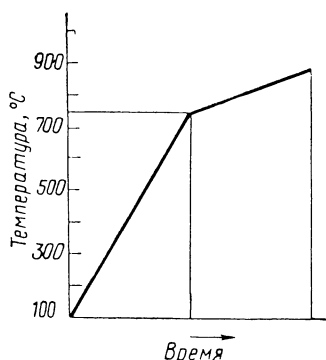


Рис. 23. График индукционного нагрева

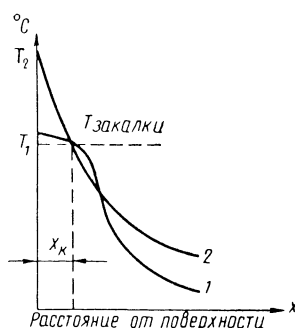


Рис. 24. График распределения температуры по сечению изделия:  
1 — глубинный нагрев; 2 — поверхностный нагрев,  $x_k$  — глубина закаленного слоя

Нагрев в пределах горячей глубины проникновения протекает активно и называется глубинным. За пределы горячей глубины проникновения тока тепло может распространяться лишь благодаря теплопроводности. Распределение температуры по сечению нагреваемого предмета при глубинном и поверхностном нагреве различное (рис. 24). Глубинный нагрев характеризуется малым перепадом температуры в пределах нагретого слоя и крутым спадом во внутреннем слое, еще не потерявшем магнитных свойств.

Для получения заданной глубины закаленного слоя в изделиях значительной толщины потребуется сравнительно длительное время нагрева. Поэтому целесообразно при ТВЧ применять глубинный нагрев, обеспечивающий меньшую глубину закаленного  $x_k$  слоя, чем горячая глубина проникновения тока  $\delta_{\text{гор}}$ .

От правильного выбора частоты тока зависит эффективность применения высокочастотного нагревания. Установлено, что наи-

более высокий к.п.д. высокочастотной установки достигается в том случае, когда  $x_k$  составляет около половины  $\delta_{гор}$  ( $x_k = 0,5 \delta_{гор}$ ).

Необходимую частоту тока  $f$  в зависимости от глубины закаленного слоя  $x_k$  (мм) определяют по формуле

$$f = \frac{5 \cdot 10^4}{x_k^2} \text{ гц.}$$

В табл. 30 приведены значения наиболее выгодной глубины закаленного слоя и возможные пределы ее изменения.

Т а б л и ц а 30

Глубина закали при разных частотах

Глубина	Значения глубины закаленного слоя, мм, при частоте $\omega$			
	8000	2500	1000	500
Наименьшая . . . . .	1,3	2,4	3,6	5,5
Оптимальная . . . . .	2,7	5,0	8,0	11,0

Обеспечение высоких механических свойств, сочетание твердости, прочности и пластичности изделия зависит от глубины закаленного и переходного слоев. Для изделий небольших размеров (диаметр 10—20 мм) рекомендуется, чтобы глубина закаленного слоя была равна  $\approx 20\%$  радиуса.

С экономической точки зрения, высокочастотную поверхностную закалку желательно производить, если это возможно по условиям работы изделия, на минимальную глубину. Однако при закалке тонких слоев (0,5—1 мм) приходится учитывать наличие оборудования и приспособлений, а также трудность обеспечения полного превращения структуры при очень быстрых нагревах.

Для получения закалочных слоев 0,5—1 мм наиболее удобно применять ламповые генераторы, дающие высокие частоты, а следовательно, небольшую глубину проникновения тока. Зависимость между частотой тока и глубиной проникновения его в сталь иллюстрируется следующими данными:

Частота тока, гц . . . .	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^8$
Глубина проникновения тока при 800°, мм (сталь 45)	6,5	2,1	0,65	0,065

Мощность генератора находится в прямой зависимости от площади одновременно нагреваемой поверхности.

Нагрев поверхности стального изделия до 900° требует мощности около 1 квт на квадратный сантиметр нагреваемой поверхности. Если учесть потери энергии во всех частях закалочного

устройства, то мощность, потребляемая от электрической сети на  $1 \text{ см}^2$  нагреваемой поверхности, составит около  $2 \text{ кВт}$ .

Для высокочастотного нагрева обычно применяют установки типа ЛГЗ-10 и др. Для нагрева зубьев рамных, а также круглых пил потребуется маломощная высокочастотная установка. На ЛДК (Цигломенский, г. Архангельск), где проводилось исследование и внедрение пил, необходимый генератор изготовлен своими силами.

При нагреве в ТВЧ, как уже указывалось, теплота генерируется в самом металле и закаливается слой быстро нагревается до необходимой температуры.

Практически применяют режимы, обеспечивающие нагрев до температуры заковки за время от нескольких секунд до десятых долей секунды. Скорость нагрева может быть очень высокой, до  $1000 \text{ град/сек}$  и более. Эта особенность нагрева смещает фазовые превращения (изменение структуры) в нагреваемой стали в область более высоких (по сравнению с обычным нагревом) температур.

В доэвтектоидных сталях повышение температуры при индукционном нагреве даже обгоняет скорость диффузии углерода. Следовательно, для завершения необходимых структурных превращений в стали изделие нужно нагревать до более высоких температур, чем нормальная температура заковки при обычном нагревании в печах. Чем больше в стали углерода, т. е. чем меньше избыточного феррита, тем меньше влияние скорости нагрева на температуру заковки.

Но не только химический состав стали оказывает большое влияние на выбор скорости и температуры нагрева при индукционной заковке. Не менее решающее значение в эффективности протекания процессов играет исходная структура стали. Если сталь имеет исходную структуру тонкопластинчатого перлита или сорбита, то диффузионные процессы растворения цементита могут протекать гораздо быстрее, чем при наличии в структуре избыточного феррита.

Грубопластинчатый или зернистый перлит, особенно при наличии в структуре избыточного феррита, при тех же условиях будет претерпевать превращение в аустенит значительно дольше. Поэтому сталь, предназначенную для высокочастотной заковки, рекомендуется предварительно подвергать термической обработке для измельчения исходной структуры. Для этого применяют нормализацию, а еще лучше обычную сквозную заковку с высоким отпуском.

С точки зрения указанной подготовленности структуры перед заковкой ТВЧ рамные пилы как нельзя лучше отвечают этому требованию. Микроструктура зубьев этих пил в исходном состоянии представляет собой дисперсный троостит с мелкими карбидами. При такой исходной структуре возможен наиболее широкий интервал оптимальных температур высокочастотной заковки.

Расширяется этот интервал главным образом за счет понижения его нижней границы.

Металловедческие вопросы высокочастотной заковки наиболее обстоятельно исследованы И. Н. Кидиным. Им предложены диаграммы преимущественных режимов для выбора наиболее рациональных режимов высокочастотной заковки. Диаграммы преимущественных режимов для инструментальных сталей приведены на рис. 25.

Оптимальная температура заковки обеспечивает характерную для высокочастотной заковки структуру безыгольчатого («бесструктурного») или скрытокристаллического) мартенсита в высокоуглеродистых инструментальных сталях. Мелкоигольчатый и безыгольчатый мартенсит отличается меньшей хрупкостью и повышенной прочностью. Максимальная для данной марки стали поверхностная твердость после высокочастотной заковки получается на 2—3 единицы выше, чем после обычной заковки.

Нарушение оптимальных режимов нагрева приводит к ухудшению структуры и всех прочностных характеристик. Так, при увеличении температуры заковки выше оптимальной структура огрубляется и появляется крупноигольчатый мартенсит (см. рис. 28).

При нагреве до оптимальных температур твердость понижается из-за неполноты аустенизации, а при перегреве выше оптимальной температуры — из-за увеличения количества остаточного аустенита и по другим причинам.

Правильность установления оптимальных режимов и точная их реализация при высокочастотной заковке зубьев рамных пил имеет особо важное значение, поскольку решающую роль в их работоспособности играют прочность и сопротивление действию циклических нагрузок тонкого лезвия.

## Индукторы

Индуктор — это устройство, предназначенное для создания высокочастотного электромагнитного поля в зоне подлежащих нагреву участков изделия.

В индукторе концентрируется энергия, вырабатываемая генератором, которая передается индукцией в нагреваемое изделие. От правильной конструкции индуктора и его расположения от-

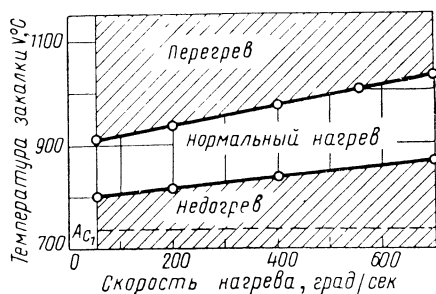


Рис. 25. Диаграмма преимущественных режимов для стали ХВГ при исходной структуре тонкопластинчатого перлита



носителем нагреваемого изделия в большой степени зависит качество термообработки инструмента и эффективность использования мощности высокочастотной установки. Принципиально индуктор представляет собой один или несколько трубчатых или шинных витков первичной обмотки высокой частоты, а нагреваемый инструмент является как бы одновитковой вторичной обмоткой.

Индукторы обычно изготавливаются из медных трубок, по которым протекает вода, служащая для охлаждения.

В процессе проектирования и изготовления индукторов необходимо добиваться, чтобы потери в токоведущей части его были минимальными и чтобы он был защищен от соприкосновения с нагреваемой деталью.

Коэффициент полезного действия индуктора тем выше, чем меньше воздушный зазор между внутренними стенками индуктора и поверхностью нагреваемого инструмента. В этом смысле минимально допустимый зазор определяется только величиной электрического напряжения на индукторе и точностью установки инструмента по отношению к индуктору. Для предотвращения электрического пробоя с индуктора на деталь достаточно зазор сделать равным 2 мм.

Для достижения равномерного нагрева необходимо, чтобы расстояние от индуктора до нагреваемого предмета, например зуба пилы, было во всех точках одинаково.

Если конструкция, подающая нагреваемое изделие в индуктор, не гарантирует невозможность касания его с индуктором, то в этом случае рабочая часть индуктора покрывается специальной изоляцией.

В качестве изоляции на практике применяется обмотка индуктора асбестовым шнуром, пропитанным жидким стеклом с добавлением 40% нашатыря в порошок и маршалита.

Для каждого типа детали или инструмента изготавливается отдельный индуктор, конфигурация которого соответствует форме закаливаемого изделия. В одном и том же индукторе нельзя закаливать различные по форме и размеру инструменты.

Рабочая часть индуктора изготавливается, как указывалось, из медных трубок. Диаметр трубок принимают, исходя из характера выполняемой работы, размера и формы изделия, а толщина стенки не должна быть меньше полуторной глубины проникновения тока в медь при данной частоте. Ниже приводится зависимость между рекомендуемыми наименьшими толщинами стенки индуктора и частотой тока:

Частота тока, гц . . . .	2000	3000	8000	200 000
Толщина стенки, мм . . .	2,2	1,8	1,1	0,25

Для повышения к.п.д. и получения более равномерного нагрева следует применять для рабочей части индуктора трубки прямоугольного или квадратного сечения. Такой профиль несложно

получить обжатием или вальцовкой круглых трубок. Для облегчения профилирования трубки следует отжечь при температуре 600—650° с охлаждением в воде.

Обычные индукторы, даже изготовленные из трубок прямоугольного профиля, имеют низкий к.п.д. (70—80%) вследствие рассеяния электромагнитного поля. Уменьшения потока рассеяния и повышения концентрации поля в требуемом направлении можно достигнуть специальными экранирующими магнитопроводами. Такие магнитопроводы, изготовленные в виде особых накладок, устанавливают на витки индуктора. При наличии магнитопровода происходит концентрация магнитного поля между индуктором и нагреваемой поверхностью и при этом резко возрастает к.п.д. индуктора.

В индукционных установках, работающих при частотах до 10 000 гц, магнитопровод собирают из изолированных друг от друга листов трансформаторной стали толщиной 0,2—0,5 мм. В ламповых генераторах такой индуктор быстро нагревается, поэтому при больших частотах магнитопровод изготавливают из спрессованных магнитодиэлектриков или оксидов (ферритов). Ферриты — это порошок оксидов металлов, смешанный и спеченный при 1100—1400°.

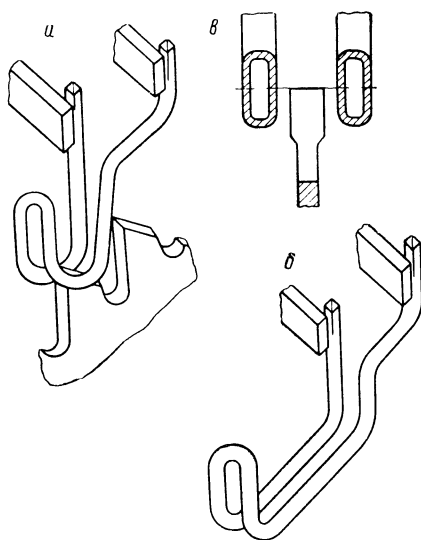


Рис. 26 Индукторы для закалки зубьев в ТВЧ:

а — одновременный нагрев одного зуба; б — одновременный нагрев нескольких зубьев; в — положение зуба в индукторе при закалке

### Индуктор для нагрева зубьев рамных пил

При конструировании индуктора мы учитывали имеющиеся в литературе рекомендации, а кроме того, возможность периодического и последовательного прямолинейного передвижения пилы с помощью простейших механических устройств. В результате проверки нескольких конструкций индукторов предпочтение было отдано индукторам, показанным на рис. 26. Медную трубку на рабочем участке индукторов рекомендуется обжать до прямоугольного профиля.

**Разработка и уточнение технологии и температурного режима закалки зубьев пил в ТВЧ.** В специальной литературе, как ука-

зывалось ранее, имеются рекомендации и диаграммы для выбора оптимальных режимов высокочастотной закалки. Однако при всем удобстве пользования диаграммами (см. рис. 25) без поправок они справедливы для нагрева изделий только в определенных условиях, близких к условиям эксперимента, на основе которого сделано обобщение. Кроме того, требуемый для работоспособности зуба пилы характер нагрева сильно отличается от характера нагрева обычных изделий. Эти и другие обстоятельства приводят к необходимости не только уточнения температурных режимов, но и разработки ряда практических и теоретических вопросов технологии индукционной закалки зубьев рамных пил.

Такими вопросами являются:

1. Отработка температурного режима закалки зубьев обеспечивающего необходимую износостойкость и прочность режущей части. При этом следует учитывать положение зуба в индукторе, величину закалочной зоны, характер структуры в закалочной и переходной зонах и др.

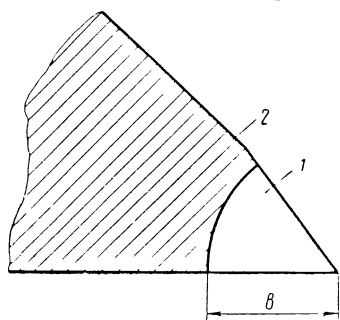


Рис. 27. Схема закаленного зуба:

1 — закалочная зона; 2 — переходная и исходная структура; б — протяженность закалочной зоны

2. Установление режимов отпуска и самоотпуска.

3. Разработка режимов смягчающего отпуска для подготовки закаленной пилы к очередному плющению.

4. Конструирование механического устройства для точной и быстрой установки пилы в индукторе и автоматическое обеспечение всех остальных перемещений при закалке.

Вопросы решались в основном опытным путем. Выводы сделаны на основании исследований зубьев, закаленных при разных вариантах нагрева и при разном положении их в индукторе. Исследование опытных зубьев проводилось путем измерения

твердости по плоскости зуба и по «наплыву» от плющения, изучения микроструктуры шлифов, изготовленных по плоскости и по передней поверхности опытных зубьев, механических испытаний с определением разрушающей силы при изгибе зубьев, измерения зоны засинения и т. д.

Для решения вопросов использовали оптический пирометр, термопару ХА с толщиной проволок 0,3 мм, приборы ПМТ-3, «Роквелл», микроскоп МИМ-7. Окончательная проверка режимов закалки зубьев производилась на основании натуральных испытаний пил при распиловке древесины. Ниже приведены результаты исследований и рекомендации.

## Режим закалки зубьев в ТВЧ

Из всех вариантов опытов по выявлению оптимальных режимов закалки приведем лишь три. Все эти режимы нагрева обеспечивают закалочную структуру протяженностью 5—7 мм от вершины (рис. 27). Один из режимов рекомендован нами как оптимальный, а два других даны для сравнения. При закалке приняты следующие постоянные параметры:

1. Положение зубьев в индукторе. Вершина зубьев находилась всегда на уровне оси активного рабочего участка индуктора (см. рис. 26, в).

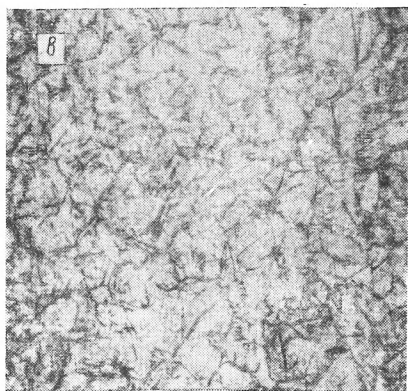
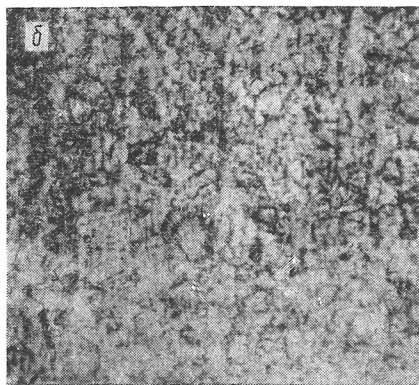
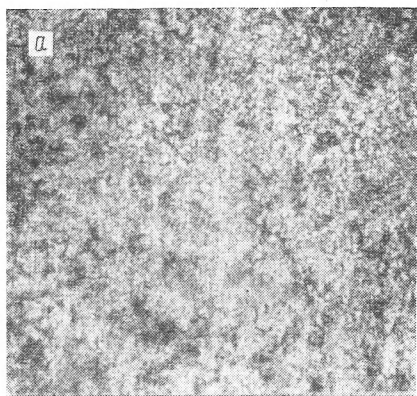


Рис. 28 Микроструктура закаленного зуба:  
а — при 900°; б — при 1000°, в — при 1200°

2. Толщина пилы ( $s = 2,2$  мм).

3. Твердость пилы в исходном состоянии  $HRC = 47 \div 48$ .

Параметрами, которые варьировали, были температура (900, 1000, 1200°) и время нагрева зуба.

Температуру нагрева измеряли оптическим пирометром.

Режимы нагрева и результаты исследований закаленных зубьев приведены в табл. 31 и на рис. 28.

**Результаты опытов по закалке зубьев.** Зубья, нагретые до 900°, оказались при высокой твердости более прочными по сравнению с зубьями, закаленными по другим режимам. Прочность их на 12% выше прочности

зубьев, закаленных при 1000°, и на 15% выше прочности закаленных при 1200°. Следует полагать, что эта разница значительно возрастает при ударных нагрузках. Зона высокой твердости HRC=64÷63 распространяется до 5 мм от вершины зуба. Металл зуба закалочной зоны (см. рис. 27) имеет структуру высокодисперсного отпускаемого мартенсита с включениями троостита и мелких карбидов (см. рис. 28, а).

Зубья, закаленные от 1000° при нагреве в течение 0,8—1 сек, имеют зону закалки до 6—6,5 мм. Зона высокой твердости HRC=66÷64 распространяется до 6 мм от вершины зуба. Структура состоит из отпускаемого мартенсита и некоторого количества троостита. Мартенсит имеет достаточно выраженное игольчатое строение (см. рис. 28, б). Количество троостита меньше, чем в структуре зубьев, нагретых до 900°. Это объясняется более быстрым протеканием при этой температуре нагрева процессов растворения фаз и выравнивания состава аустенита.

Зубья, закаленные от 1200° за 1,8—2 сек, имеют зону закалки до 7—7,5 мм. Твердость HRC=64÷67 на участке до 6 мм от вершины зуба. Структура — крупноигольчатый мартенсит грубого строения (см. рис. 28, в).

Таблица 31

Режимы нагрева зубьев в ТВЧ и показатели твердости и прочности

Режим закалки	Температура нагрева, °С	Продолжительность нагрева, сек	Твердость по биссектрисе на расстоянии от вершины зуба, мм				Разрушающая сила $P_H$ , кг при $l=1$ мм
			2	3,5	5	6—7	
I	900	1,5	62	65	65		283
II	1000	0,7—1,0	66	67	66	47	244
III	1200	1,8—2,0	63	66	66	66	188

Примечания 1 В таблице приведены средние значения из 10—15 показаний.

2. Нагрев производился при использовании оксидного ферромагнетика (пластина накладывалась на активную часть витка индуктора).

Итак, на основании исследований рекомендуем следующий режим закалки в ТВЧ:

Температура нагрева, °С	.	.	.	.	.	от 900 до 960°
Время нагрева, сек	.	.	.	.	.	1,5—2
Скорость нагрева, град/сек	.	.	.	.	.	450—600
Охлаждение нагретого зуба	.	.	.	.	.	на спокойном воздухе
Положение зуба	.	.	.	.	.	вершина на уровне оси активного рабочего участка индуктора

Параметры закалочной установки (ламповый генератор) при одновременном нагреве одного зуба:

частота тока, <i>кГц</i>	2,5
напряжение рабочего хода, <i>кВ</i>	6,4
Ток рабочего хода, <i>А</i>	0,7
Мощность, <i>кВт</i>	4,5

**Режим смягчающего отжига закаленных зубьев для повторно-го плющения.** Резкое снижение твердости закаленных зубьев с HRC=66 до HRC=35÷42 достигается при нагреве вершин зубьев до 600—700° в течение 1—2 сек. При этом зуб должен располагаться на 2—3 мм выше оси активного рабочего участка индуктора.

### **Контроль температуры при высокочастотном нагреве металлических изделий**

Контроль температуры при термической обработке зубьев рамных пил с индукционным нагревом весьма затруднен вследствие кратковременности процесса и отсутствия выдержки при конечных температурах нагрева. Однако если измерение производить с точностью, приемлемой для практики, учитывая, что оптимальные температуры нагрева имеют значительный интервал колебаний, то оно вполне осуществимо даже в условиях лесопильно-деревообрабатывающих производств.

При контроле за температурой нагрева зуба удовлетворительные результаты можно получить при использовании оптического пирометра с эталонной нитью накала. В этом случае оптический пирометр должен быть надежно закреплен в держателе, а его объектив наведен на зону максимальной температуры. Перед включением нагрева надо дать предварительный накал эталонной нити до заданной температуры, и когда яркость поверхности совпадает с яркостью накала нити, нагрев прекращают.

Наблюдая в окуляр пирометра за яркостью поверхности, можно оперативно корректировать температуру нагрева регулированием электрического режима. При определенном навыке таким способом можно выдерживать заданный режим с достаточной точностью (10—20°).

Как показали наши опыты, при нагреве зуба в течение 1—3 сек измерение температуры оптическим пирометром при указанной методике очень удобно и надежно.

Еще более удобным и достоверным способом, который можно успешно использовать для измерения температурного режима нагрева зубьев, является фотоэлектрический пирометр.

Преимуществом фотоэлектрических пирометров перед оптическими является большая объективность измерения температуры, так как результаты измерения фиксируются показаниями стрелочного прибора или записываются на пленку шлейфного осциллографа, в то время как результаты измерения оптическим пиромет-

ром в какой-то мере субъективны. При использовании фотопирометров инструмент, поступающий на закалку, должен быть очищен от масла и других загрязнений.

Однако оптическому и фотоэлектрическому пирометрам присущи общие недостатки. На правильности показаний этих пирометров сказывается в первую очередь степень нечерноты излучаемой поверхности, которая зависит от многих факторов.

Оптический пирометр градуируется по абсолютно черному телу, и поэтому при измерении температуры физических тел будет показывать не действительную, а так называемую яркостную, или черную, монохроматическую температуру, которая всегда меньше единицы. Следовательно, при измерении физических тел надо вводить поправки в показания прибора. Для определения этих поправок надо знать коэффициенты монохроматической излучательной способности материала, нагреваемого инструментом.

Эти коэффициенты для многих материалов хорошо изучены. В табл. 32 приведены коэффициенты монохроматической излучательной способности  $E$  для лучей с длиной волны  $\lambda = 0,65 \text{ мк}$  (такая длина волны излучения используется в оптическом пирометре).

Таблица 32

Коэффициенты монохроматической излучательной способности для лучей с длиной волны  $= 0,65 \text{ мк}$

Тело	Температура, °C	$E$
Железо твердое неокисленное . . .	1300	0,45
Окисленная специальная сталь . . .	800—1100	0,8
Окисленное твердое железо . . .	800	0,98

Выбрав по табл. 33 коэффициент монохроматической излучательной способности  $E$ , по графику (рис. 29) определяют поправку к яркостной температуре показания оптического пирометра. Эту поправку следует прибавить к яркой температуре, чтобы получить истинную.

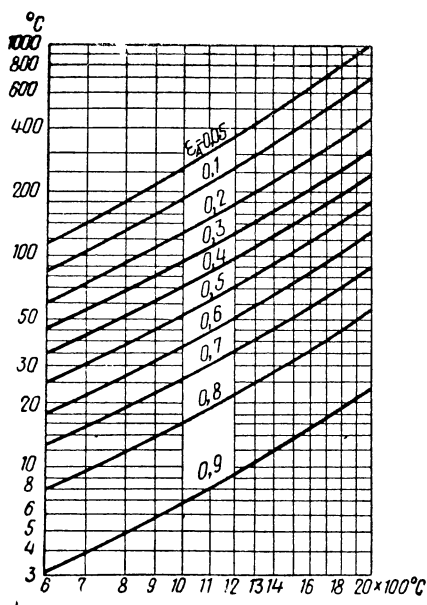


Рис. 29. График поправок к оптическому пирометру

Для измерения температур, при которых не происходит свечения металла, например при отпуске инструмента, оптические приборы использовать невозможно. Измерять такие температуры можно с помощью контактных термпар, которые при относительно медленных нагревах при отпуске дают удовлетворительную точность показаний.

В производстве находят применение также термокарандаши, меняющие цвет при определенной температуре. Шкала температур, измеряемая термокарандашами, и характер изменения цвета карандашей приведены в табл. 33.

Таблица 33

**Шкала термочувствительных карандашей МХТИ  
им. Д. И. Менделеева**

Номер карандаша	Температура изменения цвета, °С	Цвет карандаша	
		до нагрева	после нагрева
200	200	Сиреневый	Синий
250	250	Зеленый	Коричневый
300	300	Охристый	Красно-коричневый
320	320	Лиловый	Б е ж
340	340	Оранжевый	Коричневый
390	390	Голубой	Б е ж
440	440	Белый	Коричневый

Данные, приведенные в таблице, относятся к медленному нагреву с выдержками при температуре нагрева. Поэтому при использовании карандашей в условиях высокочастотного нагрева необходима корректировка этих значений, так как при ускоренном нагреве изменение цвета карандаша происходит при температурах более высоких, чем те, что указаны в таблице.

Для определения температуры на поверхности изделия наносят штрихи карандашами нескольких номеров, близкими к тем, которые меняют свой цвет при заданной температуре, и проверяют изменение цвета штрихов. Температура поверхности будет находиться между температурой изменения цвета двух ближайших номеров. Точность измерения температуры термокарандашами  $\pm 20^\circ$ .

**Техника безопасности при работе на высокочастотных установках**

Высокочастотные установки должны быть снабжены конструктивными ограждениями и механической или электрической блокировкой, делающими невозможным прикосновение к находящимся под напряжением частям установок.



В помещениях с действующими высокочастотными установками должна быть искусственная вентиляция, а также нормальные гигиенические и другие условия для обслуживающего персонала.

Ширина рабочих мест у щитов управления должна быть не менее 1,2 м, а у нагревательных устройств — не менее 0,8 м.

Термисту разрешается только включение и выключение установки. Производить другие работы или действия по эксплуатации установки ему не разрешается.

Смену индуктора и другие работы, связанные с регулировкой подачи и установлением режимов закалки, следует производить при снятом напряжении. До начала работы на установке необходимо проверить состояние всех ее заземляющих проводов и блоков.

Обслуживающий персонал высокочастотной установки обязан немедленно отключить ее в случаях, предусмотренных местной инструкцией, а также при несчастных случаях, при обнаружении неисправностей, пожаре и стихийных бедствиях. Рабочий должен иметь защитные очки и резиновые перчатки, стоять на резиновом коврике.

Инструмент, которым пользуется термист при закалке изделий, должен иметь рукоятки, изолированные по длине захвата.

## **ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЬЕВ РАМНЫХ ПИЛ**

Термомеханическая обработка является сравнительно новым и прогрессивным процессом термической обработки (способ впервые описан в 1954 г.).

Этот способ при правильном его выполнении и подборе сталей позволяет значительно улучшить прочность, пластичность и другие важнейшие показатели сталей, в результате чего получить большой экономический эффект.

Сущность термомеханической обработки (ТМО) состоит в совмещении горячей пластической деформации сплава и закалки в одном технологическом процессе, т. е. при одной операции нагрева. Однако к ТМО можно относить не любое сочетание операций пластической деформации и термообработки, а только такое, при котором наклеп сказывается на кинетике или механизме фазовых и структурных изменений при последующей термической обработке. Иначе говоря, при ТМО деформированная высокотемпературная фаза в наклепанном или частично рекристаллизованном состоянии претерпевает полиморфное превращение. Таким образом, эффект термомеханической обработки заключается в суммарном влиянии пластической деформации и полиморфного превращения.

Теоретическое обоснование эффекта ТМО заключается в увеличении плотности дислокаций, их равномерном размещении и измельчении зерен с образованием блоков. При создании блоков увеличивается барьерный эффект, что задерживает движение дислокаций.

Есть мнение (Р. М. Мейл и др.), что при ТМО стали изменяется строение мартенсита. Пластины мартенсита оказываются искривленными и изломанными плоскостями скольжения, в результате образуется высокодисперсная мартенситная структура. В мартенсите, образовавшемся из деформированного аустенита, наблюдается скопление мелких сферических карбидов совместно с иглообразными карбидами крупных размеров. Неоднородность мартенсита и его упрочнение ориентированными дисперсными карбидами является одной из причин повышения механических свойств стали.

В настоящее время определились две основные разновидности ТМО: высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) и низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО).

При низкотемпературной термомеханической обработке (рис. 30, а) сталь деформируют при температуре ниже точки  $A_1$  в зоне высокой устойчивости переохлажденного аустенита. НТМО можно применять только к таким сталям, у которых на С-диаграмме имеется достаточно широкая область устойчивости переохлажденного аустенита (см. рис. 4, 6, 8), но при этом оптимальное содержание углерода должно быть 0,5—0,6%. С повышением содержания углерода при НТМО получается хрупкость и значительно снижается эффект обработки.

Зато при обработке конструкционных сталей достигается большой прирост прочностных свойств. Так, конструкционные легированные стали подвергают НТМО по следующей схеме: нагрев стали выше  $A_1$  (обычно  $900^\circ$ ), переохлаждение аустенита до  $400\text{--}600^\circ$ , обработка давлением с обжатием до 90%, закалка на мартенсит и низкий отпуск ( $100\text{--}200^\circ$ ). При этом предел прочности некоторых сталей повышается до  $280\text{--}330\text{ кг/мм}^2$  при высоких показателях пластичности. Таким образом, при НТМО сильно увеличиваются показатели механических свойств конструкционных сталей.

Существенными недостатками НТМО являются трудности технологического характера и необходимость в мощном оборудовании для обработки давлением в связи с очень большими деформациями при сравнительно низких температурах. По-видимому, процесс НТМО не найдет широкого применения для обработки дереворежущего инструмента с целью повышения его износостойкости и качества.

Для повышения эксплуатационных качеств некоторого дере-

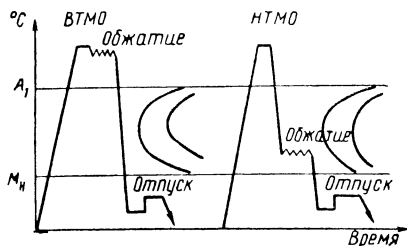


Рис. 30. Схема термомеханической обработки:

ВТМО — высокотемпературная термомеханическая обработка; НТМО — низкотемпературная термомеханическая обработка

ворезущего инструмента следует применять, очевидно, ВТМО, так как этот процесс в принципе применим к любым металлам и сплавам.

ВТМО производится при температурах значительно выше точки  $A_1$ . При этом способе (рис. 30, б) закалка производится сразу же после деформации, что предотвращает развитие рекристаллизации и фиксирует особое структурное состояние, возникшее при горячем наклепе.

ВТМО сталей, закаливаемых на мартенсит, значительно повышает их прочностные свойства и, что особенно ценно, одновременно увеличивает пластичность.

По сравнению с НТМО процесс ВТМО более технологичен, так как в этом случае используется тепло высокой температуры нагрева, значительно уменьшающее сопротивление деформации. При применении ВТМО к сталям не предъявляется особых требований в отношении большой устойчивости переохлажденного аустенита. Поэтому ВТМО можно применять не только для легированных, но и для углеродистых сталей.

Большое практическое значение имеет явление обратимости эффекта упрочнения от ВТМО. Оказалось, что упрочнение от ВТМО сохраняется, если упрочненный сплав перезакалить или вначале подвергнуть его высокому отпуску, а затем перезакалке. Такая обратимость эффекта упрочнения безусловно способствует расширению области применения ВТМО.

В лесной промышленности высокотемпературная термомеханическая обработка впервые применена для повышения износостойкости зубьев рамных пил Ф. Н. Карпуниным (КирНИИЛП). Им исследован процесс горячего плющения пил при значительной высокотемпературной деформации зубьев с последующей закалкой на мартенсит. Технология горячего плющения зубьев как раз включает в себя все те процессы, при которых достигается эффект ВТМО. Технологическими параметрами ВТМО при высокочастотном нагреве зубьев и их плющении является температура и скорость нагрева, степень деформации, а также охлаждающая среда и скорость охлаждения. Основные параметры обработки, при которых достигается эффект ВТМО, уточнены исследованиями Ф. Н. Карпунина. Им даны рекомендации для внедрения этого способа в промышленность. Справедливости ради заметим, что способ горячего плющения зубьев известен уже несколько десятков лет, но он не получил распространения вследствие существенных недоработок.

Итак, способ горячего плющения с нагревом зубьев в ТВЧ усовершенствован на новой теоретической основе.

Оптимальные скорости нагрева для хромистых сталей лежат в пределах от 100 до 110 град/сек, при этом игольчатый мартенсит появляется при закалке от 1150—1200°. Для стали 85ХФ (9ХФ) при проведении ВТМО зубьев рамных пил в указанных исследованиях приняты следующие технологические параметры:

Скорость нагрева, град/сек	.	.	.	.	.	107
Температура нагрева, °С	.	.	.	.	.	1200
Охлаждающая среда	.	.	.	.	.	сжатый воздух
Скорость охлаждения, град/сек	.	.	.	.	.	120—140

После ВТМО производится электроотпуск стали при температуре 250° со скоростью 200 град/сек для снятия температурных напряжений. Для распиловки мерзлой древесины рекомендуется применять самоотпуск, т. е. вместо охлаждения сжатым воздухом при закалке зубьев проводить закалку на спокойном воздухе. В этом случае зубья закаливаются на мартенсит и получают твердость HRC=58, а отпуск производится за счет тепла, оставшегося внутри зуба.

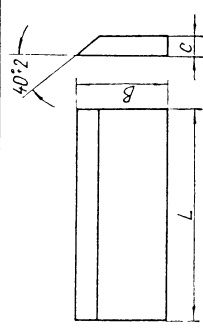
Горячее плющение зубьев рамных пил по технологии, при которой достигается эффект ТМО, производилось на установке, изготовленной на базе станка ПГ с закалочной установкой ЛГЗ-10А. В кинематику станка ПГ внесено некоторое изменение, что позволило производить плющение по заданным режимам.

После ВТМО сталь в вершине зуба имеет мелкоигльчатую мартенситную структуру с мелкими карбидами. После отпуска сталь приобретает структуру высокодисперсного мартенсита отпуска с твердостью HRC=60÷63. Структура и твердость по высоте зуба меняются.

Проведенная обработка зубьев по горячему плющению при соблюдении технологических параметров, обеспечивающих совмещение пластической деформации (плющение) высокотемпературного аустенита с закалкой, подтвердила получение эффекта ВТМО. Обработкой пил по режимам, близким к расчетным, удалось, как показали сравнительные испытания, значительно повысить износостойкость пил.

Экспериментальные исследования износа и затупления зубьев рамных пил проводились на пилах, подготовленных обычным способом, и пилах с термомеханической обработкой. На основании сравнительных испытаний, проведенных в условиях распиловки древесины, было установлено, что пилы после горячего плющения и обработки по режимам ВТМО имели линейный износ зубьев в 1,7 раза меньший, чем пилы, подготовленные холодным плющением. Стойкость пил после ВТМО увеличилась в 2 раза.

## Технологическая карта № 1 термообработки строгально-фрезерных ножей

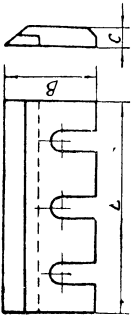
40±2		Наименование	Марка стали	Размеры, мм		Твердость HRC		
				длина	ширина			
		Строгально-фрезерные ножи, тонкие (тип I), ГОСТ 6567-61	9Х5ВФ 9ХС ХВГ	от 30 до 260 толщина	от 25 до 45 3-5	58-60		
№ операции	Наименование операций	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроль	Выдержка, мин, для ножей из сталей		
						9ХС	ХВГ	9Х5ВФ
1	Подогрев	Шахтная печь	500-600	Подвеска, клещи, корзина	—	4	4	5
2	Окончательный нагрев	Печь-ванна соляная	960-980 (9Х5ВФ)* 800-850 (9ХС, ХВГ)		—	0,6	0,6	0,8
3	Охлаждение	Печь-ванна соляная	200-280 (9Х5ВФ)* 150-180 (9ХС)	Соль, затем воздух	Соль, затем воздух	3	3	3
3а	Охлаждение по 2-му варианту	Масляная ванна	20-60	—	—	До полного охлаждения		
4	Технологический контроль	Прибор Роквелла	—	Столик	2-3 шт. от партии	—	—	—
5	Промывка	Моечная машина	70-90	Подвеска, клещи, —	10%-ный содовый р-р	—	—	—
6	Отпуск	Шахтная или камерная печь	250-280 (9Х5ВФ) 200-220 (9ХС, ХВГ)	—	—	90	90	120-180
7	Контроль	Прибор Роквелла и др.	—	Столик	100%	—	—	—
8	Правка	Пресс	—	—	—	—	—	—
9	Контроль	Индикатор и др.	—	—	100%	—	—	—

\* По данным Г М 3.


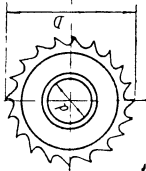
# Технологическая карта № 2 термообработки строгально-фрезерных ножей

См. рис. к технологической карте № 1				Наименование	Марка стали	Размеры, мм		Твердость HRC
				Наименование	Марка стали	длина	ширина	
				Строгально-фрезерные ножи, тонкие (тип I) ГОСТ 6567-61	9Х5ВФ 9ХС ХВГ	от 610 до 1610 толщина	40—45 3—5	58—60
№ операции	Наименование операции	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроль	Выдержка, мин, для ножей из сталей		
1	Закалка	Подогрев	Шахтная печь Ш-55	500—600	—	4	4	5
2		Окончательный нагрев	Печь-ванна, шахтная печь					
3а		Охлаждение	Печь-ванна, соляная	200—280 (9Х5ВФ) 150—180 (9ХС, ХВГ)	Соль, затем воздух	3	3	3
3б			Масляная ванна	20—60	—	—	До полного охлаждения	
4		Технологический контроль	Прибор Роквелла и др.	—	Столик	2—3 шт. от партии	—	—
5		Промывка	Моечная машина	70—90	Подвески, клещи	10%-ный содовый р-р	—	—
6		Отпуск	Шахтная или камерная печь	250—280 (9Х5ВФ) 200—220 (9ХС, ХВГ)	—	—	90	120—180
7		Контроль	Прибор Роквелла и др.	—	Столик	100%	—	—
8		Правка	Пресс	—	—	—	—	—
9		Контроль	Индикатор и др.	—	—	—	—	—

Технологическая карта № 3 термообработки строгально-фрезерных ножей

№ операции	Наименование операции	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	* Условие обработки и контроль	Размеры, мм		Твердость HRC
						длина	ширина	
								
			Строгально-фрезерные ножи, толстые тип II ГОСТ 6567—61	Верхний слой 9Х5ВФ 9ХС ХВГ державка сталь 45	от 140 до 310 толщина 6—10	от 100 до 125	58—60	
1	Закалка	Камерная печь	600—650	Подвески, клещи	—	—	16—20	16—20
2	Подогрев	Печь-ванна соляная	960—980 (9Х5ВФ) 800—850 (9ХС, ХВГ)		—	—	1,6	1,6
3	Окончательный нагрев	Печь-ванна соляная	200—280 (9Х5ВФ) 150—180 (9ХС и др.)		Соль, затем воздух	—	3—5	3—5
3а	Охлаждение	Масляная ванна	20—60	—	—	—	До полного охлаждения	
4	Технологический контроль	Прибор Рок-велла и др.	—	Столик	2—3 шт. от партии	—	—	—
5	Промывка	Моечная машина	70—90	Подвески, клещи	10% содовый р-р	—	—	—
6	Отпуск	Камерная или шахтная печь	250—280 (9Х5ВФ) 200—220 (9ХС)	Корзинка	—	—	90	120
7	Контроль	Прибор Рок-велла и др.	—	Столик	100%	—	—	—

# Технологическая карта № 4 термообработки фрез цилиндрических

№ операции	Наименование операции	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроль	Выдержка, мин		Твердость HRC
						D=40 мм	D=60 мм	
<div></div>								
			Марка стали	Размеры, мм				
				диаметр	длина			
			ХФГ	от 40 до 80		от 40 до 120		59—60
			Фрезы цилиндрические	внутренний диаметр 25—32				
			Подвеска	При D—d выше 40 мм	Нет	Нет	40 12	
1	Закалка	Шахтная печь или печь-ванна		—	7	12	6	
2	Окончательный нагрев	Соляная ванна		Расплав соли, затем воздух	4	5	—	
3		Соляная ванна		При D—d выше 40 мм	—	—	До полного охлаждения	
4	Охлаждение	Масляная ванна	20—70	10%-ный содовый р-р	—	—	—	
5	Промывка	Моечная машина	70—90	Корзинка, подвеска	—	—	—	
6	Отпуск	Шахтная печь ПН-32А	200—220		—	90	90	120
7	Очистка	Гидроструйная камера	—	100 %	—	—	—	
8	Окончательный контроль	Прибор Роквелла и др.	—	100 %	—	—	—	



Технологическая карта № 5 термообработки фрез цилиндрических

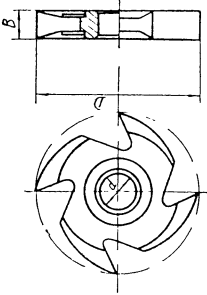
См. рис. к технологической карте № 4											
№ операции	Наименование операции	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Наименование	Марка стали	Размер, мм		Твердость HRC		
							диаметр	длина			
					Фрезы цилиндрические	У10А (У12А)	от 40 до 80	от 40 до 120	59—61		
							внутренний диаметр				
							Условие обработки и контроля		Выдержка, мин при диаметре D, мм		
								40	60	80	
1	Закалка	Подогрев	600—650	Подвеска			При $D-d$ свыше 40 мм	Нет	Нет	30/9	
2		Окончательный нагрев	780—790				Ванна тщательно раскисляется		6	8—10	4,5
3а		охлаждение	30—40				Закалка производится через воду в масле		Охлаждение прерывать в 5%-ном р-ре NaCl до 150—200°		
3б	4	Промывка	20—70	Корзина			Меньше 60		—		
			70—90				10%-ный содовый р-р		—	—	
5	Отпуск	Шахтная печь ПН-32А	200—220	Подвеска			—		90	120	
6	Очистка	Гидроструйная камера	—	—			100%		—	—	
7	Контроль	Прибор Роквелла и др.	—	Столик			100%		—	—	

# Технологическая карта № 6 термообработки фрез цилиндрических

См. рис. к технологической карте № 4

См. рис. к технологической карте № 4									
№ операции	Наименование операции	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Наименование	Марка стали	Размеры, мм		Твердость HRC
							диаметр	ширина	
					Фрезы цилиндрические	9Х3ВФ	От 40 до 80	От 40 до 120	58—60
							внутренний диаметр 25—32		
Закалка	Подогрев	Шахтная печь или печь-ванна	800—850	Подвеска	При $D-d$ выше 40 мм	Условие обработки и контроль	Выдержка, мин, при диаметре D, мм		
							4	60	80
1					Нет	Нет	40	13	
2	Окончательный нагрев	Соляная ванна	980—1020		—		9,5	11	2,6
3а	Охлаждение	Соляная ванна	200—280		Ступенчатая закалка, соль, затем воздух		5—10	5—10	5—10
3б		Масляная ванна	20—60		Закалка с непрерывным охлаждением	До полного охлаждения			
4	Промывка	Моечная машина	70—90	—	10 %-ный содовый р-р		—	—	—
5	Отпуск	Шахтная печь ПН-32А	250—270	—	—		2—3	2—3	2—3
6	Очистка	Пескоструйная камера	—	—	—		—	—	—
7	Контроль	Прибор Роквелла и др.	—	Столик	—		—	—	—

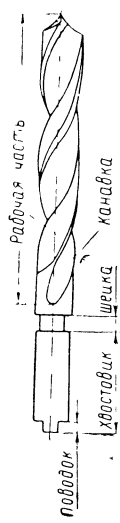
Технологическая карта № 7 термообработки фрез пазовых

		Наименование	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроль	Выдержка, мин, при толщине фрезы, мм	Размер, мм	Твердость HRC
		Наименование	Фрезы пазовые	9Х5ВФ Х6ВФ	Марка стали	диаметр 120—180 ширина 4—20			
№ операции	Наименование операции	Оборудование		Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроль	Выдержка, мин, при толщине фрезы, мм		
1	Подогрев	Шахтная печь		800—850	Подвеска	—	4	8	10—15
	Окончательный нагрев	Печь-ванна соляная		980—1020 (9Х5ВФ) 990—1010 (Х6ВФ)		—	0,8	1,0	2—3
3а		Печь-ванна соляная		200—280		Ступенчатая закалка, соль затем воздух	3	4	5—6
3б	Охлаждение	Масляная ванна		20—60	При В 20 мм	До полного охлаждения			
4	Технологический контроль	Прибор Роквелла и др.		—	Столик	2—3 шт. от партии	—	—	—
5	Промывка	Моечная машина		70—90	Корзинка, полвеска	10 % содовый раствор	—	—	—
6	Отпуск	Шахтная печь		250—280	—	—	1—2 ч	1—2 ч	1—2 ч
7	Очистка	Гидроструйная камера		—		—	—	—	—
8	Контроль	Прибор Роквелла и др.		—	Столик	—	—	—	—

# Технологическая карта № 8 термообработки фрез пазовых

См рис. к технологической карте № 7							Размеры, мм		Твердость HRC	
				Марка стали		диаметр	ширина			
				Наименование		Фрезы пазовые		XBG 9XC		XBG—59—60 9XC—60—62
						120—180		4—20		
						XBG 9XC				
						Фрезы пазовые				
№ операции	Наименование операции	Оборудование	Температура, °C	Приспособление	Условие обработки и контроль	Выдержка, мин. при толщине фрезы, мм				
						4—6	8—12	16—20		
1	Закалка	Подогрев	600—650	Подвеска	При В свыше 20 мм	Не производится				
2	Окончательный нагрев	Шахтная печь	830—850 (XBG) 860—880 (9XC)		—	3,6		7,0 9—11		
3а	Охлаждение	Печь-ванна тигельная	150—180		Соль, затем воздух	3		4 5—6		
3б		Масляная ванна	20—70		При В свыше 20 мм	До полного охлаждения				
4	Технологический контроль	Прибор Роквелла и др.	—	Столик	2—3 шт. от партии HRC ≥ 61	—				
5	Промывка	Моечная машина	70—90	Корзинка, подвеска	10%-ный содовый р-р	—				
6	Отпуск	Шахтная печь	200—220	—	100%	90		90 110		
7	Очистка	Гидроструйная камера	—			—		—		
8	Окончательный	Прибор Роквелла и др.	—	Столик	100%	—		—		

# Технологическая карта № 9 термообработки спиральных сверл

		Наименование	Марка стали	Размеры, мм		Твердость HRC		
				диаметр	длина			
		Сверла спиральные	9ХС	от 3 до 25	—	Рабочая часть 61—64 Хвостовая часть 30—40		
№ операции	Наименование операции	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроля		Выдержка, мин	
					$D=3-6$ мм	$D=6-12$ мм	$D=20-25$ мм	
1	Улучшение хвостовой части	—	—	Подвеска, клещи	См. карту	—	—	
2	Закалка Подогрев	Соляная ванна или шахтная печь	600—650		Подогрев при $D>40$ мм	Нет	Нет	
3	Окончательный нагрев	Соляная ванна	850—870		Ванна раскисляется тщательно	3	3,5	
	Охлаждение	Соляная ванна В-30	150—180		Соль, затем воздух	—	—	
		Масляная ванна	20—70		При $D>40$ мм	—	—	

## Продолжение

№ операции	Наименование операции	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроля	Выдержка, мин		
						$D=3-6$ мм	$D=6-12$ мм	$D=20 \div 25$ мм
4	Технологический контроль	Прибор Роквелла и др.		Столик	2—3 шт. от партии	—	—	—
5	Промывка	Моечная машина	70—90	Корзинка, подвеска	10 %-ный со- довый р-р	—	—	—
6	Отпуск	Соляная или мас- ляная ванна	180—210	—	Расплав солей или масло	90	90	90
7	Очистка	Гидроструйная камера	—	—	—	—	—	—
8	Контроль и правка	Пресс	<220	Столик	Местный подогрев	—	—	—
9	Контроль	Центры, инди- катор и др.	—	—	100 %	—	—	—

# Технологическая карта № 10 термообработки спиральных сверл

См. рис. к технологической карте № 9

№ операции	Наименование операций	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроля	Размер, мм		Твердость НРС
						диаметр	длина	
					от 3 до 25	—	—	рабочая часть 62—65 Хвостовая часть 30—40
№ операции	Наименование операций	Оборудование	Температура, °С	Приспособление	Условие обработки и контроля	Выдержка, мин		
						$D=3-6$ мм	$D=6-12$ мм	
1	Закалка	Соляная ванна (электродная, газовая или нефтяная)	800—850	Подвеска, клещи	Расплав солей	3	4	8
2		Соляная ванна	1250—1270		Расплав солей	0,6	0,8	1,5
3		Соляная ванна	500—550		В ванне (500—550), а затем на воздухе			
4	Технологический контроль	Прибор Роквелла и др.—2—3 шт. от партии	—	Столик	—	—	—	—
5		Отпуск	530—550	Корзинка, подвеска	Расплав соли	45	45	45
6	Промывка	Моечная машина	70—90		10%-ный со- довый р-р	—	—	—
7	Улучшение хвостовой части	—	—	—	См. карту	—	—	—
8	Очистка	Гидроструйная камера	—	—	100%	—	—	—
9	Контроль и правка	Прибор Роквелла и др. Пресс	Местный подогрев	Бление $\leq 0,15$ мм	—	—	—	—
10	Контроль	Центры, индикатор и др.	—	—	100%	—	—	—

## ЛИТЕРАТУРА

- Ассонов А. Д. Практика термической обработки. ГОСИНТИ, 1962.  
Инструментальные стали (справочник). М., Машгиз, 1961.  
Термическая обработка металлорежущего инструмента (руководящие материалы. Вып. I), 1965.  
Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., Metallurgizdat, 1961.  
Головин Г. Ф., Замятин М. М. Высокочастотная термическая обработка. М., Машгиз, 1959.  
Грубе А. Э. Дереворежущий инструмент М—Л, Гослесбумиздат, 1958.  
Демьяновский К. И. Износостойкость инструмента для фрезерования древесины. М., «Лесная промышленность», 1968.  
Демьяновский К. И. Исследование прочности режущей части дереворежущего инструмента. «Лесной журнал», 1970, № 3.  
Каменичный И. С. Практика термической обработки инструмента. М., Машгиз, 1952.  
Кидин И. Н. Технологические особенности термической обработки стали с применением индукционного нагрева. М., Машгиз, 1959.  
Лактин Ю. М. Металловедение и термическая обработка. М., Metallurgizdat, 1964.  
Металловедение и термическая обработка. Справочник. М., Metallurgizdat, 1962.  
Новиков И. И., Захаров М. В. Термическая обработка металлов и сплавов. М., Metallurgizdat, 1962.  
Самоходский А. И. Технология термической обработки металлов. М., Машгиз, 1962.  
Справочник по машиностроительным материалам. Т. I. М., Машгиз, 1959.  
Судаков П. М. Приборы и измерения при высокочастотном нагреве. М., Машгиз, 1957.  
Терентьев Ю. Я., Громыко Л. Г. Оборудование и аппаратура для контактной сварки. М., Профтехиздат, 1962.  
Фогель А. А. Промышленное применение токов высокой частоты. М., Машгиз, 1957.



## СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения о термической обработке	3
Превращения в стали при нагревании	4
Превращения аустенита при непрерывном охлаждении	5
Превращения аустенита при постоянной температуре	8
Основные виды термической обработки стали	10
Материал для дереворежущих инструментов	11
Марки сталей, их свойства и назначение	11
Краткая характеристика сталей, применяющихся для изготовления дереворежущих инструментов, и их термическая обработка	11
Требования к инструментальным сталям и контроль качества в состоянии поставки	23
Рекомендации по ковке, отжигу и улучшению инструментальных сталей	27
Термическая обработка инструмента для получения оптимальных технологических параметров	30
Режимы термообработки дереворежущего инструмента	30
Основное оборудование для термической обработки инструмента	31
Продолжительность нагревания инструмента при закалке	39
Охлаждение при закалке инструмента и охлаждающие среды	43
Способы закалки	45
Очистка инструмента после термической обработки	48
Контроль качества термической обработки инструмента	50
Техника безопасности при термической обработке	52
Повышение износостойкости зубьев рамных пил термической и термо-механической обработкой	54
Электроконтактная закалка зубьев пил	55
Усилие прижима электрода к зубу	56
Технология и температура нагрева зуба	57
Температура и размеры нагреваемой зоны	59
Отпуск закаленных зубьев	62
Подготовка зубьев пилы для очередного плющения	66
Подготовка и испытание опытных пил в условиях производства	68
Рекомендации по технологии подготовки рамных пил с закаленными зубьями	71
Оборудование для контактного нагрева зубьев	73
Повышение износостойкости рамных пил путем закалки зубьев в ТВЧ	75
Индукторы	79
Индуктор для нагрева зубьев рамных пил	81
Режим закалки зубьев в ТВЧ	83
Контроль температуры при высокочастотном нагреве металлических изделий	85
Техника безопасности при работе на высокочастотных установках	87
Термомеханическая обработка зубьев рамных пил	88

#### **ПОПРАВКА**

Упомянутые в книге ГОСТ 5952—51, 5950—51, 1435—42, 7566—55, 1763—42 заменены новыми государственными стандартами — соответственно 5952—63<sup>1</sup>, 5950—63, 1435—54\*, 7566—69, 1763—68

Звездочкой отмечены номера стандартов, к которым принято изменение

ЦЕНА 35к

**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«ЛЕСНАЯ  
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»**