

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королёва

В.В.Уваров, Е.А.Носова

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ
ШТАМПОВКИ

под общей редакцией Гречникова Ф.В.

Самара 2003

Министерство образования Российской Федерации
Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королёва

В.В.Уваров, Е.А.Носова

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ

Учебное пособие
под общей редакцией Гречникова Ф.В.

Самара 2003

УДК 669.017

Уваров В.В., Носова Е.А. Структура и свойства листовых сталей для холодной штамповки: Учебное пособие/Под общ.ред.Гречникова Ф.В.- Самар.гос.аэрокосм.ун-т. Самара, 2003. 74 с.
ISBN

Приведена информация по структуре, механическим и технологическим свойствам широко распространённых в холодной штамповке листовых сталей. Рассмотрена взаимосвязь операций листовой штамповки со структурой и свойствами материала. Изложены основные принципы выбора стали для холодной штамповки. Даны конкретные сведения по механическим и технологическим свойствам углеродистых сталей.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 11.06.00 – «Инженер-металлург по обработке металлов давлением» и 12.04.00 – «Машины и технология обработки металлов давлением» при выполнении курсовых и дипломных проектов. Может быть полезно студентам машиностроительных специальностей. Разработано на кафедре «Технология металлов и авиаматериаловедение».

Таблиц - 43, иллюстраций - 40, библиографический список -34 названия.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королёва.

Рецензенты: доктор физико-математических наук, профессор Амосов А.П.
кандидат технических наук, доцент Лосев М.Г.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ

E	-нормальный модуль упругости,
σ_T	-физический предел текучести при растяжении,
$\sigma_{0,2}$	- условный предел текучести,
σ_B	- временное сопротивление (предел прочности) при растяжении,
δ, δ_5	- полное относительное удлинение длинного (10-ти кратного) и короткого (5-ти кратного) образца при растяжении по ГОСТ 1497-88,
δ_4, δ_8	- полное относительное удлинение 4-х кратного и 8-ми кратного образца при растяжении по ГОСТ 11701-88,
δ_p	- величина равномерного удлинения,
ψ	- полное относительное сужение образца при растяжении,
$\psi_{ш}$	- величина равномерного сужения,
HB	твёрдость по Бринеллю,
HRC, HRA	- твёрдость по Роквеллу при внедрении алмазного конуса,
HRB	- твёрдость по Роквеллу при внедрении стального шарика,
HV	- твёрдость по Виккерсу,
KCU, KCV, KCT	-ударная вязкость при различных концентраторах напряжений на образцах,
h_{max}	- глубина при испытании на выдавливание сферической лунки в момент образования трещины,
$k_{пр}$	- предельная степень вытяжки при технологическом испытании на глубокую вытяжку
r_{min}	- минимальный допустимый радиус гибки,
r_{min}/S_0	- относительный минимальный допустимый радиус гибки,
$\sigma_i \approx \sigma_s^*$	- интенсивность напряжений, равная пределу текучести упрочняемого деформацией металла,
$\sigma_i = f(\epsilon_i)$	- кривая упрочнения металла,
μ_{ij}	- показатель анизотропии (коэффициент поперечной деформации),
r_0, r_{90}, r_{45}	- плоскостные показатели анизотропии при испытании листов вдоль, поперёк проката и под углом 45° к направлению проката,
n	- показатель деформационного упрочнения,
$\Delta\alpha$	- угол пружинения при гибке

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЁННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ МАРКИРОВКЕ СТАЛЕЙ

Наименование компонентов	Химический знак	Принятые условные обозначения			
Азот	N	А	Молибден	Mo	М
Алюминий	Al	Ю	Никель	Ni	Н
Бор	B	Р	Ниобий	Nb	Б
Ванадий	V	Ф	Свинец	Pb	С
Вольфрам	W	В	Титан	Ti	Е
Кремний	Si	С	Углерод	C	У
Кобальт	Co	К	Хром	Cr	Х
Марганец	Mn	Г	Цирконий	Zr	Ц
Медь	Cu	Д			

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Взаимосвязь операций листовой штамповки со структурой, механическими и технологическими свойствами штампуемого материала..	8
Глава 2. Основные принципы выбора листовой стали для холодной штамповки.....	14
Глава 3. Стали, их маркировка и назначение в холодноштамповочном производстве деталей	15
3.1. Углеродистые стали.....	15
3.2. Легированные стали.....	16
Глава 4. Химический состав сталей.....	26
Глава 5. Структура сталей и её влияние на штампуемость.....	31
Глава 6. Сортамент и основные технические требования к листовым стальным материалам.....	36
Глава 7. Основные физические свойства сталей	38
Глава 8. Основные механические свойства листовых сталей.....	39
Глава 9. Технологические показатели листовых сталей для холодной штамповки.....	47
Глава 10. Упрочнение сталей при холодном деформировании	53
Глава 11. Типичные механические и технологические свойства стальных листовых полуфабрикатов.....	59
Глава 12. Термическая обработка листовых сталей и штампованных полуфабрикатов.....	60
12.1. Цели и виды термообработки.....	60
12.2. Термообработка поставляемых листовых сталей.....	60
12.3. Термическая обработка листового проката из углеродистой листовой стали.....	61
12.4. Термическая обработка листового проката из легированных сталей.....	63
Глава 13. Анизотропия листовых сталей.....	67
Библиографический список.....	68
Приложение.....	70

ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач современного машиностроения является повышение надёжности и долговечности изделий при одновременном уменьшении их массы и стоимости.

На стадии проектирования эта задача решается за счёт разработки рациональной конструкции деталей, исключаяющей в них неблагоприятное сочетание нагрузок и деформаций и правильного выбора материала с повышенными эксплуатационными характеристиками.

На стадии создания изделия основным является применение технологий изготовления, обеспечивающих полное использование природных свойств материала.

Несмотря на внедрение в последние годы множества принципиально новых материалов с повышенными отдельными механическими или физико-механическими свойствами, основная масса деталей машин, в том числе и наиболее ответственных, продолжают изготавливаться из металлов и сплавов.

Металлы и сплавы обладают уникальным сочетанием механических свойств. Наряду с высокой прочностью и жёсткостью, обеспечивающими требуемую несущую способность детали, они имеют повышенную пластичность. Эта особенность обеспечивает им ряд технологических преимуществ, в частности, возможность изготавливать детали методом пластической деформации, а также повышенную надёжность металлических изделий при ударном нагружении или наличии трещин.

Одним из наиболее распространённых материалов в современном машиностроении является листовая сталь. Достижения в области производства стального листа, рулонов и лент, прокатного производства, получение высокой взаимозаменяемости деталей машин, а также сравнительно низкие цены этой продукции способствовали широкому её применению.

Например, значительное количество деталей автомобилей, особенно легковых, изготавливается из листовой стали, позволяющей при высокой производительности получать детали достаточной точности, что особенно важно при сборке машин на конвейере.

К числу наиболее прогрессивных методов пластического формоизменения стальных материалов относится листовая штамповка. Она представляет собой процесс изготовления самых разнообразных по назначению, форме и размерам деталей из листовой заготовки в холодном или нагретом состоянии.

Уровень обоснования технологических и конструкторских решений во многом зависит от умения анализировать структуру, свойства и качество материалов, применяемых в процессах листовой штамповки и наиболее полно использовать возможности данного материала при создании оптимального варианта техпроцесса изготовления деталей. В качестве исходного материала в цехах холодной штамповки используют металлопрокат в виде листов, лент, полос, прутков и различных фасонных профилей. При этом значительную часть металла (до 90%) составляет листовой и ленточный прокат, который

обрабатывается методами штамповки, позволяющими получать разнообразные по форме и точные по размерам изделия при значительной экономии металла.

Существует большое число методов штамповки, которые классифицируют по следующим признакам:

- 1) форма детали;
- 2) напряжённое состояние процесса формоизменения (простое или сложное, растяжение, сжатие, сдвиг);
- 3) скоростные или температурные условия формоизменения;
- 4) размеры области деформации (локальная, фронтальная или объёмная);
- 5) последовательность технологических циклов;
- 6) применяемое оборудование.

В зависимости от толщины исходного металла различают заготовки толсто- и тонколистовые. Они могут быть плоской и пространственной формы.

По геометрической форме готовые детали, получаемые методами листовой штамповки, делят на три группы: 1) осесимметричной; 2) коробчатой; 3) сложной несимметричной формы.

Каждая из групп подразделяется на несколько разновидностей. Например, тела вращения в зависимости от формы образующей могут быть цилиндрическими, коническими, криволинейными и т.д.

В зависимости от среды, применяемой в качестве пуансона или матрицы, процессы штамповки различают по способам формоизменения:

- 1) жёстким пуансоном по жёсткой матрице (усилия на заготовку передаются непосредственно инструментом, выполненным из материалов повышенной твёрдости и жёсткости);
- 2) эластичным пуансоном по жёсткой матрице (деформирующие усилия передаются на заготовку со стороны пуансона эластичной средой, например газом, жидкостью или резиной);
- 3) жёстким пуансоном по эластичной матрице (усилия передаются со стороны матрицы газом, жидкостью или резиной);
- 4) эластичным пуансоном по эластичной матрице.

По технологическому признаку, связанному с особенностями напряжённо-деформированного состояния, способы формоизменения подразделяются на глубокую вытяжку, формовку, отбортовку, обжим, раздачу и др.

К числу сложных процессов формоизменения относится штамповка деталей таких форм, в которую как элементы входят перечисленные выше операции гибки, вытяжки, формовки.

Одна из задач, возникающих при исследовании процесса формоизменения деталей сложной формы, заключается в выяснении характера напряжённого и кинематического состояний, возникающих на каждом переходе сложного формоизменения.

При изготовлении деталей сложной формы механические свойства листового металла следует выбирать такими, чтобы обеспечить формообразование детали без брака. Поскольку нарушения процесса (волнистость, сосредоточенные деформации и д.т.) носят локальный характер,

выбор механических свойств тесно связан с исследованием устойчивости процессов деформации, т.е. с определением критических деформаций, при которых формообразование получается без указанных дефектов. Эта проблема, имеющая большое значение для производства и оценки штампуемости, интересна также с точки зрения влияния на критические деформации различных факторов, в частности, упрочнения и анизотропии тонколистовой стали.

ГЛАВА 1. ВЗАИМОСВЯЗЬ ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ СО СТРУКТУРОЙ, МЕХАНИЧЕСКИМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ШТАМПУЕМОГО МАТЕРИАЛА

Расчёты и проектирование технологических процессов холодной штамповки напрямую связаны со знанием комплекса механических и технологических свойств штампуемого материала. В зависимости от применяемой технологической операции штамповки те или иные механические и технологические свойства приобретают наибольшую значимость.

При **разделительных операциях** (табл.1) металлы с более высоким пределом текучести σ_T или $\sigma_{0,2}$ и пониженной пластичностью δ и ψ дают более чистый срез. При этом с увеличением прочности материала и уменьшением его пластичности сопротивление вырезке увеличивается. Глубина вдавливания пуансона в металл при вырезке до образования скалывающих трещин может быть отнесена к показателям пластичности и служить характеристикой механических (технологических) свойств материала.

Следует отметить, что при одних и тех же механических свойствах материала с увеличением его толщины S сопротивление вырезке уменьшается. Это объясняется тем, что при вырезке толстого материала создаются более благоприятные условия для образования сдвигов, чем при вырезке более тонкого материала. Кроме того, тонкий листовой материал более чувствителен к воздействию режущих кромок пуансона и матрицы, вследствие чего наблюдается более сильное упрочнение (наклёп), чем у толстого материала.

Большую роль при разделительных операциях играет и степень предварительной нагартровки исходного листового металла. Она оказывает влияние как на сопротивление срезу, так и на качество среза.

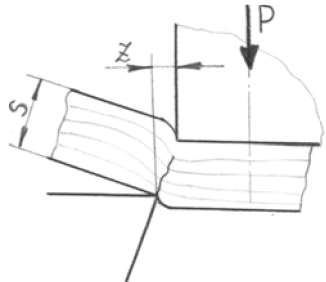
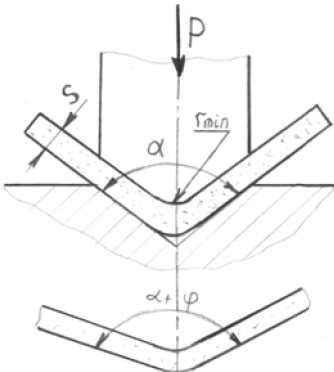
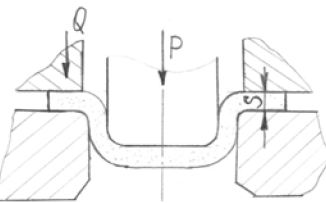
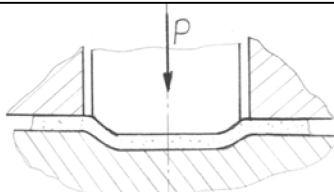
Величина зазора z оказывает также существенное влияние на силовые параметры процесса резки и форму поверхности среза. Оптимальная величина z зависящая от свойств материала и его толщины, обеспечивает такой процесс резки, при котором трещины, идущие от пуансона и матрицы, сходятся. Таким образом, при расчётах и проектировании разделительных операций необходимо знание следующих механических и технологических свойств:

- прочностные характеристики: σ_B , $\sigma_{0,2}$ (σ_T), $\sigma_{ср}$, HB (HRB);
- пластичность металла: δ , ψ , $\frac{h_n}{S} \cdot 100\%$;
- степень наклёпа исходного материала: ε_H ;
- величина зазора z .

В отдельных случаях, когда возникает опасность появления трещин при вырубке из высокоуглеродистых сталей и сплавов в холодном состоянии или когда велико потребное усилие, разделительные операции производят в горячем состоянии. При таких вариантах следует использовать данные о механических свойствах при нагреве соответствующей марки материала до рекомендуемого температурного интервала. Изделия из этих материалов после вырубки или пробивки с нагревом необходимо подвергать термообработке для

снятия внутренних напряжений и рекристаллизации, и соответственно, назначать оптимальные режимы этой операции.

Таблица 1

Основные процессы холодной штамповки	Схема процесса холодной штамповки	Необходимые свойства для технологических расчётов		
		Механические свойства		Дополнительные технологические показатели процесса
		Прочностные характеристики	Характеристик и пластичности	
Вырубка (пробивка)		$\sigma_{ср}, \sigma_{в},$ HB (HRB)	$\delta_{5(10)}, \psi,$ ε_n - степень нагартовки	z- величина зазора, $h_{п}/S$ – относительная величина вдавливания пуансона до образования скалывающей трещины
Гибка		$\sigma_{в}, \sigma_{0,2}, E$	$\delta_{5(10)}, \psi$	r_{min}/S , расположение линии сгиба относительно направления проката
		Кривые упрочнения $\sigma_s^* = f(\varepsilon_i)$		
Вытяжка		$\sigma_{в}, \sigma_{0,2},$ $(\sigma_{в}/\sigma_{0,2}),$ HB (HRB)	$\delta_{5(10)}, \delta_p, \psi$	$h_{max}, k_{пр} = D_{max}/d_{изд}$
Формовка		$\sigma_{в}, \sigma_{0,2},$	$\delta_{5(10)}, \delta_p, \psi$	$h_{max}, k_{ф}$

Гибка (табл.1) представляет собой процесс упругопластической деформации, протекающей различно с обеих сторон изгибаемой заготовки. Слои металла, расположенные ближе к внутренней поверхности изгибаемого участка, испытывают сжатие, а слои, расположенные у внешней поверхности, - растяжение. Напряжение растяжения будет тем больше, чем меньше радиус гибки при той же толщине материала. Напряжение во внешних слоях при

малом радиусе гибки бывает настолько большим, что может вызвать трещины и разрывы в деталях.

В связи с эти величину минимально допустимого относительного радиуса гибки r_{min}/S выбирают, прежде всего, исходя из механических свойств деформируемого металла. Чем ниже предел текучести σ_s (σ_T) и выше относительное удлинение δ и сужение ψ изгибаемого материала, тем меньше может быть радиус гибки.

Следует отметить, что нужно учитывать и расположение линии сгиба относительно волокон проката. При линии сгиба поперёк волокон проката минимальные радиусы гибки для подавляющего числа материалов имеют меньшие значения, чем при линии сгиба вдоль волокон проката.

По окончании гибки упругая деформация устраняется, вследствие чего происходит изменение размеров изделия и по сравнению с размерами, заданными инструментом (упругое прижатие). Величина пружинения зависит от многих факторов и, в первую очередь, от механических свойств штампуемого материала. Обычно пружинение определяется отношением предела текучести материала к модулю его упругости $\frac{\sigma_T}{E}$. Чем выше это отношение, тем большее пружинение возникает при гибке данного материала. Силовые параметры процесса (усилие, момент гибки) зависят главным образом от величины предела прочности.

Следует учитывать, что механические свойства в зоне гибки изменяются за счёт наклёпа материала. Поэтому для оценки степени изменения свойств привлекают кривые упрочнения данной марки материала.

С целью выявления пригодности листового материала для гибочных работ применяют так же технологические испытания (пробы). Задача этих проб – оценить пластичность материалов, подвергаемых гибке в конкретных заводских условиях. ГОСТ 14019-80 «Методы испытаний на изгиб» предусматривает изгиб плоских образцов из проката, помещаемых на две опоры, пуансоном определённой толщины или до соприкосновения сторон. Критерием годности материала может быть:

- а) заданный угол изгиба образцов β ;
- б) появление первой трещины после загиба на угол β , равный или больший заданного;
- в) возможность загиба пластины до параллельности или соприкосновения сторон.

Существуют также пробы на перегиб листа или ленты (ГОСТ 13813-68), в которых фиксируют заданное число перегибов n или количество перегибов, после которых появились трещины.

Вытяжка представляет собой процесс превращения плоской или полый заготовки в открытое сверху полое изделие, осуществляемый при помощи вытяжных штампов (табл.1). Исходя из формы и технологических особенностей листовой штамповки, полые детали, получаемые вытяжкой, можно разделить на несколько основных групп: 1) детали, имеющие форму тела вращения; 2) детали коробчатой формы; 3) детали сложной формы.

Применительно к тонкостенному цилиндру часть кольцевой заготовки $(D-d)$ втягивается в матрицу и превращается в цилиндр диаметром d и высотой h . Следовательно, вытяжка происходит за счёт пластической деформации, сопровождаемой смещением значительного объёма металла фланца в высоту изделия.

Наиболее опасным местом (с точки зрения отрыва дна) является зона перехода от дна к стенкам изделия, вследствие возникающего здесь значительного утонения материала и большой величины растягивающих напряжений.

Величина максимальной деформации фланца оценивается предельной степенью вытяжки $k_{пред} = \frac{D_{max}}{d}$ или обратной величиной – предельным коэффициентом вытяжки $m_{пред} = \frac{1}{k_{пред}}$.

Деформирование заготовок со степенями вытяжки, превышающими предельные значения, приводит к отрыву дна. Штамповка с недостаточной степенью вытяжки вызывает увеличение числа переходов и в итоге приводит к росту себестоимости изделий.

Главным фактором, определяющим рациональный процесс вытяжки, является анализ и оценка свойств штампуемого материала.

Важной характеристикой штампуемости или степени вытяжки листового материала является отношение σ_T/σ_B или $\sigma_{0,2}/\sigma_B$. Чем меньше величина отношения и чем больше разница между σ_T и σ_B , тем лучше поддаётся материал глубокой вытяжке. Наиболее благоприятной считается величина σ_T/σ_B , лежащая в пределах 0,55-0,60. В листовых металлах с низким отношением σ_T/σ_B деформация распределяется гораздо равномернее между слабо и сильно напряжёнными участками штамповки, а не сосредоточивается только в наиболее напряжённых её местах.

Полное относительное удлинение δ_5 или δ_{10} , а также равномерное удлинение δ_r являются непосредственными характеристиками металла при штамповке. Чем больше удлинение листового металла, тем лучше его штампуемость. Аналогичную роль играет и величина сужения листового материала, выявляемая при его испытании на растяжение.

Большое значение для оценки качества листового металла и его однородности, особенно для сталей, имеет определение её твёрдости по Роквеллу HRB. Твёрдость HRB, как и твёрдость по Бринеллю, даёт среднюю характеристику сопротивляемости материала значительным пластическим деформациям, но полной оценки штампуемости металла дать не может. Как правило [1], достаточно хорошо подвергается вытяжке листовая сталь с твёрдостью HRB, не превышающей 45, для более простых штампованных заготовок допускается твёрдость не выше HRB 55.

В процессе холодной штамповки – вытяжке происходит упрочнение деформируемого металла, которое характеризуется кривыми упрочнения. Они в области листовой штамповки также служат фактором оценки штампуемости. В

случае одноосного или двухосного растяжения однородная деформация при максимальной нагрузке перед локализацией будет тем значительнее, чем больше показатель деформационного упрочнения n . Он характеризует способность металлов к упрочнению в процессе пластической деформации. Его величина может быть определена из кривой упрочнения в виде аналитического выражения

$$n = \frac{\lg \sigma_{s2} - \lg \sigma_{s1}}{\lg \varepsilon_2 - \lg \varepsilon_1},$$

где $\sigma_{s2} > \sigma_{s1}$ – величины пределов текучести при деформациях $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$;

В ряде случаев показатель n принимают численно равным максимальному равномерному удлинению при испытании на растяжение

$$n = \varepsilon_p = \ln(1 + \delta_p)$$

Весьма распространённым простым и удобным испытанием для оценки штампуемости листового металла является проба на выдавливание сферической лунки (ГОСТ 10510-88). Мерой способности металла к вытяжке является глубина лунки h_{max} в момент появления трещины.

С целью приближения проб на выдавливание к производственным условиям и для лучшей характеристики способности листа к вытяжке используют и технологическое испытание на предельную степень вытяжки k_{np} .

Анизотропия механических свойств листового металла оказывает существенное влияние на процесс вытяжки и особенно на первой операции. Это влияние в зависимости от напряжённо-деформированного состояния, характера и величины анизотропии может способствовать процессу вытяжки или затруднять его. Анизотропия при вытяжке имеет многофакторное проявление:

- определяет разнотолщинность и фестонообразование;
- влияет на величину k_{np} и силовые параметры процесса.

Для оценки анизотропии наиболее часто используются технические деформационные показатели с общей структурой записи:

$$\text{Показатель} = F \frac{\text{Деформация одного направления листа}}{\text{Деформация в перпендикулярном направлении}}$$

Для листового материала распространение получили показатели R , r_a и μ_{ij} .

$$R = \frac{d\varepsilon_2}{d\varepsilon_3} \quad r = \frac{d\varepsilon_1}{d\varepsilon_2}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_0, R_{45}, R_{90} \\ r_0, r_{45}, r_{90} \\ R_x, R_{xy}, R_y \end{array} \right\},$$

где $d\varepsilon_1$, $d\varepsilon_2$ – приращения деформаций по длине и ширине образца, испытываемого на растяжение; $d\varepsilon_3$ – приращение деформации по толщине образца. r_0 (R_0 , R_x) – соответствуют испытаниям образцов, вырезанных вдоль проката r_{90} (R_{90} , R_y) – поперёк проката и т.д.

Коэффициенты поперечной деформации $\mu_{ij} = -\frac{d\varepsilon_i}{d\varepsilon_j}$,

где индекс i соответствует направлению поперечной деформации при растяжении образца вдоль направления j ; $i, j = 1, 2, 3$ ($i \neq j$); 1 - направление проката, 2- направление по ширине, 3- направление по толщине.

Показатели r и μ взаимосвязаны и могут быть пересчитаны друг в друга

$$r_0 = \frac{\mu_{21}}{1 - \mu_{21}}; \mu_{21} = \frac{r_0}{1 + r_0}; r_{90} = \frac{\mu_{12}}{1 - \mu_{12}} \text{ и т.д.}$$

Достаточно часто используют осреднённые показатели анизотропии в различных направлениях

$$r_{cp} = \frac{(r_0 + r_{45} + r_{90})}{3}; r_{cp} = \frac{(r_0 + 2r_{45} + r_{90})}{4}; \bar{\mu} = \frac{(\mu_{21} + 2\mu_{12})}{4}.$$

При оценке анизотропии свойств следует учитывать, что показатели $r > 1$ и μ_{21} и $\mu_{12} > 0,5$ повышают способность материала к вытяжным операциям, значения же $r < 1$ и μ_{21} и $\mu_{12} < 0,5$ ухудшают процесс вытяжки.

Следует также учитывать, что небольшая разница показателей в различных направлениях плоскости листа не вызывает существенного фестонобразования.

К группе формовочных работ относятся операции, изменяющие форму заготовки путём создания местных деформаций различного характера (табл.1): рельефная (фасонная) формовка; 2) отбортовка отверстий и наружного контура; 3) обжим и раздача. При выполнении большинства операций происходит местное изменение толщины материала. Так, при рельефной формовке происходит изменение формы заготовки, заключающейся в образовании местных углублений и выпуклостей за счёт растяжения металла, т.е. требуемая форма детали достигается за счёт его утонения.

При проведении формовочных работ напряжённое состояние характеризуется наличием растягивающих напряжений. В связи с этим возможность формовки без разрывов материала определяется практически теми же основными механическими свойствами металла, что и при вытяжке.

В частности, значительную роль играет σ_B , σ_T ($\sigma_{0,2}$), их отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$, величины полного относительного и равномерного удлинения $\delta_{5(10)}$ и δ_p и сужения ψ . Для оценки величины упрочнения и силовых параметров процесса используют кривые упрочнения $\sigma_s^* = f(\varepsilon_i)$. Допустимое формоизменение при локальной деформации во многом зависит от анизотропии металла. Наиболее предпочтительными будут листовые заготовки, показатели анизотропии свойств которых $\mu_{ij} < 0,5$ или $r_{0(90)} < 1$, но одинаковы в плоскости проката.

В ряде случаев для более точной оценки предельных возможностей процесса используют технологические испытания: на выдавливание сферической лунки (для операций рельефной формовки); на разбортовку отверстий (для операций отбортовки); раздачу трубных и цилиндрических заготовок и др.

ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ

При выборе листового материала, и в частности, тонколистовой стали для холодной штамповки различных машиностроительных деталей необходимо иметь в виду следующие основные факторы:

- является ли деталь наружной (лицевой), определяющей внешний вид и дизайн изделия или она является скрытой и выполняет чисто технические функции;
- какая степень деформации в формообразующих операциях применяется при её холодной штамповке;
- каково состояние поставки с точки зрения термической обработки листа поставщиком;
- какие требования предъявляются в отношении химического состава, макро- и микроструктуры при поставке штампуемого металла;
- каков уровень механических и технологических свойств и величина показателей анизотропии данного материала?

Обобщая выше отмеченное, следует сказать, что материал для листовой штамповки должен удовлетворять не только назначению и условиям работы штампованной детали, но и технологическим требованиям, вытекающим из характера производимой деформации.

Следует учесть, что на технологию холодной штамповки оказывает влияние качество поверхности листа, допуски его по толщине, направление проката листа, его раскрой, конструктивная форма штампов, точность их установки, число переходов при штамповке, межоперационная термообработка, скорость деформирования, применяемый смазочный материал, вид производства (массовый, серийный, мелкосерийный и единичный). При выборе материала необходимо учитывать последующую обработку и отделку (травление, полирование, нанесение антикоррозионных покрытий), а также пригодность для механических соединений (клёпка, сварка и др. виды соединений).

ГЛАВА 3. СТАЛИ, ИХ МАРКИРОВКА И НАЗНАЧЕНИЕ В ХОЛОДНОШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ

3.1. Углеродистые стали

Конструкционной углеродистой называется сталь, содержащая углерода до 0,65-0,80%. В большинстве случаев для холодной штамповки применяются низкоуглеродистые стали высокой пластичности и свариваемости с содержанием углерода от 0,05% до 0,4%. По качественным показателям конструкционная углеродистая сталь подразделяется на сталь обычного качества и сталь качественную.

Сталь обыкновенного качества маркируется буквами Ст и номером 0,1,2,3....6. Чем больше номер, тем больше содержание по массе в процентах углерода и тем выше прочность, но ниже пластичность. После марочного обозначения указывают степень раскисления стали: «кп»- кипящая, «пс» - полуспокойная, «сп» – спокойная сталь.

Стандартом ГОСТ 380-88 предусматривается поставка стали обычного качества трёх групп:

Группа А – с гарантируемыми механическими свойствами (сталь не подвергается горячей обработке), буква А в обозначении не указывается;

Группа Б – с гарантируемым химическим составом (сталь подвергается горячей обработке), сталь этой группы маркируют буквой Б;

Группа В – с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (для сварных конструкций). Сталь группы маркируется буквой В и цифрой (например, ВСт1).

Как правило, для целей холодной штамповки используют низкоуглеродистые, более пластичные марки сталей от Ст0 до Ст3.

Наибольшее же распространение при изготовлении самых разнообразных холодноштампованных деталей нашли качественные низкоуглеродистые стали, обладающие более высокой пластичностью и штампуемостью. Качественные углеродистые стали имеют меньше вредных примесей и неметаллических включений. Они поставляются по ГОСТ 1050-88 с гарантированным химическим составом и механическими свойствами.

В марке качественной стали двузначные числа показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буква Г означает повышенное содержание марганца, С – кремния, Ю- наличие алюминия, Т- наличие титана, а Ф- ванадия. По степени раскисления эти стали также подразделяют на кипящую – «кп», полуспокойную – «пс», и спокойную с индексом «сп» или без индекса.

Основные характерные области назначения листовых углеродистых сталей обыкновенного качества и качественных сталей приведены в табл.2.

Таблица 2

Назначение и общая характеристика деталей и узлов, изготавливаемых в холодноштамповочном производстве

Марка стали	Назначение
Ст1, Ст2	Для деталей неответственного назначения, высокой вязкости и низкой твёрдости, малонагруженных элементов сварных конструкций, изделия типа кожухов, обшивок.
Ст3, Ст4	Несущие элементы сварных и несварных конструкций, фасонные гнутые профили, ёмкости, не подвергающиеся воздействию коррозии, детали типа обечаек, кожухов, обшивок, изделия бытового назначения.
05кп, 08кп, 08, 08пс, 08Ю, 08Фкп, 10кп, 10, 10пс	<u>Без термической обработки</u> – шайбы, плоские детали в операциях вырубки-пробивки. Гнутые детали, панели капота и багажника, корпуса фильтров, крышки различной формы, двери, детали кабин, кузова, кожухи, детали бытовой техники с разной степенью вытяжки. <u>После цементации или цианирования</u> – коромысла, ушки, втулки тонкостенные и др. детали, от которых требуется высокая твёрдость поверхности и допускается невысокая прочность сердцевины при её повышенной вязкости.
15кп, 15пс, 15, 20кп, 18кп, 20, 20сп, 25, 30, 35, 40	<u>Без термической обработки и после нормализации</u> – диски колёс автотранспорта, различные тонкостенные втулки (стаканы), патрубки, бамперы, детали плоских рычагов, различные кронштейны, гнутые детали, корпуса аппаратов котлотурбостроения и химического машиностроения, малонагруженные звёздочки, регулировочные прокладки, косынки, сварные подмоторные рамы. <u>После цементации или цианирования</u> – детали, от которых требуется высокая твёрдость поверхности и допускается умеренная прочность и достаточная пластичность сердцевины.
08ГСЮТ, 08СЮФ, 10ЮА	Являются более прочными и заменяют сталь типа 08, 08кп, 08Ю, что позволяет снижать массу автотранспортного средства. Толщина деталей из стали 08ГСЮТ(Ф) на 10-15% меньше, чем из стали 08кп. Для многих деталей, в том числе для дисковых колёс (10ЮА); обода колеса, лонжеронов рамы, различных кузовных деталей. Поставляется в листах толщиной 0,7-2,5 мм.
18ЮТ	Для штампованных и несварных металлоконструкций, замкнутых сварных профилей и труб с малым радиусомгиба. Применяется в автостроении, сельхозмашиностроении, в том числе для лонжеронов. Обладает повышенным сопротивлением усталости. Поставляется в листах толщиной 2,5-8,0 мм.

3.2. Легированные стали

Углеродистые стали обладают рядом недостатков: небольшая прокаливаемость (до 12 мм); высокая критическая скорость закалки, которая требует закалки в воде и приводит к значительному короблению; низкие температуры отпуска во избежание падения прочности, что приводит к высокому уровню остаточных напряжений. Поэтому стали дополнительно легируют.

Стали, в которые для получения требуемых свойств специально вводят легирующие элементы, называют легированными сталями (их иногда называют специальными). Легирующие элементы, в первую очередь, увеличивают прокаливаемость и позволяют в наиболее полной степени использовать

положительное влияние термической обработки на механические свойства сталей.

Влияние легирующих элементов на механические свойства стали зависит от её структурного состояния, которое определяется термической обработкой.

Для закалённых на мартенсит сталей легирующие элементы влияют на механические свойства косвенно, увеличивая или уменьшая концентрацию углерода в мартенсите. Карбидообразующие элементы (Cr, Mo, W, V) увеличивают прочность связи атомов углерода с атомами твёрдого раствора, снижают подвижность атомов углерода, способствуют увеличению его концентрации в мартенсите, т.е. упрочнению. Некарбидообразующие элементы (Ni, Si, Cu, Co), наоборот, увеличивают термодинамическую активность атомов углерода, снижая тем самым концентрацию углерода в твёрдом растворе.

Для отожжённых сталей или сталей после закалки и высокого отпуска, легирующие элементы, растворяясь в феррите, упрочняют его. Упрочнение растёт по мере увеличения концентрации растворённого легирующего элемента и различия в атомных радиусах железа и этого элемента.. Наиболее сильно повышают твёрдость медленно охлаждённого феррита Si, Mn, Ni, т.е. элементы, имеющие отличную от α -железа кристаллическую решётку. Слабее влияют Mo, V, Co, решётки которых изоморфны Fe_{α} .

Большинство легирующих элементов измельчает зерно, что способствует повышению работы развития трещины и снижению порога хладноломкости.

При одинаковом размере зерна легирующие элементы оказывают индивидуальное влияние на температуру перехода в хрупкое состояние и работу развития трещины. Наиболее сильно понижает порог хладноломкости и увеличивает сопротивление развитию трещины никель. Такое благоприятное воздействие обусловлено тем, что никель, снижая энергию взаимодействия дислокаций с атомами внедрения, облегчает их подвижность. Остальные элементы, за исключением небольших добавок хрома, марганца и молибдена, повышают порог хладноломкости. Таким образом, для обеспечения высокой конструкционной прочности количество легирующих элементов в стали должно быть рациональным.

Кроме того, у легирующих элементов следует различать являются ли они карбид-, аустенит- или феррит- образующими и с какой целью они применяются. Каждый элемент придает стали в зависимости от количества (доли) определенные специфические качества. При наличии нескольких элементов можно увеличивать эффект (воздействие этих элементов). Однако имеются варианты сплавов, где некоторые элементы не оказывают своего влияния в ожидаемом направлении; более того, в отдельных случаях их присутствие оказывает противоположное воздействие. Наличие легирующих элементов в стали является предпосылкой (условием) для достижения желательных качеств; только переработка и тепловая обработка позволяют достигнуть цели. Ниже приводятся основные сведения о легирующих элементах и их влиянии на свойства и структуру сталей.

Алюминий Al Точка плавления 658°C

Это очень сильный, часто применяемый восстановитель (раскис-литель) и кроме того денитратор; он оказывает весьма благоприятное действие на сопротивление старению. При добавлении в небольших количествах способствует образованию мелкозернистой структуры. Al образует с азотом нитриды высокой твердости, он является основным легирующим элементом в азотированных сталях. Al увеличивает окалиностойкость и поэтому его часто присаживают к ферритным жаростойким сталям. У нелегированных углеродистых сталей можно путем салтирования — введения Al в поверхностный слой-увеличивать окалиностойкость. А) очень сильно сужает область — γ . Al является легирующим элементом в железо-никель-кобальт-алюминиевых сплавах постоянных магнитов.

Мышьяк As Точка плавления 817°

Мышьяк изолирует область - γ и является нежелательным элементом для сталей, вызывая ликвацию материала так же как и фосфор. Устранение этого явления диффузионным сдвигом еще более трудная проблема, чем при наличии фосфора. Кроме того, мышьяк повышает отпускную хрупкость, очень сильно снижает вязкость и препятствует сварке.

Бор В Точка плавления 2300°C

Бор обладает нейтронной абсорбцией. Применяется в качестве легирующего элемента для стальных экранирующих конструкций атомно-ядерных установок. У аустенитных 18/8 CrNi сталей с помощью бора повышают пределы текучести и прочности, но при этом снижается их коррозионная стойкость. Бор улучшает прочностные свойства жаропрочных аустенитных сталей в зоне высоких температур. Присутствие бора в конструкционных сталях способствует увеличению их прочности. Свариваемость боролегированных сталей понижена.

Бериллий Be Точка плавления 1280°C

Из Cu-Be сплавов изготавливают пружины для часов. Пружины слабо намагничиваются и выдерживают большее число циклов нагружения, чем стальные. Ni-Be сплавы очень тверды и коррозионностойки; применяются при изготовлении хирургических инструментов. Присадки бериллия снижают вязкость сплавов, являются сильными раскислителями, подобно сере.

Углерод (для графита) C Точка плавления 3540°C

Углерод является важнейшим элементом стальных сплавов; каждая нелегированная сталь содержит наряду с углеродом кремний, марганец, фосфор и серу, которые поступают в сталь при ее изготовлении из сырья. Добавка других легирующих элементов для достижения специальных свойств сталей, а также сознательное увеличение содержания марганца и кремния, ведет к получению легированных сталей. С увеличением содержания -C увеличиваются прочность и твердость стали, но ее растяжение, ковкость, свариваемость и

обрабатываемость снижаются. На углерод практически не оказывают коррозионного воздействия кислоты и горячие газы.

Кальций Ca Точка плавления 850°C

Для раскисления используется совместно с Si, повышает окалиностойкость материалов тепловых устройств.

Церий Ce Точка плавления 775°C

Сильный раскислитель, способствует обессериванию; обычно используется вместе с лантаном, неодимом, празеодимом и другими редкоземельными элементами. В высоколегированных сталях благоприятствует горячей деформации и повышает в жаростойких сталях окалиностойкость. Fe-Ce - сплавы с содержанием ~70%Ce являются пирофорными (самовоспламеняющимися) и используются в системах зажигания. Ce является добавкой к чугунам с шаровидным графитом.

Кобальт Co Точка плавления 1492°C

Co не образует карбидов; он тормозит рост зерен при высоких температурах, - повышает устойчивость против отпуска и значительно повышает теплоустойчивость. Поэтому кобальтом легируются быстрорежущие стали, стали, подвергающиеся горячей обработке, теплоустойчивые и высокожаропрочные материалы. Благоприятствует образованию графита, значительно увеличивает остаточную намагниченность и теплопроводность. Поэтому кобальт служит базой для легирования высокоценных сталей для магнитных цепей и сплавов. При нейтронном облучении образует сильно радиоактивный изотоп ^{60}Co , в связи с этим Co в сталях для атомных реакторов нежелателен.

Хром Cr Точка плавления 1920°C

Cr делает сталь масло-воздухостойкой. В результате снижения критической скорости охлаждения, необходимой для образования мартенсита, он увеличивает закаливаемость и улучшает таким образом сталь — так называемая улучшенная сталь (закаленная с последующим отпуском). Однако, при этом уменьшается ударная вязкость, но относительное удлинение снижается очень мало. С увеличением содержания Cr у чистых хромистых сталей ухудшается свариваемость. Предел прочности при растяжении стали увеличивается на 80-100 н/мм на 1 % Cr. Cr является карбидообразователем. Его карбиды способствуют сохранению режущих свойств стали и ее изнosoустойчивости. Хром благоприятствует теплостойкости и стойкости стали к водородной хрупкости. В то время как с увеличением содержания Cr увеличивается окалиностойкость, для коррозионной стойкости сталей необходимо минимальное содержание хрома 13%, который должен быть растворен в основной массе. Хром расширяет ферритную зону, однако стабилизирует аустенит в аустенитных Cr-Mn или Cr-Ni сталях. Снижаются теплопроводность, электропроводность и тепловое расширение (сплавы для

выплавки стекла). При одновременном повышении содержания углерода и хрома до 3% увеличивается остаточная намагничиваемость.

Медь Си Точка плавления 1084°C

Си добавляют в сплавы только при получении некоторых видов сталей, поскольку медь накапливается под слоем окалины. В результате ее проникновения к границам зерен, сплавы меди обладают повышенной чувствительностью поверхности к горячей деформации, поэтому медь рассматривают как нежелательный элемент для сталей. Предел текучести и соотношение пределов текучести и прочности увеличиваются. Содержание меди свыше 0,30% может способствовать повышению твердости. Улучшается закаливаемость. Медь не влияет на свариваемость. Си значительно повышает устойчивость к погодным условиям нелегированных и слаболегированных сталей. Содержание Си свыше 1% в кислотостойких высоколегированных сталях повышает устойчивость к соляной и серной кислотам.

Водород Н Точка плавления -262°C

Водород является вредным элементом для сталей и вызывает их охрупчивание. Атомарный водород, образующийся при травлении, вытесняется в сталь, образуя пузырьки. Растворенный в стали водород является причиной образования флокенов.

Магний Mg Точка плавления 657°C

Mg благоприятствует образованию шаровидного графита.

Марганец Mn Точка плавления 1221°C

Mn - раскислитель. Он связывает серу в виде Mn-сульфида и снижает таким образом неблагоприятное влияние сульфида железа. Особое значение имеет это явление у автоматных сталей, т.к. уменьшается опасность красноломкости. Mn значительно снижает критическую скорость охлаждения и увеличивает таким образом закаливаемость. Предел текучести, а также прочность, увеличиваются в результате добавления Mn; далее, Mn благоприятно влияет на ковкость и свариваемость, увеличивает глубину прокаливания. Увеличение содержания марганца в стали свыше 4% приводит к образованию хрупкой мартенситной структуры при медленном охлаждении. Стали с содержанием свыше 12% Mn при одновременно высокой доли -C аустениты, потому что Mn значительно расширяет область-γ. Из этих сталей изготавливают изделия с высокой поверхностной прочностью, износостойкостью и мягкой сердцевиной. Стали с содержанием 18% Mn и выше немагнитны, после холодной деформации сохраняют вязкость при низких температурах. Mn, способствуя увеличению коэффициента теплового расширения, в то же время снижает теплопроводность и электропроводность.

Молибден Mo Точка плавления 2622°C

Мо легирует большей частью совместно с другими элементами. За счет снижения критической скорости охлаждения улучшается закаливаемость сталей. Мо значительно уменьшает отпускную хрупкость, например у Ni и Mn сталей, способствует образованию мелких зерен, и таким образом, оказывает благоприятное воздействие на свариваемость. Увеличивает пределы текучести и прочности. При высоком содержании Мо затрудняется ковкость. Сильный карбидообразователь; за счет этого улучшаются свойства резания у быстрорежущих сталей. Он принадлежит к элементам, увеличивающим коррозионную стойкость и поэтому часто используется в высоколегированных Сг-сталях и аустенитных Сг-Мn сталях; высокое содержание Мо снижает склонность к сквозной коррозии. Мо сильно снижает зоны γ ; увеличивает теплостойкость, уменьшает окалиностойкость.

Азот N Точка плавления -210°C

Этот элемент может как ухудшать, так и улучшать качества сплавов. Наличие азота уменьшает вязкость, повышает чувствительность к старению и синеломкости (деформациям в области температур синего каления $300-350^{\circ}\text{C}$), способствует межкристаллитно-му коррозионному растрескиванию под напряжением в нелегированных и низколегированных сталях, N расширяет область γ и стабилизирует аустенитную структуру; увеличивает в аустенитных сталях прочность и, прежде всего, предел текучести, а также механические свойства. N позволяет достигать высокую твердость поверхности в результате образования нитридов при нитрировании.

Ниобий Nb Точка плавления 1950°C

Колумбий Sb Точка плавления 1950°C

Тантал Ta Точка плавления 3030°C

Эти элементы существуют почти всегда вместе и их трудно отделить друг от друга; поэтому применяются обычно вместе. Сильно карбидообразующие, стабилизаторы - присадки к химически стойким сталям. Являются ферритообразующими и уменьшают таким образом зону γ . Вследствие увеличения теплостойкости и прочности за счет Nb, его часто используют в качестве присадки при получении высоколегированных аустенитных котельных листовых сталей. Та поглощает нейтронное излучение, поэтому для атомных реакторных сталей применяется ниобий с пониженным содержанием тантала.

Никель Ni Точка плавления 1453°C

Никель способствует значительному увеличению ударной вязкости сталей в области низких температур, в цементуемых, улучшенных сталях и сталях, вязких в холодном состоянии; Ni снижает все точки превращения ($A_1 - A_4$); он не является карбидообразующим. За счет сильного расширения области γ , Ni, при содержании более чем 7%, придает химически стойким сталям с высоким содержанием Сг аустенитную структуру при температуре ниже комнатной. Наличие в сталях только одного Ni, даже с высоким процентным

соотношением не придает сплавам свойства нержавеющей стали. Аустенитные Сг-Ni стали устойчивы к окислителям за счет присутствия Сг. Эти стали при температурах выше 600°C сохраняют достаточную прочность, поскольку их температура рекристаллизации высокая; они практически не намагничиваются; снижаются теплопроводность и электропроводность. Высокое содержание Ni в точно ограниченных областях легирования, позволяет получать стали с высокими физическими свойствами, например, с малым температурным расширением (железоникелевый сплав с 36% Ni).

Кислород O Точка плавления -218,7°C

Кислород ухудшает свойства сталей. Понижаются механические характеристики, особенно ударная вязкость и сопротивление излому, усиливается склонность к охрупчиванию при старении и красноломкость.

Фосфор P Точка плавления 44°C

Фосфор рассматривается в большинстве случаев как нежелательный элемент; его присутствие при затвердевании сплавов стимулирует разделение их по химическому составу (процесс зейгерования), а так же создает возможность вторичного зейгерования в твердом состоянии за счет сужения области γ . Поскольку практически невозможно добиться однородного распределения P, необходимо поддерживать очень низкое его содержание в высококачественных сталях (верхний предел 0,03—0,05%). Нельзя точно определить размер зейгерования. Фосфор уже в небольших количествах увеличивает чувствительность сталей к отпускной хрупкости. Фосфорное охрупчивание увеличивается с повышением содержания C и возрастанием температуры закалки. Охрупчивание проявляется как хладноломкость и чувствительность к ударным нагрузкам (склонность к хрупкому излому). В низколегированных конструкционных сталях при содержании 0,01%, фосфор увеличивает прочность и коррозионную устойчивость сталей в атмосферных условиях, а Si способствует улучшению коррозионной устойчивости. При добавлении P можно достигнуть в аустенитных Сг-Ni сталях увеличения предела текучести.

Свинец Pb Точка плавления 327,4°C

Свинец используют в качестве присадки к автоматным сталям в количествах 0,2—0,5%; так в результате его тонкого распределения достигается улучшение чистоты поверхностей реза и обрабатываемость; указанное содержание свинца практически не влияет на механические свойства сталей.

Сера S Точка плавления 118°C

Образование сульфидов железа приводит к красноломкости стали, так как легкоплавкие эвтектики сульфида, охватывая кристаллы нарушают их сцепление при тепловых деформациях. Это явление усиливается еще и под воздействием кислорода. Поскольку сера имеет большое сродство с марганцем, ее связывают с ним в виде сульфида марганца — наиболее

безопасного из всех обычно встречающихся включений и распределяющегося в стали в виде точек. Сульфиды марганца обладают высокой температурой плавления. Сера значительно снижает вязкость сталей. Серой легируют - до 0,4% - низкосортные автоматные стали, что позволяет уменьшить трение между заготовкой и инструментом и получать в процессе резания короткую стружку. Сера усиливает предрасположенность металла к образованию трещин при сварке.

Сурьма Sb Точка плавления 630°C

Sb является нежелательным элементом для стали, так как она снижает вязкость металла и сужает область γ .

Селен Se Точка плавления 217°C

Селен применяется как и сера в автоматных сталях, причем он еще более эффективно улучшает обрабатываемость металла. Наличие селена в коррозионностойких сталях ухудшает их свойства, но в меньшей степени, нежели сера.

Кремний Si Точка плавления 1414°C

Каждая сталь содержит кремний, точно также, как и марганец, поступая в нее из железной руды. Кроме того кремний поступает в расплав из огнеупорной печной футеровки. Но только такие стали называются кремнистыми, которые содержат более чем 0,40%Si. Кремний — металлоид, является раскислителем, благоприятствует осаждению графита, сужает область γ , увеличивает прочность и износостойкость (Si-Mn - улучшение стали), способствует эластичности металла, поэтому используется как легирующий элемент в производстве рессорно-пружинных сталей. Присадки кремния способствуют стойкости и входят в состав жаростойких сталей. При содержании в сплавах 12%Si достигается значительная стойкость их к кислотам, но изделия характеризуются повышенной твердостью и хрупкостью, поэтому надежная обработка их обеспечивается только шлифованием. Кремний снижает остаточный магнетизм и применяется для производства электротехнической листовой стали.

Олово Sn Точка плавления 231,8°C

Олово нежелательный элемент для сталей. Подобно меди, олово накапливается под слоем окалины, концентрируясь по границам зерен, оно вызывает разрывы и изломы при пайке, Sn сужает область γ .

ТитанTi Точка плавления 1727°C

Титан, как и кислород, азот, сера и углерод — сильный раскислитель, оказывает деазотирующее воздействие на сталь, связывается с серой и образует карбиды. Титан применяется в коррозионностойких сталях для борьбы с межкристаллитной коррозией, кроме того, он препятствует росту зерен. В электротехнической промышленности титан добавляют в стали для производства постоянных магнитов. Титан увеличивает длительную прочность

сталей в результате образования особых нитридов. Склонен к образованию строчечных структур.

Ванадий V Точка плавления 1726°C

Ванадий препятствует росту первичных кристаллов и тем самым улучшает структуру отливки; образует карбиды, в результате чего увеличиваются износостойкость и теплостойкость режущего инструмента. Поэтому ванадий используется преимущественно в качестве дополнительного легирующего элемента при производстве быстрорежущих, теплостойких и термообрабатываемых сталей. Присадки ванадия положительно влияют на отпуск сталей, уменьшают чувствительность их к перегреву, Ванадий благоприятствует свариваемости улучшенных сталей; в результате образования карбидов увеличивается устойчивость к водородной хрупкости. Ванадий сужает область γ и смещает точку Кюри в зону более высоких температур.

Вольфрам W Точка плавления 3380°C

Тулий Tu Точка плавления 3380°C

Вольфрам образует очень твердые карбиды, сужает область γ , улучшает вязкость, препятствует росту зёрен. W увеличивает теплостойкость, отпускную стойкость, а также износостойкость при высоких температурах (красное каление сталей). Поэтому вольфрам используют в качестве присадки к быстрорежущим, термообрабатываемым, теплостойким типам сталей и в сплавах высокой твердости. вольфрам способен увеличивать коэрцитивную силу, поэтому применяется в качестве легирующего компонента при

Цирконий Zr Точка плавления 1880°C

Цирконий – карбидообразующий элемент, раскислитель, используется для деазотирования и обессеривания сталей. Присадки циркония в спокойных серосодержащий автоматных сталях оказывают благоприятное воздействие на образование сульфидов и, тем самым, позволяют избежать красноломкости. Zr увеличивает срок службы материалов нагревательных элементов и способствует сужению области γ .

Легированные стали могут быть классифицированы по четырём признакам: по равновесной структуре, по структуре после охлаждения на воздухе, по составу и назначению.

Для обозначения марок сталей принята система, определяемая ГОСТами. Обозначения состоят из цифр и букв, указывающих на примерный состав стали.

Каждый легирующий элемент обозначается буквой русского алфавита. Первые цифры в обозначении показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Цифры, идущие после буквы, указывают на примерное содержание данного легирующего элемента (при содержании элемента менее 1% цифра отсутствует; при содержании 1% - цифра 1, при содержании 2%-цифра 2 и т.д.).

Следовательно сталь состава 0,10-0,15%C и 1,3-1,7%Mn обозначается 12Г2; сталь состава 0,28-0,35%C; 0,8-1,1%Cr; 0,9-1,2%Si обозначается 30ХГС и

т.д. чтобы показать, что соблюдены все условия металлургического производства высококачественной стали, в конце марки ставят букву А.

Как правило, для холодной штамповки используют легированные стали повышенной пластичности с особыми свойствами (коррозионная устойчивость, жаропрочность и т.п.).

Назначение и общая характеристика деталей и узлов холодноштамповочного производства из легированных сталей приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Назначение и характеристика деталей холодноштамповочного
производства из легированных сталей**

Марка стали	Назначение
25ХГСА 30ХГСА 30ХГСНА	Ответственные детали сварных полых конструкций, работающие при знакопеременных нагрузках, фланцы, тормозные ленты, плоские рычаги, ёмкости высокого давления, гнутые лонжероны, тяжело нагруженные губчатые звёздочки, полые пальцы. Используются взамен хромомолибденовых сталей.
09Г2 09Г2С 10Г2А 12Г2А	Детали листовых сварных конструкций вагонов, корытные и желобчатые профили, корпуса пылеуловителей, воздухозаборники и сосуды в химическом и нефтяном машиностроении, работающие при температурах от -70 до 475°C и высоких давлениях. Детали сельскохозяйственных машин и автомобилей, изготавливаемые методами вытяжки, гибки, формовки.
08Х18Т1 08Х13 12Х17 20Х13	Для изготовления листовых деталей с повышенной пластичностью, работающих в слабоагрессивных средах (речная и водопроводная вода, влажный пар и т.п.). детали обладают жаропрочностью в рабочем интервале температур до 500°C .
03Х17Н14М3 15Х18Н12С4 ТЮ (ЭИ654)	Детали лопаток газодувок, штампуемых из листовой стали, сварные листовые конструкции, работающие в средах с повышенной и высокой агрессивностью. Коррозионно-стойкие днища, фланцы и др. детали, эксплуатируемые при температуре от -196 до 600°C под давлением.
10Х18Н9Т 08Х18Н10Т 12Х18Н10Т	Для изготовления листовых штампованных деталей, работающих в средах высокой агрессивности (баки, ёмкости, кожуха, цилиндрические тонкостенные стаканы, детали печной арматуры). Детали хорошо свариваются. Допускают все виды глубокой вытяжки. Обладают жаропрочностью до 600°C и жаростойкостью до 800°C .

ГЛАВА 4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛЕЙ

Путём химического анализа на машиностроительном заводе проверяется соответствие химического состава листовой стали приложенному к ней сертификату или выявляется причина брака и разрывов в производстве. Более сложные химические анализы проводятся в исследовательских целях, например, на содержание малых количеств общего и связанного азота, углерода, фосфора и других элементов.

Основные требования к химическому составу низкоуглеродистых сталей приведены в табл.4.

Таблица 4

Используемые марки стали и требования к химическому составу

Наименование сталей	Марки сталей	Массовая доля элементов по стандарту и предельные отклонения в %
1	2	3
Тонколистовая углеродистая сталь обыкновенного качества общего назначения (толщиной до 3,9 мм включительно)	Ст1, Ст2 (всех степеней раскисления), Ст3 (всех степеней раскисления)	По ГОСТ 380-88 Массовая доля хрома, никеля и меди нормируется по требованию потребителя. Нижний предел массовой доли углерода не ограничивается.
	Ст4 (всех степеней раскисления), Ст5пс, Ст5сп	Для проката из стали с номерами марок 3, 4, 5 (всех степеней раскисления) допускается снижение массовой доли марганца на 0,10%. При раскислении полуспокойной стали алюминием, титаном или другими раскислителями, не содержащими кремния, а также несколькими раскислителями (ферросилицием и алюминием, ферросилицием и титаном и др.) массовая доля кремния в стали допускается менее 0,05%. При этом массовая доля алюминия допускается до 0,07%.
Тонколистовая углеродистая качественная сталь общего назначения (толщиной до 3,9 мм включительно)	08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40	По ГОСТ 1050-88. Для проката из стали марок 08кп и 08пс нижний предел массовой доли углерода и кремния ограничивается
Тонколистовая холоднокатаная низкоуглеродистая качественная сталь (повышенной штампруемости)	08Ю, 08пс, 08кп, 08ФКП	По ГОСТ 9045-80 В стали 08ФКП содержание ванадия 0,02-0,04%, в стали 08кп содержание мышьяка и азота должно соответствовать нормам ГОСТ 1050-88

Продолжение таблицы 4

1	2	3
Сталь толстолистовая горячекатаная конструкционная качественная (толщиной от 4 мм до 14 мм включительно)	08пс, 08кп, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25пс, 25, 30, 35, 40, 08ЮА, 10ЮА, 15ЮА, 20ЮА	По ГОСТ 1050-88 и ГОСТ 4041-71 Для проката из стали марок 08кп и 08пс нижний предел массовой доли углерода и кремния не ограничивается
Стали тонколистовые повышенной прочности, широко внедряемые в автомобилестроении	08ГСЮТ, 08ГСТЮФ	По ТУ 14-1-3764-84 толщиной 0,7-2,5 мм
	10ЮА, 18ЮТ	По ТУ 14-1-4304-87 толщиной 2,5-8,0 мм
Сталь низкоуглеродистая холоднокатаная для тонкой ленты (до 4 мм включительно)	08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10	По ГОСТ 1050-80 Особо мягкую ленту для электровакуумной промышленности изготавливают из 08кп с массовой долей углерода <0,08%, серы и фосфора не более 0,022% каждого
	08Ю, 08кп	По ГОСТ 9045-80

Химический состав сталей, используемых в листоштамповочном производстве, приведён в таблицах 5-14.

Таблица 5

Химический состав углеродистой стали обыкновенного качества по ГОСТ 380-88

Марка стали	Массовая доля элементов, %		
	C	Mn	Si
Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп	0,06-0,12	0,25-0,50	Не более 0,05 0,05-0,15 0,12-0,30
Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп	0,09-0,15	0,25-0,50	Не более 0,05 0,05-0,15 0,15-0,30
Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп	0,14-0,22	0,30-0,60 0,40-0,65 0,40-0,65	Не более 0,05 0,05-0,15 0,15-0,30
Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп	0,18-0,27	0,40-0,70	Не более 0,05 0,05-0,15 0,15-0,30

Таблица 6

Химический состав низкоуглеродистых качественных конструкционных сталей общего назначения по ГОСТ 1050-88

Марка стали	Массовая доля элементов, %			
	C	Si	Mn	Cr, не более
05кп	Не более 0,06	Не более 0,03	Не более 0,04	0,1
08кп	0,05-0,11	0,03	0,25-0,50	0,1
08пс	0,05-0,11	0,05-0,17	0,35-0,65	0,1
08	0,05-0,12	0,17-0,37	0,35-0,65	0,1
10кп	0,07-0,14	Не более 0,07	0,25-0,50	0,15
10пс	0,07-0,14	0,05-0,17	0,35-0,65	0,15
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15
15кп	0,12-0,19	Не более 0,07	0,25-0,50	0,25
15пс	0,12-0,19	0,05-0,17	0,35-0,65	0,25
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25
18кп	0,12-0,20	Не более 0,06	0,30-0,50	0,15
20кп	0,17-0,24	Не более 0,07	0,25-0,50	0,25
20пс	0,17-0,24	0,05-0,17	0,35-0,65	0,25
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25
25	0,22-0,30	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
30	0,27-0,35	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
35	0,32-0,40	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
40	0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	

Таблица 7

Химический состав тонколистовой холоднокатаной низкоуглеродистой качественной стали (повышенной штампуемости) по ГОСТ 9045-80

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	Mn	C	S	P	Si	Cr	Ni	Cu
		не более						
08Ю	0,2-0,35	0,07	0,025	0,02	0,01	0,03	0,06	0,06
08пс	0,2-0,45	0,09	0,03	0,025	0,04		0,10	0,15
08кп	0,2-0,4	0,1	0,03	0,025	0,03			0,15
08Фкп	0,2-0,4	0,08	0,025	0,02	0,01-0,03	0,03-0,04		0,10

Примечания:

1. В стали 08пс допускается наличие Al.
2. В стали 08кп содержание мышьяка и азота должно соответствовать нормам по ГОСТ 1050-88.
3. В стали 08Ю допускается до 0,15%Cu; 0,1%Ni; 0,03%Si; 0,04%Cr; 0,02-0,07%Al.
4. В стали 08Фкп – 0,02-0,04%V.

Таблица 8

Химический состав толстолистовой горячекатаной конструкционной
качественной стали от 4 до 14 мм по ГОСТ 4041-71

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Cu	Al
	не более								
08пс	0,09	0,25-0,45	0,04	0,03	0,025	0,15	0,01	0,2	-
08кп	0,1	0,25-0,45	0,03	0,03	0,25	0,15	0,01	0,2	-
08Ю	0,1	0,25-0,45	0,03	0,03	0,025	0,15	0,1	0,2	-
08ЮА	0,1	0,2-0,4	0,03	0,03	0,025	0,15	0,1	0,2	0,02-0,08
10ЮА	0,07-0,14	0,02-0,4	0,07	0,025	0,02	0,15	0,1	0,2	0,02-0,08
15ЮА	0,12-0,18	0,25-0,45	0,07	0,025	0,02	0,15	0,1	0,2	0,02-0,08

Таблица 9

Химический состав сталей повышенной прочности, внедряемых в
автомобилестроение

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	V	Cu
08ГСЮТ	0,09	0,3-0,6	0,7-1,1	0,03	0,03	0,02-0,08	0,02-0,07	-	Не более 0,3
08ГСЮФ						-		0,02-0,08	
10ЮА	0,07-0,14	0,17-0,35	0,35-0,6	0,02	0,025	0,02	0,05	-	0,25
18ЮТ	0,14-0,22	0,12-0,3	0,4-0,65	0,035	0,035	0,01-0,04	0,02-0,07	-	0,01-0,03

Примечание: В сталях 08ГСЮТ(Ф) не более 0,3%Cr; 0,3%Ni.

Таблица 10

Химический состав конструкционных легированных сталей 25ХГСА,
30ХГСА, 35ХГСА, 30ХГСН2А (ГОСТ 4543-88)

Марка стали	Массовая доля элементов, %					Примечание
	C	Si	Mn	Cr	Ni	
25ХГСА	0,22-0,23	0,9-1,20	0,80-1,10	0,8-1,10	Не более 0,30	S – не более 0,025% P – не более 0,025% Cu – не более 0,30%
30ХГСА	0,28-0,34	0,9-1,20	0,80-1,10	0,80-1,10		
35ХГСА	0,32-0,39	1,10-1,40	0,80-1,10	1,10-1,40		
30ХГСН2А	0,27-0,34	0,17-0,37	1,00-1,30	0,9-1,20	1,40-1,60	S – не более 0,035% P – не более 0,035% Cu – не более 0,30%

Таблица 11

Химический состав сталей 10Г2, 09Г2С, 12Г2А
(ГОСТ 4543-71, ГОСТ 19282-73)

Марка стали	Массовая доля элементов, %					Примечание
	С	Si	Mn	Cu	Cr	
09Г2С	Не более 0,12	0,17-0,37	1,4-1,8	Не более 0,30	Не более 0,30	S – не более 0,025% P – не более 0,025% Ni – не более 0,30%
10Г2А	0,07-0,15	0,17-0,37	1,2-1,6			
12Г2А	0,10-0,16	0,17-0,37	1,3-1,65			

Таблица 12

Химический состав сталей 08Х18Т1, 08Х13, 12Х17, 20Х13
(ГОСТ 5632-72)

Марка стали	Массовая доля элементов, %						Другие элемент ы
	C	Cr	Mn	Si	S	P	
08X13	< 0,08	12,0-14,0	0,8	0,8	0,025	0,03	-
20X13	0,16-0,25	12,0-14,0	0,8	0,8	0,025	0,03	-
12X17	<0,12	16,0-18,0	0,8	0,8	0,03	0,03	-
08X18T1	<0,08	17,0-19,0	0,8	0,8	0,25	0,035	5 C-0,8

Таблица 13

Химический состав сталей 03Х17Н14М3, 15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ 654)
(ГОСТ 5632-72)

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Другие элементы
	Не более					Не более		
03X17H14M3	0,03	1,0-2,0	16-18	13-15	2,5-3,1	0,025	0,035	Не более 0,4Si
15X18H12C4TЮ	0,12-0,17	0,5-1,0	17-19	11-13	-	0,025	0,033	3,8-4,5Si 0,13-0,35Al 0,4-0,7Ti

Таблица 14

Химический состав сталей 8Х18Н10Т, 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632-72)

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Cr	Ni	Si	S	P	Другие элементы
12X18H10T	0,12	2,0	17-19	9-11	0,8	0,03	0,35	5C-0,8Ti
08X18H10T	0,08	2,0	17-19	9-11	0,8	0,02	0,035	5C-0,7Ti

ГЛАВА 5. СТРУКТУРА СТАЛЕЙ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ШТАМПУЕМОСТЬ

Влияние углерода в листовой стали определяется структурной формой, в которой он присутствует (рис. 1, 2).

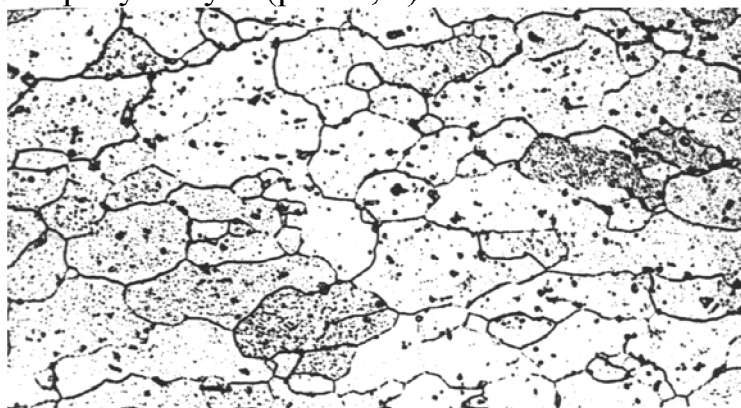


Рис.1. Отожжённая низкоуглеродистая сталь типа 08Ю. Феррит, структурно-свободный цементит (0 балл), X500

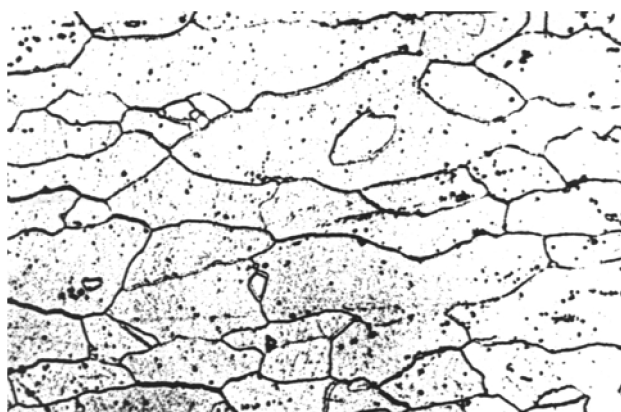


Рис.2. Низкоуглеродистая сталь 08Ю, после холодной штамповки. Феррит, цементит. X500.

Для того, чтобы сталь хорошо штамповалась, она должна иметь в основе своей микроструктуры пластичный феррит. Небольшое количество разрозненных зёрен цементита не препятствует хорошей штампуемости стали. Небольшое количество включений пластинчатого перлита также не ухудшает её штампуемость. Однако, наличие сетки структурно-свободного цементита может резко снизить пластичность листовой стали. Присутствие углерода в твёрдом растворе феррита может вызвать старение листовой стали.

Содержание марганца до 0,45-0,5% упрочняет феррит стали для холодной штамповки, но не снижает заметно её пластичности. Следует отметить, что марганец вводят в сталь для раскисления (т.е. для устранения вредных включений закиси железа).

Кремний, подобно марганцу, является раскислителем, но действует более эффективно. Содержание кремния, как правило, должно быть минимальным, причём его значительно меньше в кипящей стали, чем в спокойной. Кремний, растворяясь в феррите, делает его более твёрдым и упругим, тем самым повышая прочность стали. Однако, введение повышенного содержания

кремния, особенно в сочетании с хромом, алюминием и титаном обеспечивает достаточную технологическую пластичность.

Вредные примеси (сера и фосфор) должны быть в самом незначительном количестве: до 0,03% серы и 0,025% фосфора. Сера образует неметаллические включения FeS и MnS и препятствует штампуемости, а фосфор, растворяясь в феррите, резко повышает твёрдость и хрупкость листовой стали.

Кислород – вредная, так называемая скрытая примесь. Закись железа подобно сере препятствует штампуемости, а очень твёрдые окислы кремния, марганца и алюминия, повышая твёрдость, резко ухудшают технологическую пластичность.

В процессе выплавки низкоуглеродистой стали из металлического лома в неё могут попасть никель, хром, медь и другие элементы. Эти элементы упрочняют листовую сталь и несколько снижают её высокую штампуемость. В связи с этим их содержание в нелегированной листовой стали допускаются только в небольших количествах, т.е. содержание данных элементов стараются свести к минимуму.

Как уже указывалось, наибольшее применение для холодной штамповки имеют низкоуглеродистые кипящие и спокойные стали. Низкое содержание углерода способствует глубокой вытяжке листовой стали. Однако, только один химический состав не может характеризовать пригодность листовой стали для холодной штамповки с глубокой вытяжкой, поэтому необходима оценка микроструктуры материала.

Определение микроструктуры позволяет не только судить о качестве листовой стали, но и помогает работникам листоштамповочных цехов выявить причину брака и разрывов при операциях штамповки и принимать меры к их устранению.

Величина действительного ферритного зерна в стали. Определение величины действительного ферритного зерна листовой стали производится по специальной шкале согласно ГОСТ 5639-82.

Крупное зерно феррита вызывает образование очень грубой шероховатой поверхности на изделиях, после глубокой штамповки, известной под названием «апельсинная корка», и ведёт к разрывам. Устранение «апельсинной корки» требует сложных и дорогих операций отделки и полировки поверхности готовых штампованных заготовок. Чем крупнее зерно феррита листовой стали, тем грубее шероховатость поверхности штампованной заготовки. Поэтому применение крупнозернистой стали особенно для наружных лицевых деталей является недопустимым.

Слишком мелкое зерно феррита (рис.3, а) свидетельствует о слишком высоком пределе текучести, пределе прочности и недостаточном удлинении. В этом случае жёсткость листовой стали вызывает большую упругую отдачу при холодной штамповке и значительно повышает износ штампов.

Хорошая вязкость и гладкая поверхность получается при равномерности и размере ферритного зерна 7-8 (рис. 3, б). Для толстых листов и скрытых деталей допускается и более крупное зерно 6-7 (рис.3, в) для обеспечения лучшей формовки и уменьшения пружинения при холодной штамповке.

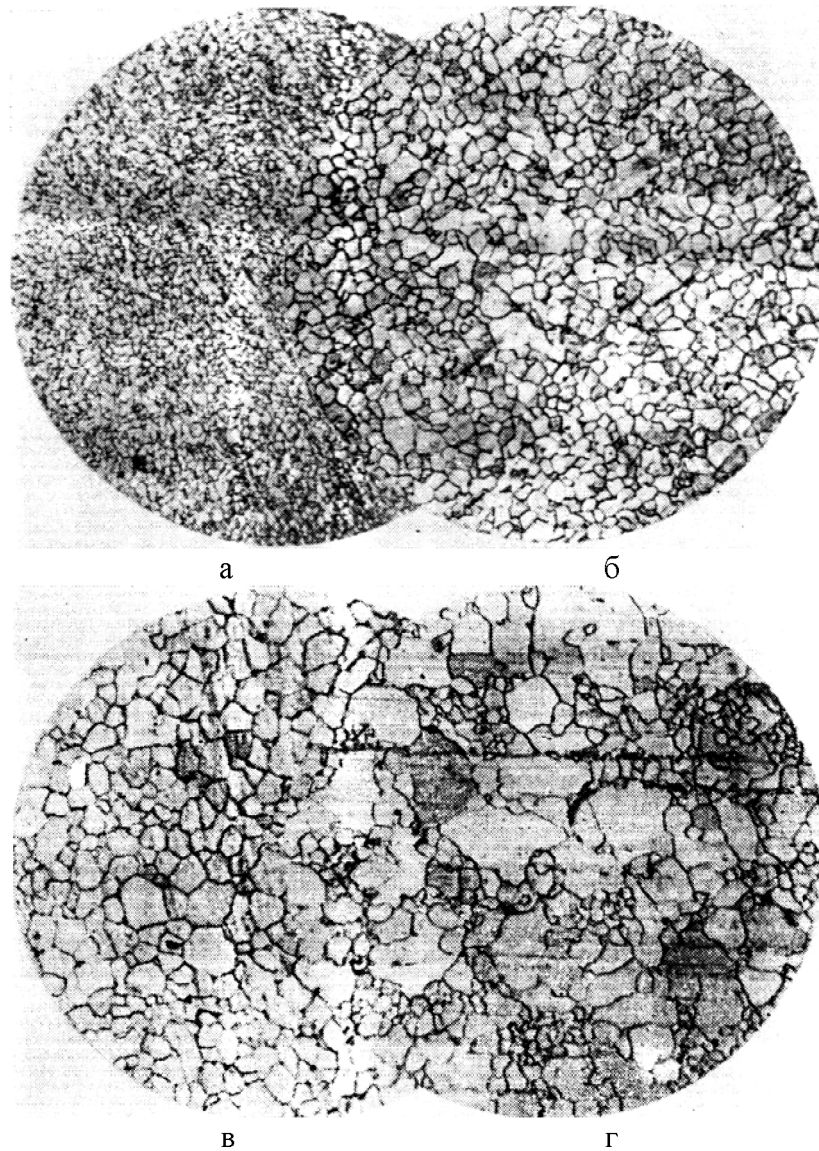


Рис.3. – Величина зерна стали для холодной штамповки, X100.

а) 10 (брак), б) –7-8 (хорошее), в)-6-7 (удовлетворительное), г) 4-8 (смешанное, брак)

Однородность размеров зерна имеет очень большое значение для успешного выполнения глубокой штамповки. Неоднородные по размерам смешанные зёрна (рис.3, г) вызывают неоднородность деформации и брак вследствие разрывов. Это объясняется тем, что в первую очередь деформируются крупные зёрна, более податливые и легче образующие плоскости скольжения. Мелкие зёрна, как более прочные, в которых плоскостям скольжения образовываться труднее, в деформации не участвуют. Таким образом, интенсивно деформируется и наклёпывается только часть структуры: её вязкость быстро исчерпывается, появляются трещины и разрывы.

Структурно-свободный цементит. Включения структурно-свободного (третичного) цементита, выделившегося из феррита при температуре ниже A_1 в виде сетки (рис.4, а) или очень крупных частиц (рис.4, б), вызывают разрывы листовой стали при холодной штамповке или при холодной прокатке.

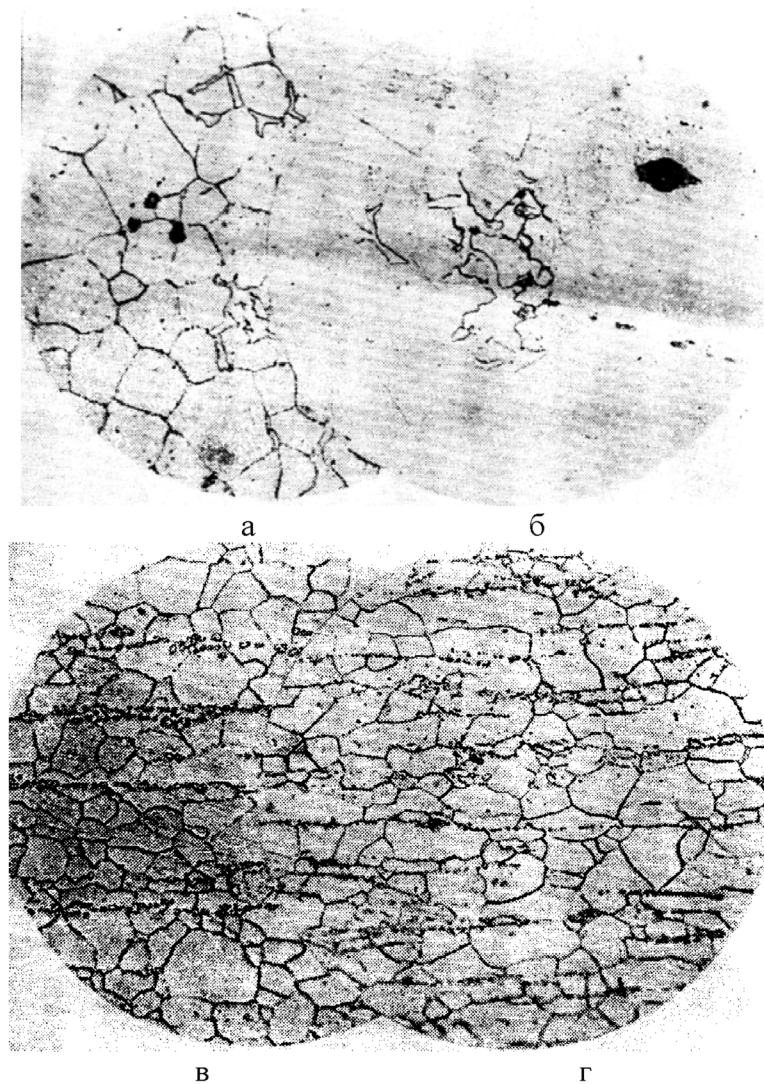


Рис.4 – Структурно-свободный цементит, х400:

а - брак, сетка вокруг зёрен, б – брак, крупное выделение, в – удовлетворительный, но на пределе, отдельные округлые зёрна, г – хороший, мелкие округлые зёрна.

Объясняется это тем, что частицы чрезвычайно твёрдого и хрупкого цементита, надрезают вязкий феррит и создают концентрацию напряжений. Поэтому структурно-свободный цементит в листовой стали для холодной штамповки допустим только в виде разрозненных мелких зёрен с округлыми краями (рис.4, в и г). определение структурно-свободного цементита производится по шкале в баллах (не более 3-2-го) по ГОСТ 5640-68 (шкала I).

Перлит. Наиболее выгодным типом перлита в структуре листовой стали для холодной штамповки является зернистый. Присутствие его внутри зёрен феррита у холоднокатаного и отожжённого листа указывает на достаточное обжатию и на завершение процесса рекристаллизации, что является признаком хорошей штампуемости сталей. Пластинчатый перлит деформируется удовлетворительно, но сорбитообразный, тонкий, чрезвычайно мелкий перлит делает лист жёстким, создаёт упругую отдачу и сильно изнашивает штампы.

В случае применения для холодной штамповки листов с повышенным содержанием углерода, они должны быть отожжёнными на зернистый перлит и в необходимых случаях их поверхность проверяют на обезуглероживание.

Полосчатость и строчечность структуры. Полосчатая (строчечная) структура образуется при прокатке стали из слитков с дендритной ликвацией за счёт медленного охлаждения. При затвердевании стального слитка вначале образуются кристаллы тугоплавкого и чистого железа (светлые дендриты) (рис.5, а), а обогащённая углеродом и другими элементами менее тугоплавкая часть расплавленной стали затвердевает в последнюю очередь (тёмные дендритные участки). При прокатке и светлые дендриты и тёмные междендритные участки вытягиваются вдоль направления прокатки, образуя так называемые полосчатые структуры. Резко выраженные полосчатые структуры (рис.5, б и в), особенно с неметаллическими включениями, служат основной причиной разрывов и брака при штамповке, в частности, при штамповке рам и тормозных барабанов автомобилей.

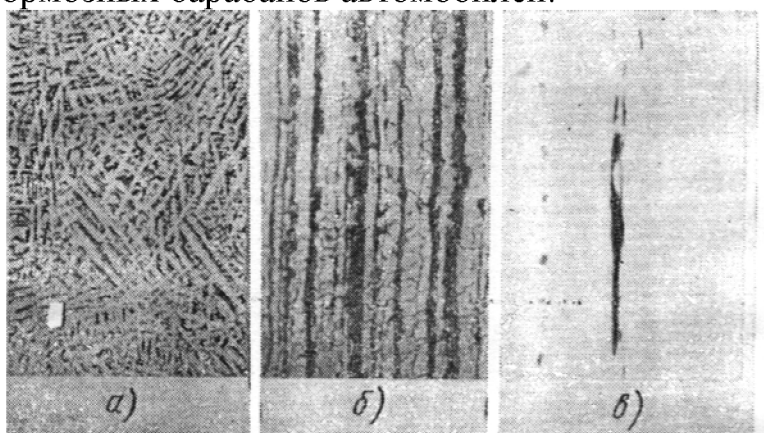


Рис.5. – Пороки структуры стали:

а – дендритная ликвация в слитке, $\times 2$, б- полосчатая структура, $\times 100$, в- неметаллические включения, $\times 150$.

Полосчатость структуры стали при термической обработке либо совсем не уничтожается, либо уничтожается с большим трудом, поэтому следует избегать применения стали для холодной штамповки с резкой полосчатостью.

Полосы скольжения. При холодной штамповке деталей из отожжённой, но не дрессированной листовой стали с низким содержанием углерода на их поверхности появляются характерные полосы скольжения. Они возникают на начальной стадии формоизменения и почти исчезают, когда деформация достигает 5-10%. Полосы скольжения на наружных (лицевых) деталях, например для автомобильных кузовов, дверей и недопустимы, так как выступают из-под слоёв окраски или декоративных металлопокрытий. Полосы скольжения не образуются на стальных листах, которые после рекристаллизационного отжига подвергались дрессировке. При этом обжатие должно составлять примерно от 0,8 до 1,5%; меньшее обжатие (0,4-0,8%) не устраняет полос скольжения, а обжатие более 2,5% повышает твёрдость и ухудшает штампуемость стали. После дрессировки листов спокойной или кипящей стали, обработанной ванадием (08Фкп, 08ГСЮФ), полосы скольжения не возникают вновь даже после продолжительного их хранения на складе перед штамповкой.

ГЛАВА 6. СОРТАМЕНТ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЛИСТОВЫМ СТАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Листовой прокат подразделяют:

- по способу производства (горячекатаный и холоднокатаный);
- по видам продукции (листы, рулоны, ленты);
- по качеству отделки на группы:
 - холоднокатаный прокат особо высокой отделки (I группа),
 - высокой отделки (II группа),
 - повышенной отделки (III группа);
 - горячекатаный прокат повышенной отделки (III группа),
 - обычной отделки (IV группа). (табл.15)

Таблица 15

Характеристика качества отделки поверхности листовых сталей

Группа отделк и	Способ производства проката	Характеристика качества отделки поверхности
I	холоднокатаный	На лицевой стороне листа поверхностные дефекты не допускаются. На стороне, противоположной лицевой, допускаются дефекты, глубина которых составляет $\frac{1}{4}$ суммы предельных отклонений на толщину листа; лёгкие царапины, общая лёгкая рябизна.
II	холоднокатаный	На обеих сторонах проката не допускаются дефекты, глубина которых превышает $\frac{1}{2}$ суммы предельных отклонений по толщине и выводящие прокат за минимальные размеры по толщине, а также цвета побежалости на расстоянии, превышающем 50 мм от кромок. На лицевой стороне (лучшей по качеству поверхности) не допускаются риски и царапины длиной более 50 мм.
III	Холоднокатаный и горячекатаный	На обеих сторонах проката не допускаются дефекты, глубина которых превышает $\frac{1}{2}$ суммы предельных отклонений по толщине, и выводящие прокат за минимальные размеры по толщине; общая рябизна, мелкие царапины, риски, отпечатки от валков.
IV	горячекатаный	На обеих сторонах проката не допускаются дефекты, глубина которых превышает сумму предельных отклонений по толщине и выводящие прокат за минимальные размеры по толщине; общая рябизна, мелкие поры и раковины, лёгкие царапины и риски, отпечатки от валков. На стороне, противоположной лицевой, допускаются также вмятины не более двух на 1 м^2 листа в пределах допуска на толщину.

По нормируемым характеристикам листовые стали подразделяются на категории (табл. 16)

Таблица 16

Нормируемые категории сталей

категория	Нормируемые характеристики испытаний	Способ производства	Тонколистовая углеродистая сталь обыкновенного качества общего назначения		Тонколистовая углеродистая качественная сталь общего назначения	
			Ст1, Ст2, Ст3	Ст5, Ст5сп	08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20	25, 30, 35
1	Испытания на изгиб	горячекатаный, холоднокатаный	+	-	-	-
2	Испытания на вытяжку сферической лунки	холоднокатаный	-	-	+	-
3	Испытания на изгиб и на вытяжку сферической лунки	холоднокатаный	-	-	+	-
4	Испытания механических свойств	горячекатаный, холоднокатаный	+	+	+	+
5	Испытания механических свойств на изгиб	горячекатаный, холоднокатаный	+	-	+	+
6	Испытание механических свойств, на вытяжку сферической лунки и на изгиб	горячекатаный, холоднокатаный	-	-	+	-

ГЛАВА 7. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ

К основным физическим свойствам относят коэффициент линейного расширения, теплопроводность, модуль нормальной упругости. Эти свойства используются, как правило, в функциональном плане при конструировании готового изделия с учётом возможных условий его эксплуатации. Более широко в технологических расчётах применяют значения модуля упругости и, в частности, при определении пружинения штампуемой детали.

Физические свойства обычно рассматривают обобщенно, ориентируясь на марку стали по содержанию углерода.

Таблица 17

Коэффициент линейного расширения сталей

Марка стали	$\alpha \cdot 10^6$, мм/(мм·°C), при температуре, °C			
	20-200	20-300	20-400	20-600
08	12,6	13,0	-	14,6
10	12,0	-	13,0	14,6
15	12,5	13,0	13,6	14,2
20	12,1	12,7	13,4	13,9

Таблица 18

Теплопроводность и модуль нормальной упругости сталей

Марка стали	λ , Вт/(м·°C) при температуре, °C				$E \cdot 10^{-4}$ МПа при температуре, °C			
	100	200	300	400	20	200	300	400
08	80,8	69,0	-	51,4	20,7	18,6	15,6	14,4
10	57,0	52,7	44,8	37,7	20,5	18,6	15,7	-
15	57,0	52,7	-	-	20,2	18,7	17,0	15,1
20	50,6	48,4	46,5	42,4	20,2	17,9	17,0	16,1

Примечание. 1 ккал/(м·ч·°C) = 1,163 Вт/(м·°C); 1 кгс/мм² = 9,8 МПа.

Обычно при холодной листовой штамповке используют в качестве физических констант E и μ следующие значения (табл. 19).

Таблица 19

Значения E и μ для различных сталей

Тип сталей	E , кгс/мм ²	μ
Низкоуглеродистые стали 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45	$2 \cdot 10^4$	0,28
Высокоуглеродистые и высоколегированные стали	$2,2 \cdot 10^4$	0,29
Нержавеющие стали аустенитного класса типа 10X18H10T	$1,88 \cdot 10^4$	0,28

ГЛАВА 8. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ

В современном листоштамповочном производстве используется целый ряд листовых сталей различных марок и методов их получения. К наиболее распространенным относятся:

- сталь углеродистая обыкновенного качества;
- сталь толстолистовая горячекатаная конструкционная качественная;
- сталь тонколистовая холоднокатаная низкоуглеродистая конструкционная качественная;
- сталь низкоуглеродистая холоднокатаная для тонкой ленты;
- стали повышенной прочности, широко внедряемые в автомобилестроении;
- сталь тонколистовая конструкционная легированная высококачественная специального назначения.

Каждый вид листового проката регламентируется ГОСТами и техническими условиями, в том числе и уровнем механических свойств.

Сталь углеродистая обыкновенного качества в основном нашла применение в строительстве. Однако ряд марок назначают и для деталей машиностроения, в том числе их используют и в холодноштамповочном производстве.

Основные механические свойства этих сталей приведены в табл.20.

Таблица 20

Механические свойства сталей обыкновенного качества

Материал	Марка	Предел прочности при растяжении и σ_b , МПа	Предел текучести $\sigma_{т(0,2)}$, МПа, не менее	Сопротивление срезу в штампах, $\sigma_{ср}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Примечание
Сталь углеродистая горячекатаная обыкновенного качества листовая и широкополосная	Ст	320-470	-	260-380	18-22	При толщине 8-20 мм
	Ст1	320-400	-	260-320	28-33	
	Ст2	340-420	-	270-340	26-31	
	Ст3кп	380-470	235	300-380	21-27	
	Ст4кп	450-520	255	340-420	19-25	
	Ст5пс	500-620	285	400-500	15-21	
	Ст6пс	600-720	315-293	480-580	11-15	
Сталь тонколистовая углеродистая горячекатаная обыкновенного качества	Ст2	340-420	-	270-340	20-21	При толщине 2-3 мм
	Ст3кп	380-470	235	300-380	16-17	
	Ст4кп	420-520	255	340-420	14-15	
	Ст5пс	500-620	285	400-500	10-11	

Сталь толстолистовая горячекатаная конструкционная качественная. В настоящее время широкое распространение в листоштамповочном производстве для толстостенных изделий (с толщиной стенки от 4 до 14 мм) нашёл листовой прокат из конструкционной качественной стали (ГОСТ 4041-87). В зависимости от нормируемых характеристик листовой прокат изготавливают 4-х категорий в соответствии с требованиями табл. 21.

Таблица 21

Категория	Марка стали	Нормируемая характеристика									
		Химический состав	Механическое свойство					Величина зерна	Структурно свободный цементит	Полосчатость	Обезуглерожженный слой для сталей марок 35, 40
			Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %	Твердость HRB или HB	Изгиб в холодном состоянии на 180°				
1	08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25пс, 25, 30, 35, 40	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+*
2	08кп, 8пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25пс, 25, 30, 35, 40, 08ЮА, 10ЮА, 15ЮА, 20ЮА	+	+	-	+	+	+	+	-	+*	+*
3	08кп, 08пс	+	+	+	+	+	+	+	+*	+	-
4	08Ю	+	+	+	+	+	+	+	+*	-	-

Примечания:

1. Знак «+» означает, что характеристика нормируется, знак «-» означает, что характеристика не нормируется, знак «+*» означает, что характеристика нормируется по требованию потребителя.
2. Величина зерна стали марок 30-40 категории 2 не нормируется.

Листы изготавливают в термически обработанном состоянии (отожжёнными, нормализованными, высокоотпущенными, улучшенными).

Механические свойства листового проката должны соответствовать данным, указанным в табл.22.

К числу наиболее используемых операций холодной штамповки относится гибка. В связи с этим листы 2-й категории (кроме стали 40), 3-й и 4-й категорий должны выдерживать испытание на изгиб в холодном состоянии на 180° при толщине оправки, указанной в таблице 23. В месте изгиба не должно быть надрывов, трещин и расслоений.

Таблица 22

**Основные механические свойства толстолистовой горячекатаной
конструкционной качественной стали**

Марка стали	Категория	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа, не более	Относительное удлинение, % не менее		Твёрдость, не более	
				δ_5	δ_{10}	HRB	HB
08кп	1-2	270-370	-	34	30	55	100
08пс, 08	1-2	270-410	-	32	28	61	109
10кп	1-2	270-410	-	32	28	64	114
10пс, 10	1-2	290-420	-	32	27	66	117
15кп, 15пс, 15	1-2	320-440	-	30	26	68	121
20кп, 20пс, 20	1-2	340-490	-	28	24	71	127
25пс	1-2	370-540	-	27	23	76	138
25	1-2	390-540	-	26	23	76	138
30	1-2	430-590	-	24	21	80	149
35	1-2	480-640	-	22	18	84	163
40	1-2	510-660	-	21	17	85	167
08кп, 08пс	3	Не более 360	235	36	32	54	98
08Ю	4	Не более 360	265	36	32	67	118
08ЮА	2	270-360	-	36	32	65	116
10ЮА	2	270-410	-	32	28	66	117
15ЮА	2	320-440	-	30	26	68	121
20ЮА	2	340-490	-	28	24	71	127

Примечания:

1. Для листов в нормализованном состоянии допускается повышение временного сопротивления при растяжении на 50 МПа при условии соблюдения норм относительно удлинения и изгиба.
2. Для листов из стали марки 08кп 3-й категории предел текучести гарантируется в течение семи суток со дня испытания.

Таблица 23

Марка стали	Толщина оправки d при толщине листа a
08кп, 08пс, 08, 08Ю, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 08ЮА, 10ЮА	$d=0$ (до соприкосновения сторон)
15, 20кп, 20пс, 20, 25пс, 25, 15ЮА, 20ЮА	$d=a$
30, 35	$d=2a$

Сталь листовая углеродистая качественная. Данная сталь включает марки 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 10, 15, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45 и 50 с химическим составом по ГОСТ 1050-88. Сталь поставляется в листах и рулонах. Толщина листов до 3,9 мм включительно, а ширина не менее 500 мм. Сталь подразделяется по нормируемым характеристикам на 1, 2, 3, 4 и 5-ю категории. По способности к вытяжке сталь 1-й и 5-й категорий делится на глубокую – Г и нормальную – Н. По методам испытаний различают стали с

применением контроля механических свойств, микроструктуры и способности к вытяжке; без контроля – по их штампуемости (марки 08кп и 08пс для глубокой вытяжки Г).

Механические свойства листовых низкоуглеродистых и среднеуглеродистых качественных сталей приведены в табл.24.

Таблица 24

Марка стали	Механические свойства					
	Временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Предел текущего $\sigma_{\text{т}}$, МПа, не более	Относительное удлинение δ_5 , % не менее	Относительное сужение ψ , % не менее	Сопротивление срезу, $\sigma_{\text{ср}}$, МПа	Твёрдость без термической обработки НВ, не более
05кп	314	186	34	78	235	128
08кп 08пс 08	324	196	33	76	245	131
	324	196	33	76	254	131
	324	196	33	76	245	131
10кп 10пс 10	321	206	31	72	264	143
	321	206	31	72	264	143
	321	206	31	72	264	143
15кп 15пс 15	373	225	27	68	314	149
	373	225	27	68	314	149
	373	225	27	68	314	149
20кп 20пс 20	412	245	27	66	323	163
	412	245	26	66	323	163
	412	245	25	65	323	163
25	451	274	23	58	382	170
30	490	294	21	52	403	179
35	529	314	20	52	435	187
40	568	321	19	-	467	197
45	591	353	16	50	486	207
50	627	373	14	-	515	217

Сталь тонколистовая холоднокатаная низкоуглеродистая качественная. Тонколистовые стали 08Ю, 08кп, 08Фкп предназначены в основном для вытяжки и формовки автомобильных кузовных деталей и холодной штамповки изделий с повышенной степенью вытяжки. Сталь подразделяют на листовую и рулонную шириной от 500 до 2200 мм. Листы и рулоны изготавливают толщиной 0,5-3,0 мм. Их сортамент определяется ГОСТ 19904-90. Сталь должна поставляться в термически обработанном состоянии.

В зависимости от сложности вытяжных работ и, соответственно, пластичности стали существуют различные категории вытяжки:

ВОСВ – весьма особо сложная вытяжка,

ОСВ – особо сложная вытяжка,

СВ - сложная вытяжка,

ВГ – вытяжка глубокая.

Основные механические свойства данной листовой стали приведены в табл.25.

Таблица 25

Механические свойства тонколистовой холоднокатаной низкоуглеродистой качественной стали (ГОСТ 9045-80)

Категория вытяжки	Сталь	σ_T	σ_B	δ_4 , % при толщине листа, мм		HRB, не более
		МПа		0,4-1,5	1,5-2,0	
		не более		не менее		
ВОСВ	08Ю	185	250-320	40	42	46
ОСВ	08Ю	195	250-350	36	40	46
СВ	08Ю	205	250-350	34	38	48
ВГ	08кп	210	260-360	28	29	-
	08пс	210	260-360	28	29	

Примечания:

1. Для категории ВГ при толщине листа 2-3 мм $\delta_4 = 30\%$.
2. При изготовлении проката категории ВГ допускается замена стали 08пс и 08кп сталью 08Ю.

Для этой стали большое значение имеет её микроструктура (табл.26) и, в частности, величина балла зерна феррита и структурно-свободного цементита.

Таблица 26

Микроструктура стали (ГОСТ 9045-80)

Категория вытяжки	Балл зерна феррита	Структурно-свободный цементит в баллах, не более
ВГ СВ	6-9	3
ОСВ ВОСВ		2

Примечание. Неравномерность зерна феррита допускается в пределах двух смежных номеров.

Стали 08ГСЮТ(Ф), 10ЮА, 18ЮТ повышенной прочности, широко внедряемые в автомобилестроении.

Двухфазные ферритно-мартенситные низкоуглеродистые малолегированные стали являются новой группой листовых материалов, имеющих значительные преимущества перед сталями перлитного класса. Преимуществом их является не только отдельно высокая прочность и пластичность, но и возможность получения наиболее оптимального сочетания этих параметров. Характерный признак данных сталей – отсутствие на диаграмме растяжения площадки текучести, низкое (0,4-0,6) отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$, высокий темп нарастания упрочнения при увеличении степени деформации.

Прочностные характеристики этих сталей формируются в самом процессе изготовления деталей – при деформации и последующем старении готовых деталей, например, в процессе сушки лакокрасочного покрытия при 170-190⁰С.

В качестве поставляемого полуфабриката могут быть:

1. Из стали 10ЮА: лист холоднокатаный толщиной 0,7-3,0 мм шириной 1700 мм и длиной 1000-6000 мм (ТУ 14-15-140-84); лента толщиной 1,0-4,0 мм, шириной 10-450 мм (ТУ 14-4-1333-85); лист горячекатаный толщиной 2,0-6,0 мм, шириной 1250-1700 мм и длиной 2000-6000 мм (ТУ 14-15-145-85).
2. Из стали 18ЮТ: горячекатаная рулонная и листовая сталь толщиной 2,5-3,0 мм, шириной 1250 мм, то же, толщиной 4-8 мм, шириной 1600 мм.
3. Из стали 08ГСЮТ(Ф): лист холоднокатаный толщиной 0,7-2,5 мм, шириной от 1000 до 1800 мм, в рулонах 500-1800 мм и в виде резаной ленты шириной 100-500 мм.

Основные механические свойства сталей 08ГСЮТ(Ф), 10ЮА и 18ЮТ представлены в табл.27.

Таблица 27

Сталь	Толщина проката	σ_T	σ_B	δ_4 ,	Изгиб на 180 ⁰	КСУ, при -20 ⁰ , Дж/см ²
		МПа		%		
		не менее				
08ГСЮТ	0,7-2,5	392	294	30	-	-
18ЮТ	2,5-8,0	440	325	26	<i>d=a</i>	39
10ЮА	0,7-3,0	340	-	32	-	-

Лента холоднокатаная из низкоуглеродистой стали. Эта сталь предназначена для выполнения операций вырубки-пробивки, гибки, вытяжки, формовки, так же для изготовления труб, деталей подшипников и других изделий. По состоянию материала ленту поставляют:

Особомягкая – ОМ

Мягкая – М,

Полунагартованная – ПН

Нагартованная – Н

Высоконагартованная – ВН.

Толщина ленты составляет от 0,05 мм до 4,0 мм включительно. Ширина ленты в зависимости от толщины должна соответствовать данным табл.28.

Таблица 28

Толщина ленты, мм	Ширина ленты, мм	Толщина ленты, мм	Ширина ленты, мм
$\geq 0,05 \geq 0,18$ (вкл.)	4-260	$\geq 0,80 \geq 1,00$	8-450
$\geq 0,18 \geq 0,40$	4-300	$\geq 1,00 \geq 2,00$	9-450
$\geq 0,40 \geq 0,45$	5-300	$\geq 2,00 \geq 3,00$	15-450
$\geq 0,45 \geq 0,50$	5-450	$\geq 3,00 \geq 4,00$	20-450
$\geq 0,50 \geq 0,80$	6-450		

Механические свойства ленты должны соответствовать нормам, указанным в табл.29.

Таблица 29

Состояние материала	Марка стали	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %, не менее					
			$\delta_4=(l_0=4b_0)$					$\delta_5=l_0=5,65\sqrt{F_0}$
			при толщине ленты, мм					
			менее 0,5	от 0,50 до 0,70 включ.	св. 0,70 до 1,50 включ.	св. 1,50 до 2,20 включ.	св. 2,00 до 2,90 включ.	от 3,00 до 4,00 включ.
ОМ	08кп, 08пс, 10кп	270-390	23	23	23	26	30	32
М	08кп,	310-440	17	17	17	18	20	24
ПН	08пс, 08,	370-510	7	7	7	9	10	12
Н	10кп,	440-590	-	-	-	-	4	4
ВН	10пс, 10	Не менее 540	-	-	-	-	-	-

Сталь тонколистовая конструкционная легированная высококачественная специального назначения. Стали обладают повышенной прочностью при умеренной вязкости и пластичности. Марки 25ХГСА и 30ХГСА используются для нагруженных деталей взамен хромоникелевых и хромомолибденовых сталей. Сталь 30ХГСН2А применяется для тяжело нагруженных деталей, работающих при минусовых температурах до -30°C . марки 12Х2НВФА, 23Х2НВФА относятся к группе сталей повышенной прочности, вязкости и прокаливаемости. Эти стали можно применять для эксплуатации при низких температурах до -70°C ; -80°C .

Сталь изготавливают горячекатаной и холоднокатаной, её прокатывают в листы толщиной до 3,9 мм и применяют в термически обработанном состоянии.

Сортамент для горячекатаных листов по ГОСТ 19903-74, для холоднокатаных повышенной и нормальной точности прокатки – по ГОСТ 19904-90.

Листы стали изготавливают в термически обработанном состоянии: умягчённом или нормализованном. Механические свойства после закалки и отпуска и нормализации даны в табл.30.

Поставка стали предусмотрена по четырём категориям в зависимости от нормируемых показателей механических и технологических свойств (табл.31).

Листы 4-й категории, толщиной 1 мм и менее, предназначенные для холодной штамповки, должны испытываться на выдавливание лунки.

Таблица 30

Механические свойства стали после термообработки (ГОСТ 11268-78)

сталь	Термическая обработка	σ_B , МПа	δ_5 , %, после закали и отпуска	δ_5 , %, после нормализации
25ХГСА	З, 880, м + Ов, 470-550, в или м	1080	10	21
30ХГСА	З, 880, м + Ов, 480-570, м	1080	10	20
30ХГСН2А	З, 900, м + Ос, 200-300, возд	1570	9	19
12Х2НВФА	З, 910, м + Ов, 490-550, возд	1030	10	15
23Х2НВФА	З, 890, м + Ов, 590-620, возд или м	1130	9	17

Таблица 31

Нормируемые показатели механических и технологических свойств
(ГОСТ 11268-76)

Нормируемые показатели	Категория			
	1	2	3	4
Механические свойства листов в умягчённом или нормализованном состоянии	+	-	+	+
Механические свойства листов, определяемых на термически обработанных образцах (закалка + отпуск)	-	+		
Глубина выдавливаемой лунки (для листов толщиной до 1 мм)	-	-	-	

Примечание: Знак «+» означает, что показатель нормируется, знак «-» означает, что знак не нормируется.

Глубина обезуглероженного слоя (по чистому ферриту) для листов из сталей 25ХГСА, 30ХГСА и 30ХГСН2А (30ХГСНА) не должна превышать 2,5% с каждой стороны от фактической толщины листа.

ГЛАВА 9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ

При выполнении разделительных операций (вырубки-пробивки) большую роль играет величина зазора z , которая оказывает существенное влияние на силовые параметры процесса резки и обеспечивает необходимое качество среза.

Таблица 32

Зазоры между пуансоном и матрицей при вырубке и пробивке различных материалов

Толщина материала s, мм	Сталь 08, 10, 15, 20, 25		Сталь 30, 35, 40		Сталь 45, 50, легированные стали	
	Диаметральный зазор, мм					
	Наиб.	Наим.	Наиб.	Наим.	Наиб.	Наим.
0,1	0,025	0,005	0,025	0,005	0,03	0,005
0,2	0,025	0,005	0,03	0,01	0,035	0,01
0,3	0,03	0,01	0,035	0,015	0,035	0,015
0,4	0,035	0,015	0,04	0,02	0,045	0,025
0,5	0,04	0,02	0,05	0,025	0,055	0,03
0,6	0,05	0,025	0,06	0,03	0,07	0,04
0,8	-	-	0,085	0,06	0,09	0,06
1	-	-	0,15	0,1	0,16	0,1
1,2	-	-	0,18	0,12	0,18	0,12
1,5	-	-	0,22	0,15	0,22	0,15
1,8	-	-	0,27	0,18	0,27	0,18
2	-	-	0,3	0,2	0,3	0,2
2,5	-	-	0,5	0,35	0,5	0,35
3	-	-	0,6	0,45	0,6	0,45
3,5	-	-	0,7	0,525	0,7	0,525
4	-	-	0,9	0,6	0,9	0,6
4,5	-	-	1	0,7	1	0,7
5	-	-	1,1	0,8	1,1	0,8
6	-	-	1,5	1,1	1,5	1,1
7	-	-	1,75	1,3	1,75	1,3
8	-	-	2	1,6	2	1,6
9	-	-	2,25	1,8	2,25	1,8
10	-	-	2,5	2	2,5	2
11	-	-	2,8	2,2	2,8	2,2
12	-	-	3	2,4	3	2,4
13	-	-	3,25	2,6	3,25	2,6
14	-	-	3,5	2,8	3,5	2,8
15	-	-	3,75	3	3,75	3
16	-	-	4	3,3	4	3,3

Примечания: 1. Наименьшие значения начальных зазоров задаются для новых инструментов.

2. Зазор между пуансоном и матрицей обеспечивать:

при вырубке изделия – за счёт уменьшения пуансона;

при пробивке отверстия – за счёт увеличения матрицы.

при пробивке мелких отверстий зазор принимать с коэффициентом 1,2 (если диаметр пробиваемого отверстия равен полутора-двум толщинам материала) или 1,5 (если диаметр пробиваемого отверстия менее полутора толщин материала).

В зависимости от механических свойств, определяемых маркой штампуемого материала и толщиной листа, зазор между матрицей и пуансоном может быть определён из данных табл.32.

Для установления пригодности материала к формовочным и вытяжным операциям листовой штамповки применяют метод испытания на выдавливание листов и лент по Эриксену (ГОСТ 10510-88). Метод основан на выдавливании сферического пунсона в образец, зажатый между матрицей и прижимным кольцом, до начала образования на выдавливаемой лунке сквозной трещины и измерении глубины лунки (рис.6). Этот метод испытания предназначен для листов и лент толщиной от 0,1 до 2,0 мм, шириной 13 мм и более при комнатной температуре.

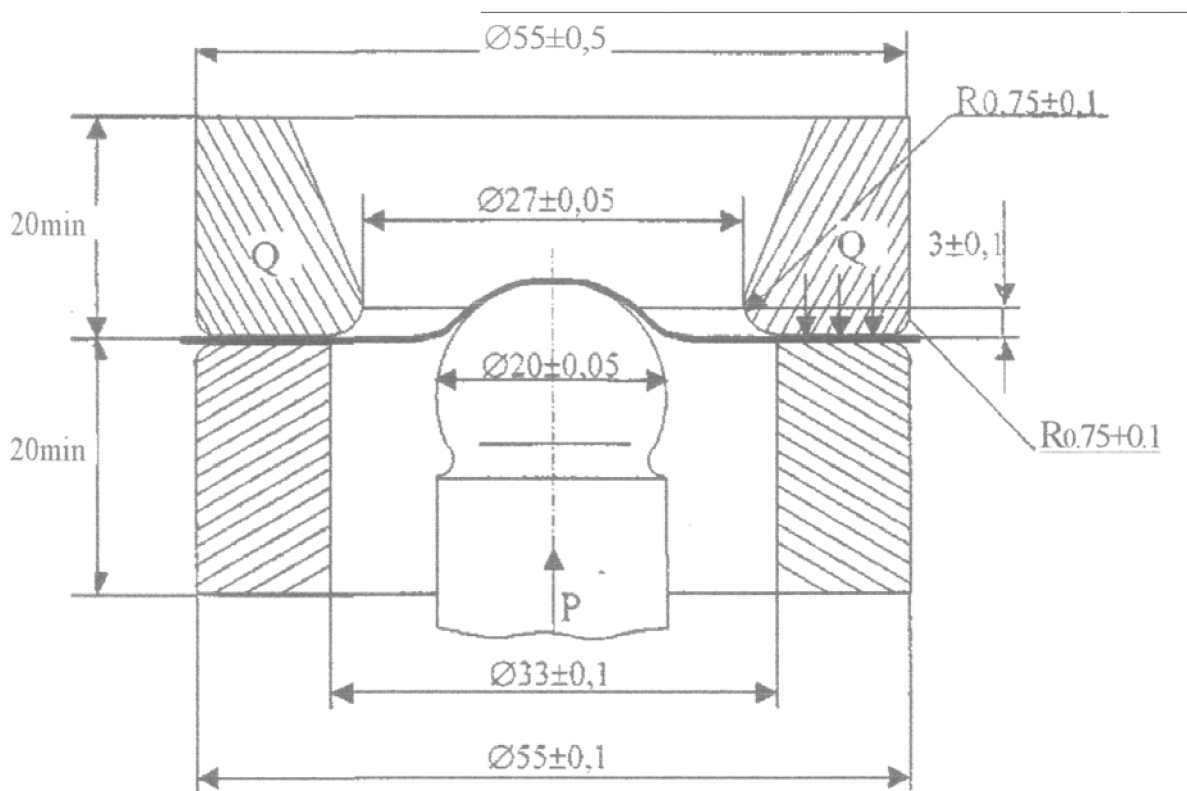


Рис.6 – Схема технологических испытаний на выдавливание сферической лунки по Эриксену

Для стали листовой углеродистой качественной и обыкновенного качества данные по испытаниям на выдавливание сферической лунки приведены в табл.33.

Тонколистовые холоднокатаные низкоуглеродистые качественные стали, предназначенные для вытяжки и формовки сложных кузовных деталей автомобилей и других машиностроительных изделий со значительной степенью деформации в вытяжных операциях (категорий ВОСВ, ОСВ, СВ и ВГ) должны обладать повышенными значениями глубины сферической лунки. Эти данные приведены в табл.34.

Таблица 33

Глубина сферической лунки при испытании стали на вытяжку (ГОСТ 16523-89)

Толщина листа, мм	Глубина сферической лунки, мм, не менее, для сталей					
	Глубокой вытяжки			Нормальной вытяжки		
	Категории 5		Категории 1	Категории 5		Категории 1
	08кп, 08пс, 10кп	08, 10, 10пс, 15, 15кп, 15пс, 20, 20кп, 20пс, Ст1	Всех марок при $C \leq 0,23\%$	08кп, 08пс, 10кп	08, 10, 10пс, 15, 15кп, 15пс, 20, 20кп, 20пс, Ст1	Всех марок при $C \leq 0,23\%$
0,20	6,9	6,7	6,9	-	-	5,7
0,50	8,4	8,0	8,0	8,0	7,6	6,9
0,70	9,2	8,6	8,9	8,9	8,0	7,5
1,00	10,1	9,2	9,9	9,9	8,6	8,4
1,20	10,6	-	10,2	10,4	-	8,8
1,50	11,2	-	11,2	11,0	-	9,2
1,70	11,6	-	11,3	11,4	-	9,5
2,00	11,9	-	11,8	11,8	-	9,9

Примечание: Значения глубины сферической лунки для сталей 1-й и 5-й категорий для нескольких толщин листов даны выборочно.

Таблица 34

Глубина сферической лунки при испытании на вытяжку (ГОСТ9045-80)

Толщина листа	Глубина, мм, для сталей категорий вытяжки				Толщина листа	Глубина, мм, для сталей категорий вытяжки			
	ВГ	СВ	ОСВ	ВОСВ		ВГ	СВ	ОСВ	ВОСВ
	Не менее					Не менее			
0,4	8,6	8,8	9,0	9,3	1,2	11,0	11,2	11,5	11,6
0,5	9,0	9,2	9,4	9,7	1,3	11,2	11,4	11,7	11,8
0,6	9,4	9,6	9,8	10,0	1,5	11,5	11,6	11,9	12,0
0,7	9,7	10,0	10,2	10,4	1,7	11,8	11,9	12,1	12,2
0,8	10,0	10,4	10,6	10,7	2,0	12,1	12,2	12,4	12,5
1,0	10,5	10,8	11,1	11,2					

Низкоуглеродистая холоднокатаная сталь в виде тонкой ленты, где предусматриваются различные состояния поставки в зависимости от степени нагартовки, имеет свои данные по испытаниям на выдавливание сферической лунки (табл.35).

Сталь тонколистовая конструкционная легированная высококачественная марок 25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГНС2А, 12Х2НВФА, 23Х2НВФА характеризуется значениями глубины лунки, приведёнными в табл.36.

Таблица 35

Глубина сферической лунки для тонкой ленты (ГОСТ 503-88)

Толщина ленты, мм	Глубина выдавливаемой лунки, мм, не менее для ленты шириной							
	90 и более ($d_{\Pi}=20$, $d_{\text{м}}=27$)		менее 90 до 55 вкл. ($d_{\Pi}=15$, $d_{\text{м}}=21$)		менее 55 до 30 вкл. ($d_{\Pi}=8$, $d_{\text{м}}=11$)		менее 30 до 13 вкл. ($d_{\Pi}=3$, $d_{\text{м}}=5$)	
	при состоянии материала							
	ОМ	М	ОМ	М	ОМ	М	ОМ	М
0,20	7,7	7,0	5,3	4,4	3,5	3,3	1,6	1,4
0,25	7,9	7,2	5,4	4,5	3,6	3,4	1,7	1,5
0,30	8,1	7,4	5,6	4,7	3,7	,35	1,8	1,6
0,35	8,3	7,6	5,7	4,9	3,8	3,6	1,9	1,7
0,40	8,7	7,8	6,0	5,1	4,0	3,7	2,0	1,8
0,45	8,9	8,0	6,1	5,3	4,1	3,8	2,1	1,9
0,50	9,0	8,1	6,3	5,4	4,2	3,9	2,2	2,0
0,60	9,2	8,3	6,5	5,6	4,4	4,1	2,3	2,1
0,70	9,4	8,6	6,8	5,8	4,6	4,2	2,4	2,3
0,80	9,6	8,9	7,0	6,0	4,8	4,4	-	-
0,90	9,8	9,1	7,2	6,3	5,0	4,6	-	-
1,00	10,1	9,3	7,4	6,5	5,1	4,7	-	-
1,20	10,5	9,7	7,8	6,9	-	-	-	-
1,40	10,9	10,1	8,2	7,3	-	-	-	-
1,50	11,0	10,3	8,5	7,5	-	-	-	-
1,60	11,2	10,5	8,7	7,7	-	-	-	-
1,80	11,5	10,8	9,0	8,0	-	-	-	-
2,00	11,7	11,0	9,2	8,2	-	-	-	-

Примечание. d_{Π} - диаметр пуансона, d_M - диаметр матрицы.

Таблица 36

Глубина выдавливаемой лунки для легированных сталей

Сталь	Глубина лунки, мм, при толщине листа, не менее					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25ХГСА, 12Х2НВФА, 30ХГСА, 30ХГСН2А	7,0	7,4	7,6	7,8	8,0	8,1
23Х2НВФА		7,2	7,5	7,7		

Минимально допустимые радиусы гибки должны соответствовать пластичности металла и не допускать образования трещин. Они устанавливаются по предельно допустимым деформациям крайних (наружных) волокон.

Минимальные радиусы гибки могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$\left(\frac{r}{s_0} \right)_{\min} = \frac{1-2\psi}{2\psi}$$

$$\left(\frac{r}{s_0}\right)_{\min} = \frac{1 - 0,5(1 - \psi)}{(1 - \psi)^{-0,47} - 1}$$

$$\left(\frac{r}{s_0}\right)_{\min} = \frac{1 - 0,5(1 - \psi)^{-0,5}}{(1 - \psi)^{-0,5} - 1}$$

Здесь ψ - полное относительное сужение при испытании на растяжение листового металла.

Для практического использования приближённые значения минимально допустимых радиусов гибки $r_{\min}/S_0$ применяются следующие подходы:

- 1) минимально допустимый радиус гибки выражают в виде формулы $r_{\min} = k \cdot s_0$, где s_0 – толщина металла в мм, а k – коэффициент, выбираемый по табл.37. (при угле гибки, равном или большем 90°).
- 2) минимально допустимый радиус гибки выбирается сразу из таблицы 38 с учётом состояния материала (отожжённый или наклёпанный).

Таблица 37

Коэффициент k для определения допустимого радиуса гибки

Марка стали	Заусенцы обращены внутрь изгиба			Заусенцы обращены наружу		
	Расположение линии изгиба относительно направления проката (волокон металла)					
	Под 90 ^О	Под 45 ^О	параллельно	Под 90 ^О	Под 45 ^О	параллельно
08кп, 10кп, 08Ю, Ст 0	0,3	0,5	0,8	0,8	1,0	1,5
15, 20, Ст 1, Ст 2	0,5	0,8	1,3	1,3	1,6	2,5
25, 30, 35, Ст 3, Ст 4	0,8	1,2	2	2	2,5	4
40, 45, 50, Ст 5	1,2	1,8	3	3	3,5	5
25ХГСА, 30ХГСА, 12Х2НВФА	1,5	2,5	4	4	5	6
10Х18Н9Т	1,0	1,5	2,0	1,2	1,6	2,2

Таблица 38

Минимальный радиус гибки

Материал	Отожжённые или нормализованные		Наклёпанные	
	Расположение линии сгиба			
	Поперёк волокон проката	Вдоль волокон проката	Поперёк волокон проката	Вдоль волокон проката
	Радиусы гибки		Радиусы гибки	
	Сталь 05, 08кп	0	0,3S	0,2S
Сталь 08-10, Ст 1, Ст 2	0	0,4S	0,4S	0,8S
Сталь 15-20 Ст 3	0,1S	0,5S	0,5S	1,0S
Сталь 25-30, Ст 4	0,2S	0,6S	0,6S	1,2S

Сталь 35-40, Ст 5	0,3S	0,8S	0,8S	1,5S
Сталь 45-50, Ст 6	0,5S	1,0S	1,0S	1,7S
Сталь 55-60, Ст 7	0,7S	1,3S	1,3S	2,0S
Нержавеющая сталь X18H9	1S	2S	3S	4S

Примечания:

1. Минимальные радиусы гибки следует применять лишь в случае абсолютной конструктивной необходимости, во всех остальных случаях – применять увеличенные радиусы гибки.
2. При гибке под углом к направлению проката следует брать средние промежуточные значения в зависимости от угла наклона линии сгиба.
3. В случае гибки узких заготовок, полученных вырубкой или резкой без отжига, радиусы гибки нужно брать как для наклепанного металла.
4. При гибке толстых листов (свыше 8-10 мм) рекомендуем применять радиусы гибки относительно большей величины.

ГЛАВА 10. УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ ПРИ ХОЛОДНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Сопротивление пластической деформации зависит главным образом от лёгкости перемещения дислокаций. Силовые поля вокруг дислокаций являются эффективными барьерами для других близко расположенных дислокаций. В связи с этим, чем больше плотность дислокаций, тем выше сопротивление пластическому деформированию. Процесс пластической деформации металла в холодном состоянии сопровождается увеличением плотности дислокаций и как следствие, упрочнением или так называемым наклёпом.

Физическая сущность упрочнения заключается в следующем:

- 1) в изменении формы зёрен и удлинении их в направлении наибольшей деформации растяжения, сопровождаемых повреждениями плоскостей скольжения и искажением кристаллической решётки вблизи них;
- 2) в повороте зёрен и их кристаллографических плоскостей и образовании так называемой «текстуры», или ориентировки этих плоскостей в определённом направлении, следствием чего является анизотропия физико-механических свойств деформированного металла;
- 3) в появлении так называемых внутренних (вторичных) или остаточных взаимно уравновешенных напряжений, остающихся в металле после его деформации.

Так как остаточные напряжения обычно являются напряжениями противоположного знака по отношению к основным, то при дальнейшем деформировании металла необходимо преодолеть их противодействие и приложить большее усилие. В результате наклёпа сопротивление деформации непрерывно увеличивается по мере увеличения степени деформации (возрастают прочностные характеристики (твёрдость, $\sigma_{0,2}$, σ_B)), одновременно с чем снижается пластичность и ударная вязкость деформированного металла (δ , ψ , KCU). Как правило, металлы интенсивно наклёпываются в начальной стадии деформирования, затем при возрастании деформации механические свойства изменяются незначительно. С увеличением степени деформации предел текучести обычно растёт быстрее временного сопротивления. Обе характеристики у сильно наклёпанных металлов приближаются друг к другу, а удлинение стремится к нулевым значениям. Такое состояние наклёпанного металла является предельным; при попытке продолжения пластического деформирования металл разрушается. Путём наклёпа временное сопротивление и твёрдость удаётся повысить в 1,5-3 раза, а предел текучести от 3 до 7 раз.

Ниже приводятся механические свойства некоторых сталей в зависимости от степени холодной деформации.

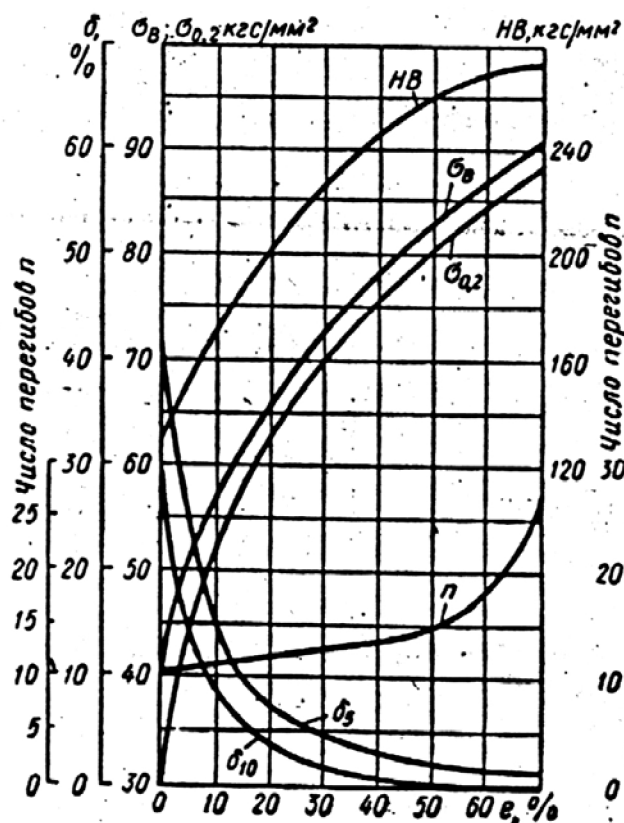


Рис.7. Механические свойства стали 08пс в зависимости от степени холодной деформации.

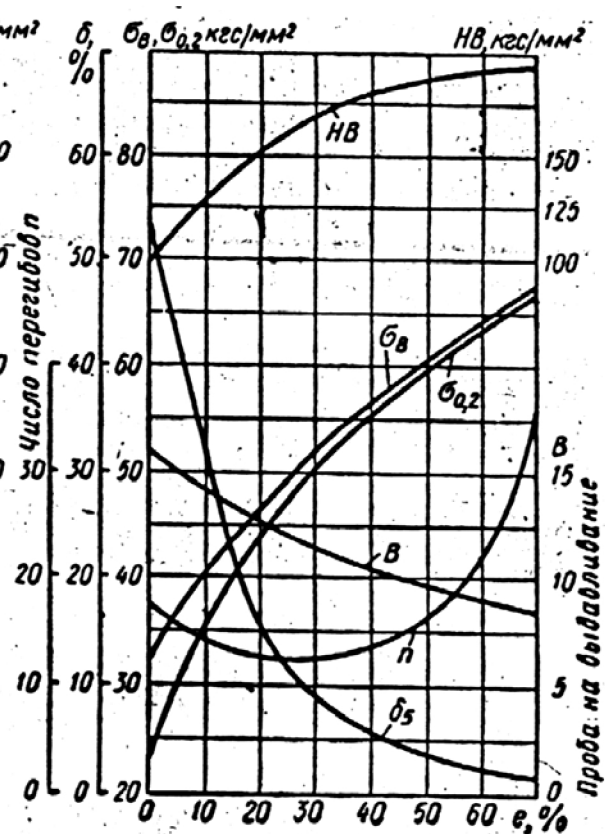


Рис.8. Механические свойства стали 08кп в зависимости от степени холодной деформации.

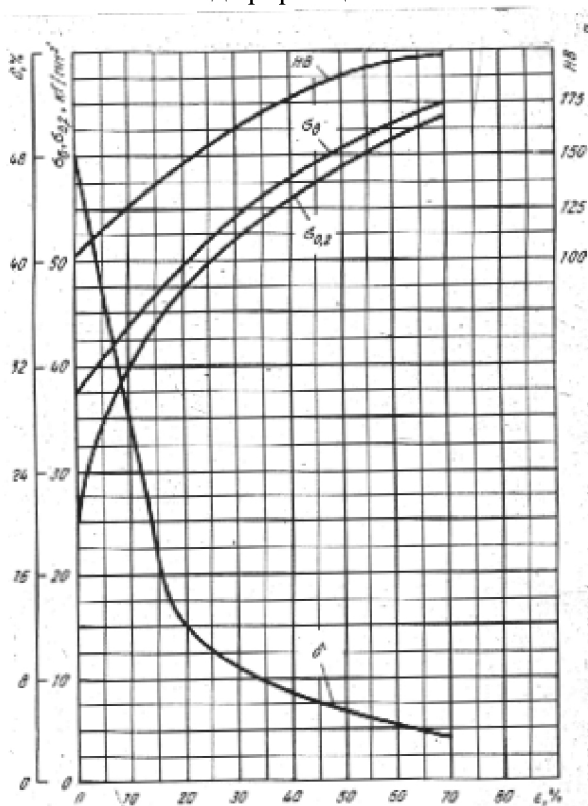


Рис.9. Механические свойства стали Ст 0 в зависимости от степени холодной деформации.

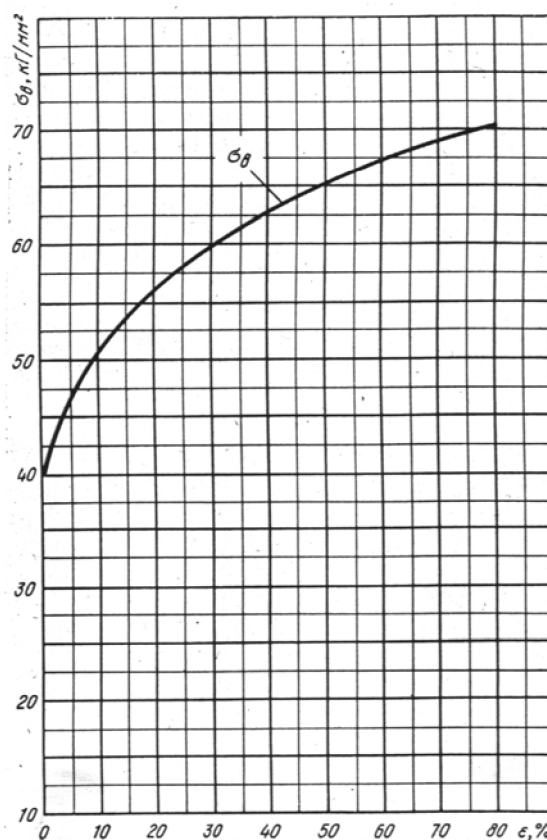


Рис.10. Механические свойства стали Ст 1 в зависимости от степени холодной деформации.

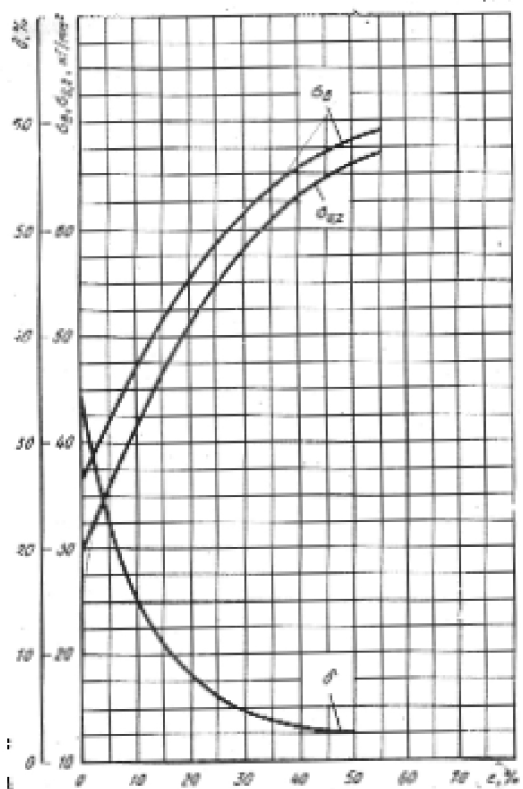


Рис.11. Механические свойства стали Ст 2 в зависимости от степени холодной деформации.

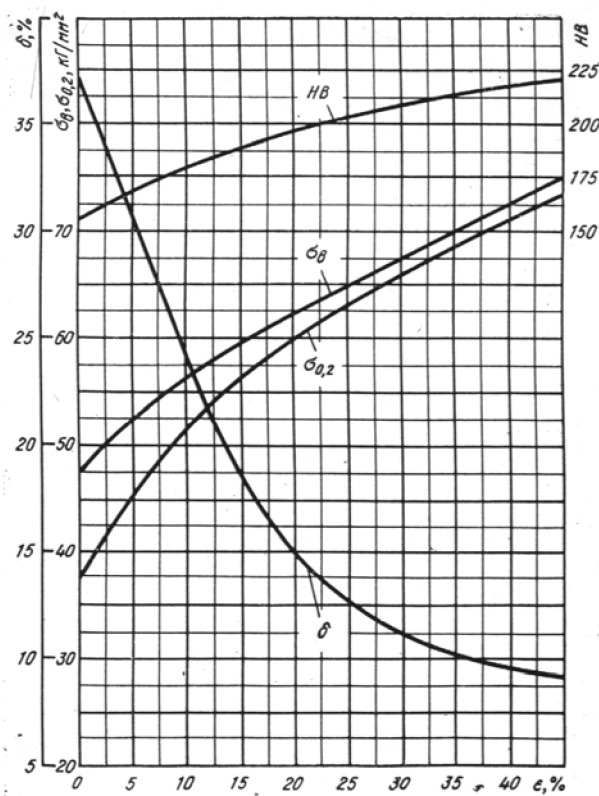


Рис.12. Механические свойства стали Ст 3 в зависимости от степени холодной деформации.

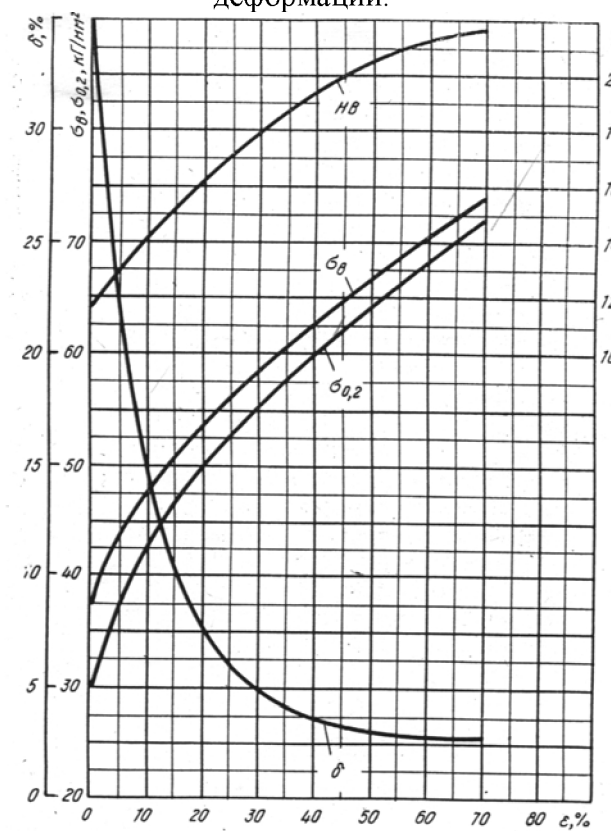


Рис.13. Механические свойства стали 10 в зависимости от степени холодной деформации.

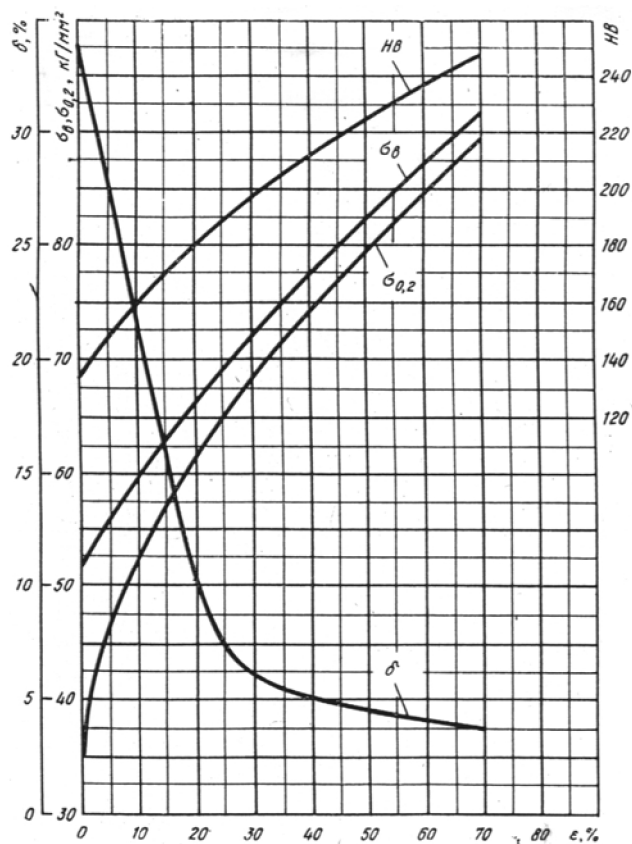


Рис.14. Механические свойства стали 20 в зависимости от степени холодной деформации.

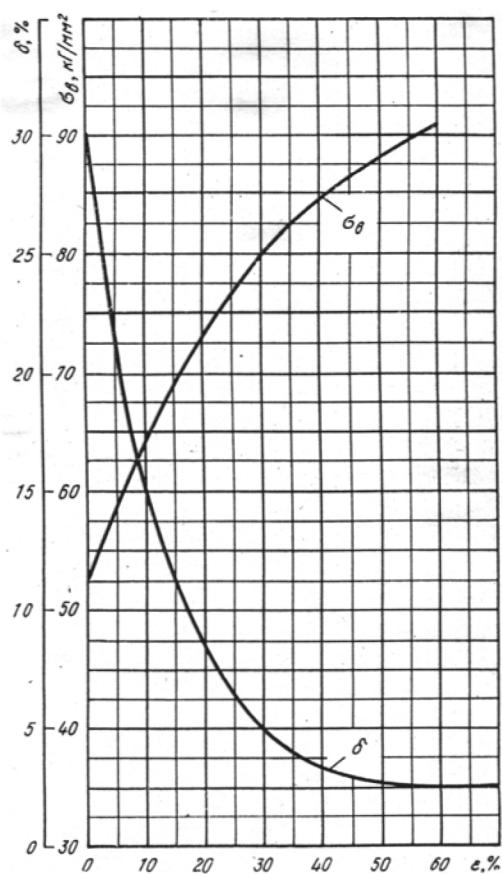


Рис.15. Механические свойства стали 35 в зависимости от степени холодной деформации.

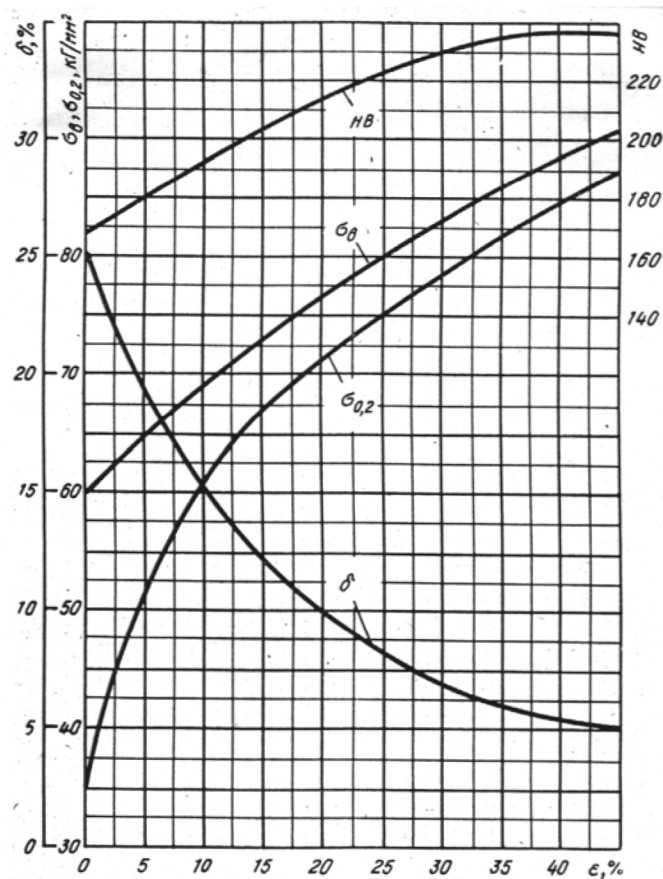


Рис.16. Механические свойства стали 40 в зависимости от степени холодной деформации.

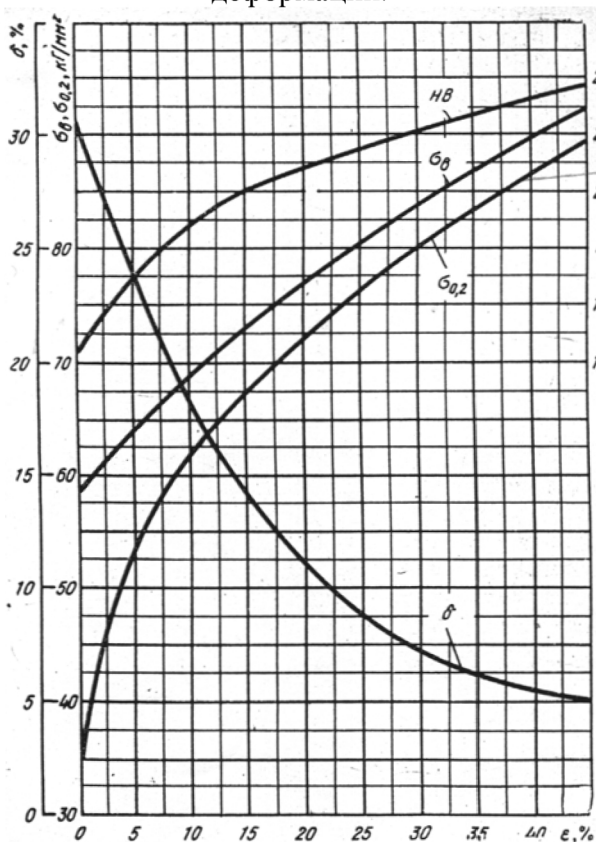


Рис.17. Механические свойства стали 45 в зависимости от степени холодной деформации.

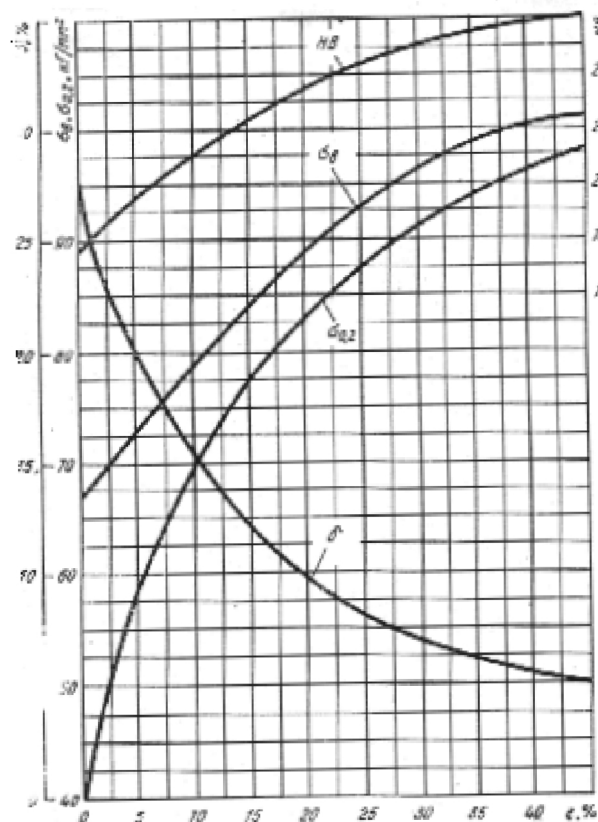


Рис.18. Механические свойства стали 50 в зависимости от степени холодной деформации.

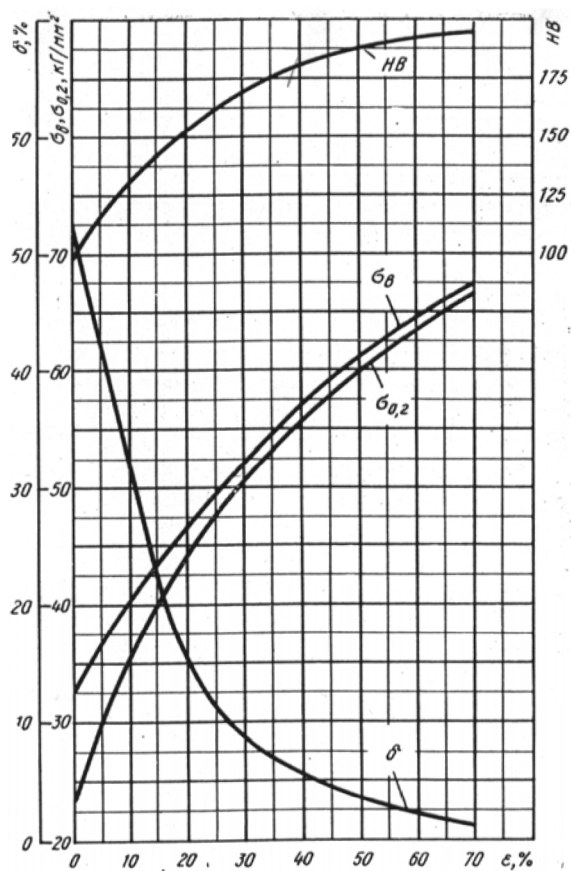


Рис.19. Механические свойства стали 08ГСЮТ в зависимости от степени холодной деформации.

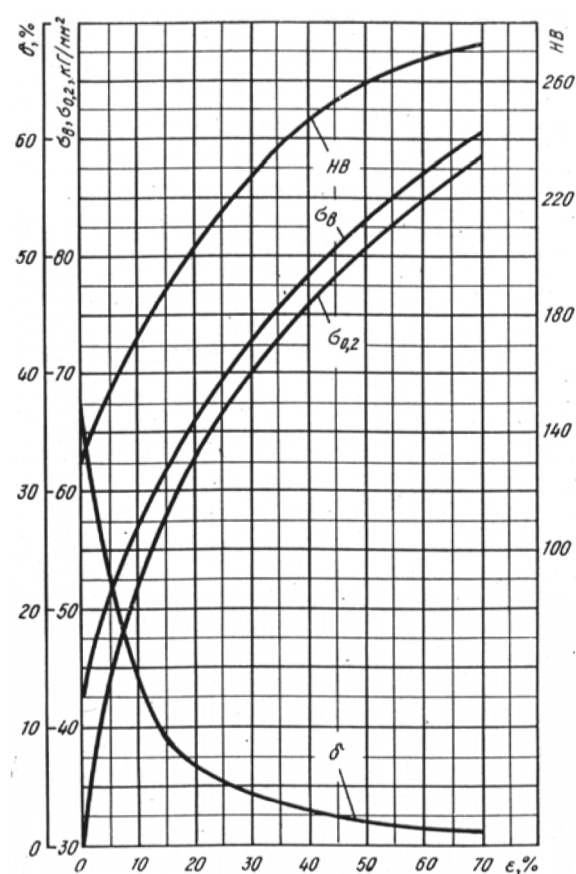


Рис.20. Механические свойства стали 18ЮТ в зависимости от степени холодной деформации.

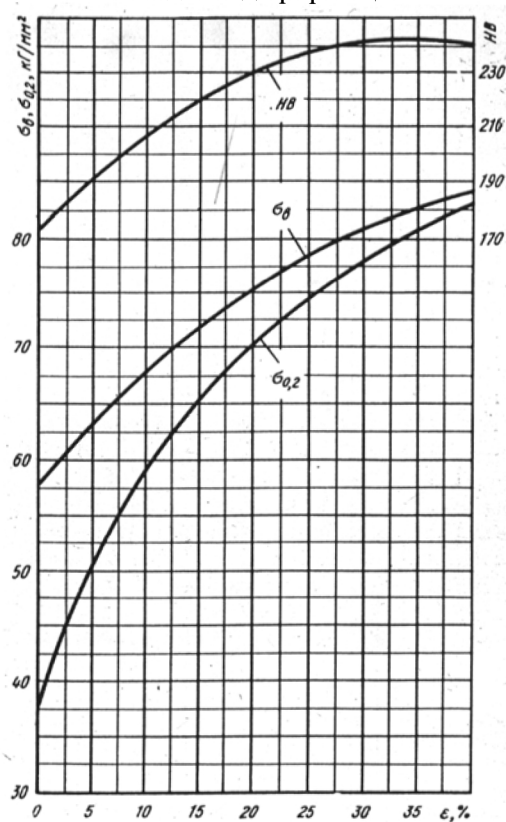


Рис.21. Механические свойства стали 25ХГСА в зависимости от степени холодной деформации.

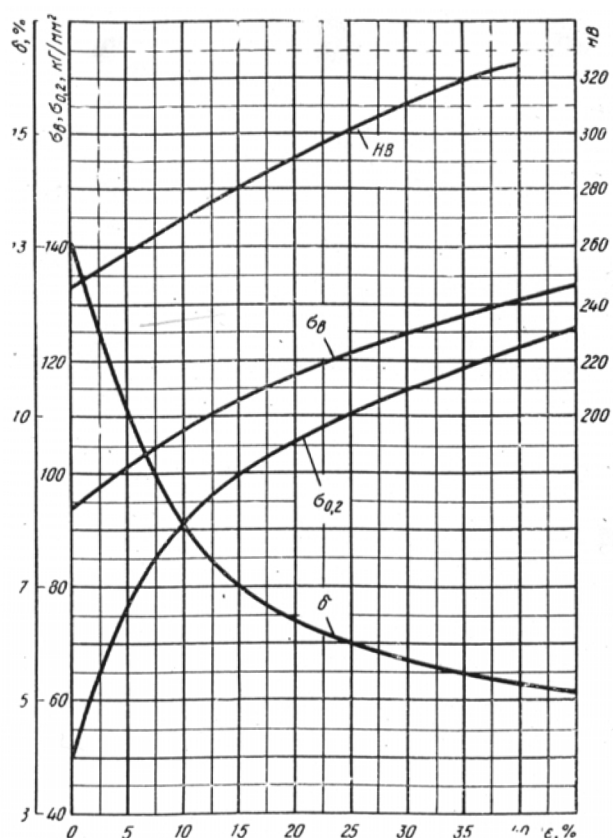


Рис.22. Механические свойства стали 23Х2НВФА в зависимости от степени холодной деформации.

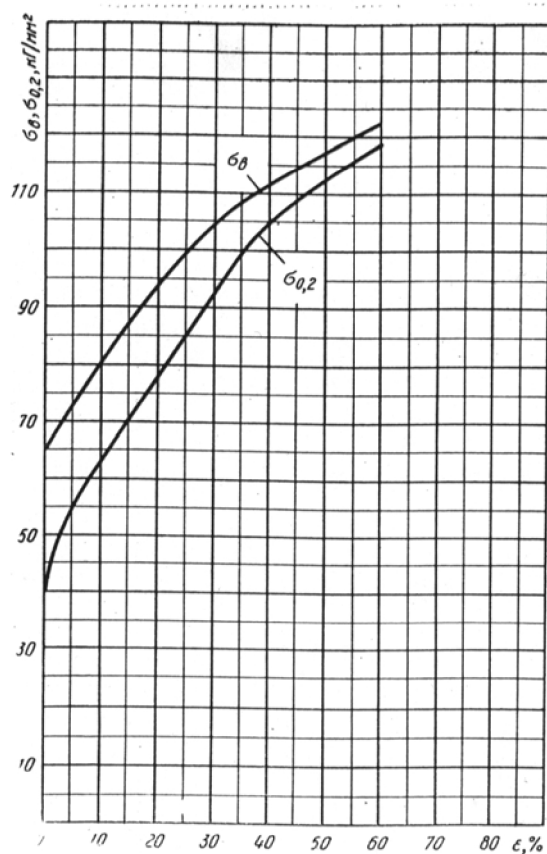


Рис.23. Механические свойства стали 08X18N9T в зависимости от степени холодной деформации.

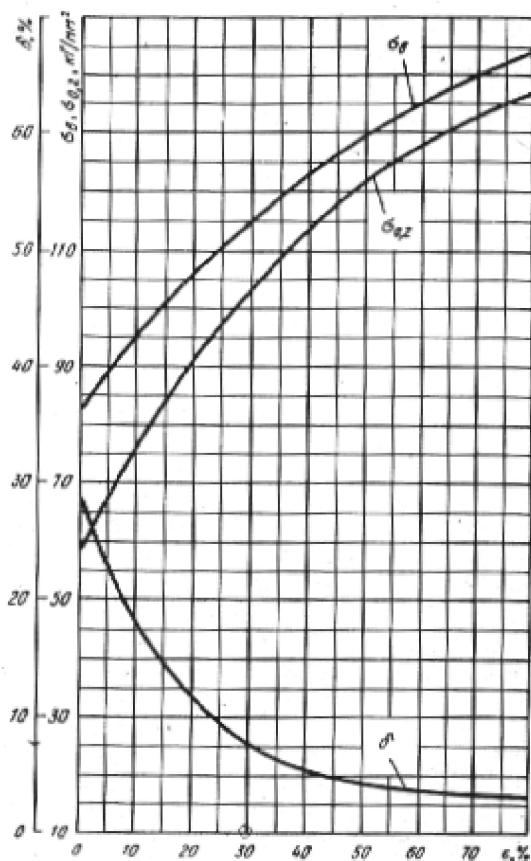


Рис.24. Механические свойства стали 12X18N10T в зависимости от степени холодной деформации.

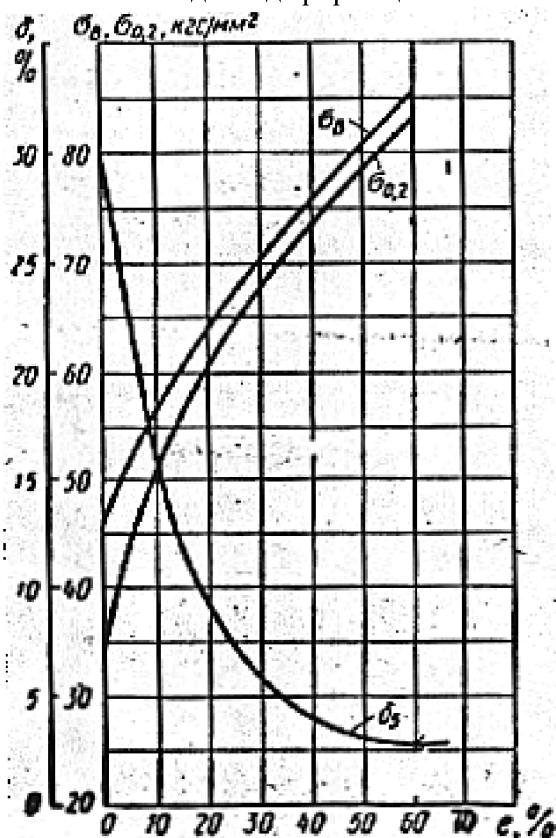


Рис.25. Механические свойства стали 10Г2 в зависимости от степени холодной деформации.

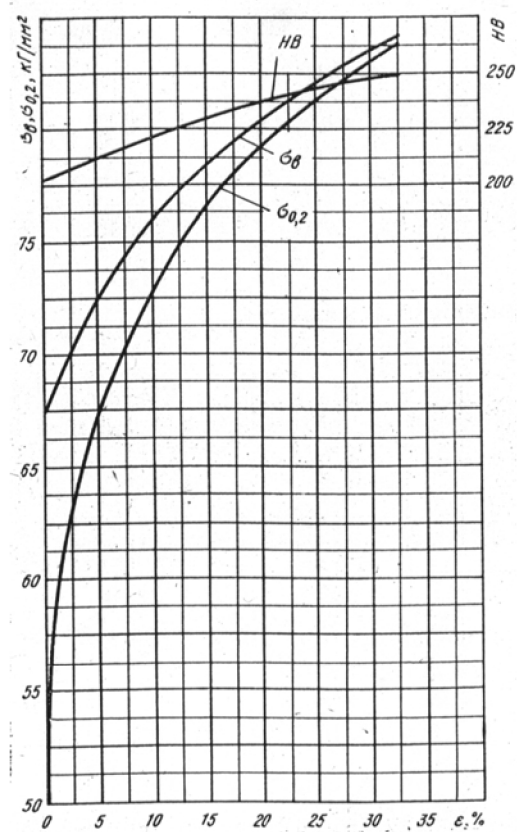


Рис.26. Механические свойства стали 12Г2 в зависимости от степени холодной деформации.

ГЛАВА 11. ТИПИЧНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Для практического использования листовых полуфабрикатов часто устанавливают типичные механические свойства (осреднённые) материалов для проведения технологических расчётов (табл.39).

Таблица 39

Марка материала	Состояние материала	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_B/\sigma_{0,2}$	δ , %	δ_P , %	ψ , %	n	k, кг/м ²	$r_{\min}/S$
Ст 2	г/кат	380	250	0,66	22	16	64	-	-	0,7
Ст 3кп	г/кат	420	290	0,69	18	12	62	-	-	0,8
08кп	норм.	385	220	0,57	39	25	75	0,156	59	0,2
08кп	отж.	330	200	0,60	41	26	75	0,155	60	0,2
08пс	отж.	340	190	0,56	36	22	73	0,156	59	0,2
10кп	отж.	360	210	0,58	33	21	72	0,156	60	0,25
10, 10пс	норм.	400	240	0,60	32	20	68	0,156	61	0,25
15кп, 15пс, 15	норм.	440	280	0,63	32	19	67	0,155	67	0,3
15кп, 15пс, 15	отж.	390	235	0,60	32	19	65	0,152	67	0,3
20кп, 20пс, 20	норм.	480	300	0,64	30	17	63	0,160	75	0,4
25	норм.	500	340	0,68	24	15	61	0,161	81	0,6
25пс	отж.	490	320	0,65	26	16	62	0,160	81	0,5
30	отж.	530	370	0,69	23	14	60	0,168	85	0,7
35		540	390	0,69	22	14	58	0,162	91	0,8
40	отж.	610	420	0,69	21	13	56	0,165	95	1,0
45		680	460	0,69	20	12	55	0,17	109	1,0
08Ю	отж.	350	200	0,57	40	26	75	0,156	60	0,2
10ЮА	отж.	380	230	0,60	35	23	72	0,16	62	0,2
15ЮА	отж.	400	240	0,60	31	22	70	0,155	68	0,3
20ЮА	отж.	450	290	0,64	30	17	67	0,150	75	0,4
18ЮТ	отж.	480	340	0,70	29	16	68	0,164	82	0,5
08ГСЮТ(Ф)	отж.	440	320	0,70	35	24	72	0,162	80	0,4
10Г2А	отж.	500	330	0,67	32	18	62	0,163	76	0,6
12Г2А	отж.	560	370	0,67	30	17	60	0,165	88	0,8
25ХГСА	отж.	650	420	0,65	25	14	54	0,161	105	1,0
30ХГСА	отж.	700	450	0,66	22	13	52	0,166	111	1,5
30ХГСН2А	отж.	750	490	0,66	21	12	50	0,169	120	1,5
10Х18Н9Т	закалка	660	310	0,47	50	40	57	0,239	115	0,5
08Х18Т1	отж.	560	280	0,50	42	28	52	0,240	113	0,6
12Х17	закалка	680	340	0,50	42	29	53	0,241	115	0,55
08Х13	закалка	450	310	0,68	26	17	50	0,163	82	0,55
20Х13	закалка	540	400	0,74	23	13	47	-	-	0,75
03Х17Н14М3	закалка	550	270	0,850	42	31	53	-	-	0,55
15Х18Н12С4 ТЮ (ЭИ 654)	закалка	800	430	0,54	39	24	52	0,26	121	0,8

Примечание: 1. Значения n и k характеризуют аппроксимацию кривых упрочнения в виде степенной функции $\sigma_s^* = \sigma_i = k\epsilon_i^n$.

2. В таблице приведены осреднённые значения механических свойств листовых материалов.

3. Величина $r_{\min}/S$ характеризует минимально допустимый радиус гибки.

ГЛАВА 12. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ И ШТАМПОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

12.1. Цели и виды термообработки

Термическая обработка может быть представлена в виде следующих направлений:

- термообработка поставляемых листов и лент в холодноштамповочное производство, осуществляемая на металлургических заводах (поставщиках);
- термообработка для восстановления пластичности холоднодеформированного металла в процессах производства деталей в листоштамповочных цехах;
- окончательная термическая или химико-термическая обработка для получения требуемых свойств штампованного изделия.

12.2 Термообработка поставляемой листовой стали

Стандарты на поставку листовой стали представляют заказчику возможность весьма широкого выбора стали как по химическому составу, так и по уровню механических свойств. Требуемые свойства могут существенно отличаться от свойств, получаемых непосредственно после прокатки, и в этом случае возникает необходимость в термической обработке. Такая термическая обработка осуществляется на завершающих стадиях цикла производства листа и является окончательной.

Основными видами термической обработки, используемыми при производстве листового проката, являются:

Рекристаллизационный отжиг — для восстановления пластичности стали после холодной деформации. Такому отжигу подвергают всю тонколистовую холоднокатаную качественную сталь для холодной штамповки. Рекристаллизационный отжиг применяют и на промежуточных стадиях изготовления листа для повышения пластических свойств стали и облегчения ее последующей прокатки.

Отжиг — в основном для горячекатаных листов, свойства которых не соответствуют требованиям стандартов;

Нормализация (иногда с высоким отпуском) — с целью измельчения зерна и повышения его однородности, устранения полосчатости структуры, уменьшения склонности к деформационному старению, улучшения штампуемости.

Закалка и высокий отпуск (улучшение) — для обеспечения требуемых высоких механических свойств.

Режимы термической обработки назначают в соответствии с общими принципами выполнения названных операций с учетом химического состава и исходной структуры стали, требуемых свойств после термической обработки. Конкретные температурно-временные параметры выполнения различных

операций должны быть установлены с учетом состава и назначения стали, предварительной обработки, геометрии полосы, массы садки, теплотехнических характеристик нагревательных устройств.

Для термической обработки листового проката используют следующие печи и агрегаты: а) проходные роликовые печи (в основном для нормализации и заковки толстолистовой стали); б) вертикальные (башенные) протяжные печи. Их применяют для непрерывной скоростной термической обработки листовой стали толщиной ≤ 1 мм; в) горизонтальные протяжные печи. Они предназначены для непрерывной термической обработки стали толщиной ≤ 6 мм; г) печи садочного типа (колпаковые, камерные с выдвижным подом). Предназначены для обработки листа в стопах или рулонах.

12.3 Термическая обработка листового проката из углеродистой стали

Тонколистовая сталь

Термическая обработка холоднокатаного листа регулирует конечную структуру и свойства стали с целью ее разупрочнения и обеспечения наилучшей штампуемости. Для этого используют рекристаллизационный отжиг, реже нормализацию. Основная часть тонколистовой стали предназначена для холодной штамповки. Для этой цели используют низкоуглеродистые кипящие и спокойные стали. Для предотвращения склонности к старению вводят алюминий, ванадий, титан.

Наилучшая штампуемость обеспечивается при структуре равноосного феррита с размером зерна № 5-7 (для кипящих сталей), либо неравноосного (оладьеобразного, сплюсненного) феррита (для спокойных сталей) с небольшим количеством мелкозернистого структурно свободного цементита. Спокойная сталь с неравноосным ферритным зерном характеризуется более низкими пределом текучести и отношением σ_T/σ_B , меньшей твердостью и большей глубиной выдавливания (по Эриксену).

У нестаряющихся сталей (содержащих алюминий, титан и ванадий) азот и углерод должны быть связаны в стабильные нитриды и карбиды.

Для производства подката холоднокатаного листа для глубокой и особо сложной вытяжки рекомендуют следующие режимы:

1. Степень обжата в последней клетке стана горячей прокатки должна быть выше критической и составлять 15—20 %.

2. Температура конца прокатки (для сталей 08кп, 08пс, 08Ю) должна находиться в пределах 860—920 °С, что соответствует аустенитному состоянию стали и приводит после охлаждения к получению зерна феррита №7—9 ГОСТ 5639—82.

3. Охлаждение в интервале 750—550 °С после выхода полосы из последней клетки стана горячей прокатки перед смоткой должно быть быстрым, чтобы обеспечить благоприятную форму цементитных включений.

4. Температура смотки полосы в рулон должна составлять 550—650 °С (в зависимости от марки стали). При более высокой температуре смотки ввиду

последующего неоднородного и весьма медленного охлаждения листа в рулоне возникает неравномерность зерен феррита, происходит коалесценция перлита и образование грубой сетки цементита.

При холодной прокатке оптимальная величина обжата составляет 50—60 % для спокойных сталей, для кипящих этот интервал шире.

В общем случае температуру рекристаллизационного отжига назначают в пределах от 640°C до A_{c1} . При более низкой температуре зерно получается мельче оптимального размера, что ухудшает штампуемость стали. При нагреве выше A_{c1} ввиду частичной перекристаллизации возникает опасность образования крупной и разнотекстурной структуры, грубой цементитной сетки и участков перлита, а также слипания кромок витков в рулоне. Обычно тонкий листовой металл для глубокой вытяжки отжигают при $640 - 670^{\circ}\text{C}$, более толстый — выше 670°C . Так как алюминий замедляет процессы рекристаллизации, спокойные стали отжигают при повышенных температурах (вблизи A_{c1}), что также облегчает образование нитридов и повышение устойчивости к старению.

Большую часть листового металла для глубокой вытяжки отжигают в рулонах в колпаковых печах с принудительной циркуляцией защитной атмосферы.

Температура нагрева. Для кипящих сталей назначают температуру в пределах $680—700^{\circ}\text{C}$, для спокойных — в пределах $700—720^{\circ}\text{C}$.

Время нагрева и выдержки. Для сталей продолжительность нагрева и выдержки назначают из условия получения допустимого перепада температуры по сечению рулона. Этот перепад не должен превышать $20—40^{\circ}\text{C}$ для стали ВОСВ, ОСВ, СВ; $40—50^{\circ}\text{C}$ — для ВГ и Г; $50—70^{\circ}\text{C}$ — для Г и Н.

Скорость охлаждения. Скорость охлаждения не оказывает существенного влияния на геометрию основных структурных составляющих (феррита и цементита), но влияет на свойства стали в связи с переменной растворимостью и выделением азота и углерода из феррита. Наиболее велики изменения растворимости углерода в интервале $720-400^{\circ}\text{C}$, азота - в интервале $600—800^{\circ}\text{C}$. Для предотвращения склонности стали к старению охлаждение в указанных интервалах должно быть медленным со скоростью, не превышающей $40^{\circ}\text{C}/\text{час}$.

Толстолистовая сталь

Толстолистовую горячекатаную сталь производят в виде листов, рулонов, полосы с весьма широким диапазоном свойств. В зависимости от назначения и условий обработки у потребителя сталь может быть поставлена как без термической обработки, так и после смягчающей либо упрочняющей термической обработки. Для регулирования механических свойств в качестве окончательной термической обработки используют отжиг, нормализацию (часто с высоким отпуском) и закалку с высоким отпуском.

Термическую обработку проводят в проходных роликовых печах, при этом для травленных полос используют защитные атмосферы.

Нормализацию (с высоким отпуском) применяют для повышения пластичности стали толщиной не более 15 мм, предназначенной для холодной штамповки.

Закалка с высоким отпуском позволяет уменьшить склонность сталей к деформационному и термическому старению и повысить характеристики прочности.

Температура нормализации и закалки некоторых сталей составляет:

08кп, 10кп, 15кп, 08, 10, 15Г, Ст1, Ст2	920—940 ⁰ С
20, 20Г, ВМСт3, Ст3	900—910 ⁰ С
25, 30, 30Г, Ст4, Ст5	860—880 ⁰ С
35, 40, 45, 45Г	820—840 ⁰ С
50, 50Г, 60Г, 65Г, 70, 70Г	780—820 ⁰ С.

Охлаждение при закалке проводят в закалочных устройствах (прессы, душирующие установки, роликовые закалочные машины).

Отпуск осуществляют в проходных (реже садочных) печах при 600—700 ⁰С. Время нагрева при отпуске в проходных печах определяют из расчета 1,5—4,0 мин/мм, охлаждение—на воздухе или распыленной водой.

12.4 Термическая обработка листового проката из легированных сталей

Прокат из легированных сталей поставляется тонко- и толстолистовым как без термической обработки, так и в термически обработанном состоянии. В зависимости от требуемых механических свойств готовых листов применяют следующие виды термической обработки: отжиг, нормализацию, нормализацию с высоким отпуском, закалку с высоким отпуском.

Для листов из низколегированных сталей в основном используют нормализацию или закалку с высоким отпуском. Нормализация позволяет повысить в основном ударную вязкость стали; закалка с отпуском в 1,5—1,8 раза повышает характеристики прочности стали при сохранении достаточно высокой пластичности и хладостойкости, снижает склонность к деформационному старению.

Листы из легированных конструкционных сталей подвергают отжигу, отпуску, нормализации или улучшению.

Высоколегированные стали аустенитного и аустенито-ферритного классов закалывают, а ферритного и мартенситного — отжигают или подвергают высокому отпуску.

Термическую обработку (нормализацию, закалку, отпуск) листов толщиной до 50 мм проводят в проходных роликовых печах, более толстых—в печах садочного типа (преимущественно в камерных с выдвижным подом).

Температура нагрева некоторых сталей при различных операциях термической обработки приведена в табл.40.

Время нагрева и выдержки назначают с учетом теплотехнических характеристик печей, в общем случае для проходных роликовых печей продолжительность нагрева может быть ориентировочно определена из

расчета 1,0—2,0 мин/мм для нормализации и закалки, 3,0—6,0 мин/мм для отпуска.

Таблица 40

Температура нагрева листов из легированных сталей при различных операциях термической обработки

Марка стали	Температура, °С		
	отжига	нормализации (Н), закалки (З)	отпуска
Низколегированные стали			
14ХГС, 17Г1С, 17ГС, 16ГС, 14Г2	-	900-920(Н)	-
09Г2, 10ХСНД, 10Г2С1Д	-	930-950(Н, З)	690-710
09Г2С, 09Г2СД, 10Г2С1	-	940-960 (Н, З)	660-690
Легированные конструкционные стали			
38ХА, 30Х, 35Х, 40Х, 45Х	750-800	820-840(Н)	690-710
20ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА, 25ХГФ	750-800	840-860(Н)	690-710
Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные стали:			
Аустенитный класс			
08Х22Н6Т, 10Х14Г14Н3, 10Х14АГ13,	-	1000-1050(З)	-
20Х20Н14Г2,	-	1050-1080(З)	-
20Х13Н4Г9, 10Х14Г14Н4Т,	-	1080-1100(З)	-
12Х4Г9АН4, 03Х17Н14М3,	-	1100-1150(З)	-
20Х25Н20С2, 12Х25Н16ТАР	-		
10Х23Н18	-		
Мартенситный класс			
12Х13, 20Х13, 30Х13, 40Х13,	840-880	-	-
11Х11Н2ВМФ			
Ферритный класс			
14Х17Н2, 08Х13, 12Х17, 08Х17Т,	-	760-780	-
08Х18Т1, 15Х25Т, 15Х28			

Устранение наклёпа и восстановление пластичности холоднодеформированного металла производится путём последующей термической обработки. В зависимости от температуры нагрева в деформированном металле может происходить или процесс возврата, или процесс рекристаллизации.

Возврат (отдых) происходит при температуре нагрева выше 0,25-0,3 температуры плавления металла и заключается в возвращении атомов в положение устойчивого равновесия, и искажённой кристаллической решётки – к первоначальной форме. В результате возврата происходит снятие большей части остаточных напряжений и частичное восстановление первоначальной пластичности металла.

Рекристаллизация происходит при температурах нагрева выше 0,4 температуры плавления металла и заключается в изменении размеров, формы и ориентировки деформированных зёрен путём зарождения и роста зёрен изменённой и уравновешенной структуры.

В результате рекристаллизации происходит полное снятие остаточных напряжений, образование округлённой формы зёрен, понижение сопротивления деформированию и дальнейшее повышение пластичности металла.

Температура отжига зависит от сорта отжигаемого материала и степени деформации (обратно пропорционально последней). Продолжительность отжига зависит от температуры и толщины отжигаемых изделий. Зависимость между температурой отжига, величиной зерна и степенью деформации выражается в виде диаграмм рекристаллизации (рис. 26).

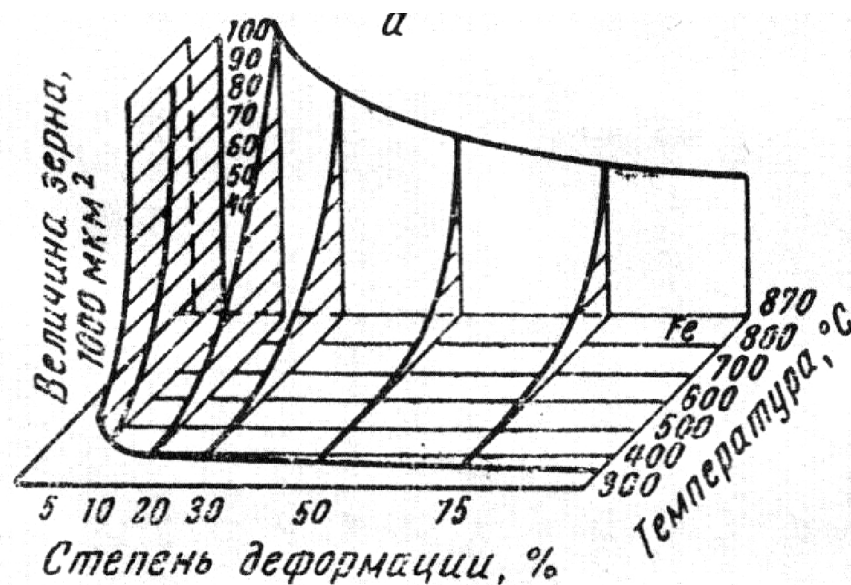


Рис.27 – Диаграмма рекристаллизации малоуглеродистой стали

По способности к упрочнению металлы, применяемые для операций листовой штамповки (в основном для глубокой вытяжки), условно подразделяются на 2 группы:

- средне упрочняющиеся, к ним относятся низкоуглеродистые и среднеуглеродистые стали (08, 08кп, 08Ю, 10, 15, 20, 30 и т.п.)
- сильно упрочняющиеся (аустенитные стали типа 1X18H10T, легированные стали типа 25ХГА, 08Х18Т1, 12Х13 и т.п.)

Слабо и весьма слабо упрочняющиеся металлы для глубокой вытяжки, как правило, не применяются.

При разработке оптимального технологического процесса металлы первой группы могут практически применяться для гибки, вытяжки или вытяжки-формовки деталей простой формы без промежуточного отжига; металлы второй группы могут подвергаться отжигу после одной – двух операций вытяжки.

В таблице 41 приведено ориентировочное (среднее) количество вытяжек, выполняемых без промежуточного отжига при оптимальной величине коэффициентов вытяжки и правильном сочетании остальных факторов.

Таблица 41

Количество операций вытяжки, выполняемых без промежуточного отжига

Материал	Количество операций	Материал	Количество операций
Сталь 08, 10, 15, 20, 08кп, 10кп, 15кп, 08Ю, 08ГСЮТ(Ф)	3-4	Нержавеющие стали аустенитного класса	1-2
Сталь 35, 4, 45, 09Г2С, 250ХГСА, 30Х, 35Х, 40х	2-3	Легированные стали мартенситного и ферритного класса	1-2

На практике применяют два вида отжига: высокий и низкий (рекристаллизационный). Высокий отжиг применяется в качестве межоперационного отжига наклёпанных металлов в тех случаях, когда низкий отжиг не даёт хороших результатов. В таблице 42 приведены режимы отжига для различных металлов и сплавов.

Таблица 42

Режимы отжига для некоторых металлов и сплавов

Материал	Вид отжига (В-высокий, Н-низкий)	Температура отжига, °С	Время выдержки, мин	Режим охлаждения
Сталь 08, 10, 15, 08кп, 10кп, 15кпЮ, 08Ю, 10Ю, 08ГСЮТ(Ф)	В	760-790	20-40	На воздухе в ящиках или контейнерах
Ст0, Ст1, Ст2	В	900-920	- // -	- // -
Сталь 20, 25, 30, Ст3, Ст4	В	720-740	До 60	Вместе с печью
20ХГСА, 30ХГСА, 25ХГФ, 30Х, 35Х, 40Х	В	760-810	20-50	- // -
Аустенитная нержавеющая сталь типа 10Х18Н9Т	В	1150-1170	25-40	Струёй воздуха или в воде
Сталь 08, 10, 15, 20, 08кп, 10кп, 15кп, 08Ю, 10Ю, 08ГСЮТ(Ф)	Н	620-680	20-40	На воздухе
Ст1, Ст2, Ст4	Н	640-670	- // -	- // -
Сталь 30, 35, 40 45 (исходная структура – зернистый перлит)	Н	650-680	- // -	- // -
Сталь 25Х, 30Х, 20ХГСА, 30ХГСА	Н	650-700	12-20	- // -
Стали мартенситного класса типа 12Х13, 20Х13, 11Х11Н2ВМФ	В	840-880	25-40	- // -

ГЛАВА 13. АНИЗОТРОПИЯ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ

Ранее в разделе 1 указывалось, что анизотропия листовых материалов наряду с механическими и технологическими свойствами существенно влияет на процессы холодной штамповки. Ниже в табл.43 приводятся технические деформационные показатели анизотропии для наиболее распространённых листовых сталей.

Таблица 43

Анизотропия листовых материалов из низкоуглеродистых сталей

Марка стали	μ_{21}	μ_1	μ_{12}	r_0	r_{45}	r_{90}
08кп (полный отжиг) $s=1$ мм	0,56	0,41	0,67	1,31	0,70	2,12
08кп (неполный отжиг) $s=1$ мм	0,51	0,49	0,60	1,06	0,96	1,50
08кп (холоднокатаная) $s=1$ мм	0,61	0,56	0,54	1,59	1,30	1,20
08Ю (холоднокатаная) $s=0,8 \dots 1,2$	0,68- 0,69	0,57- 0,61	0,66- 0,67	2,10- 2,13	1,35- 1,48	1,90- 1,96
08Ю (горячекатаная) $s=4$ мм	0,54- 0,56	0,54- 0,55	0,54- 0,56	1,21- 1,34	1,14- 1,27	1,16- 1,30
08сп (холоднокатаная) $s=0,8 \dots 1,2$ мм	0,60- 0,63	0,55- 0,58	0,56- 0,65	-	-	-
10Ю (полный отжиг) $s=0,8 \dots 1,5$ мм	0,35- 0,43	0,45- 0,46	0,42- 0,44	0,55- 0,76	0,81- 0,90	0,73- 0,77
Сталь 20 (горячекатанная) $s=4$ мм	0,45- 0,46	0,41- 0,42	0,42- 0,45	0,81- 0,86	0,69- 0,73	0,72- 0,83
Ст 3пс (полный отжиг) $s=2,0 \dots 4,0$	0,55- 0,56	0,56- 0,60	0,50- 0,54	1,22- 1,31	1,31- 1,5	1,00- 1,21

Библиографический список

1. Н.Ф.Болховитинов. Свойства и применение листовой стали для холодной штамповки.- М.:Машгиз, 1962.
2. Испытания металлов. Сборник под ред.К.Нитцше – М.:Металлургия, 1967.
3. Ф.В.Гречников. Деформирование анизотропных материалов – М.:Машиностроение, 1998.
4. В.Н.Журавлёв, О.И.Николаева. Машиностроительные стали: Справочник – 4-е изд.перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 1992.
5. В.П.Романовский. Справочник по холодной штамповке – М.-Л.:Машиностроение, 1981.
6. В.М.Аникин, Ю.С.Лукашин. Справочник конструктора штампов для холодной штамповки – М.:Машгиз, 1960.
7. Металловедение и термическая обработка стали: Справ.изд. в 3-х т./ Под ред.Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. – 4 изд. перераб. и доп. Т.1, 2, 3 – М.:Металлургия, 1983.
8. В.В.Шевелёв, С.П.Яковлев. Анизотропия листовых материалов и её влияние на вытяжку. – М.:Машиностроение, 1972.
9. В.Дедек. Полосовая сталь для глубокой вытяжки.- М.:Металлургия, 1970ю
10. А.Ю.Аверкиев. Методы оценки штампуемости листового металла. – М.:Машиностроение, 1985.
11. А.Д.Комаров. Штамповка листовых и трубчатых изделий полиуретаном. Л.:ЛДНТП, 1975.
12. Г.В.Мотовилин, М.А.Масино, О.М.Суворов. Автомобильные материалы: Справочник.- 3-е изд., перераб. и доп.- М.:Транспорт, 1989.
13. Материалы в машиностроении. Справочник под ред.И.В.Кудрявцева. Т.2, 3 М.:Машиностроение, 1967, 1968.
14. А.К.Тихонов. Новые технологические решения и материалы в автомобилях ВАЗ// Автомобильная промышленность. 1984, №1.
15. Марочник сталей и сплавов/ Под ред.И.Р.Крянина и др. 3-е изд., исправ. и доп.- М.:ЦНИИТМаш, 1977.
16. Справочник по авитационным материалам. Т.1 Конструкционные стали/Отв.ред. А.Т.Туманов. 5-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 1965.
17. Соколовский П.И. Малоуглеродистые и низколегированные стали. – М.:Металлургия, 1966.
18. Современные материалы в автомобилестроении: Справочник/ В.С.Дорфман, И.И.Леттфорд и др.- М.:Машиностроение, 1977.
19. Марочник сталей и сплавов/В.Г.Сорокин, А.В.Волосникова, С.А.Вяткин и др.; под общ.ред. В.Г.Сорокина – М.:Машиностроение, 1989.

20. В.А.Кроха. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: Справочник – М.:Машиностроение, 1980.
21. Ю.Л.Поляков. Листовая штамповка легированных сплавов.- М.:Машиностроение, 1980.
22. В.С.Золотаревский. Механические свойства металло-3 изд. перераб. и доп.- М.:МИСИС, 1998.
23. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов: Справ.пособие. Т.1. Методы исследования механических свойств металлов. М.:Машиностроение, 1974.
24. Холодная объёмная штамповка. Справочник. Под ред. д.т.н., проф. Навроцкого Г.А. М.:Машиностроение, 1973.
25. Ким-Хенкина. Конструкционные стали: Справочные данные//Металловедение и термическая обработка металлов. 1981 №2, 1983, №10, 12.
26. Б.Н.Арзамасов, В.И.Макарова, Г.Г.Мухин и др. Материаловедение: Учебник для вузов. Под общ.ред. Б.Н.Арзамасова, Г.Г.Мухина – 3 изд. перераб.и доп. – М.:Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2001.
27. А.В.Третьяков, В.И.Зюзин. Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением. 2-е изд.-М.:Металлургия, 1973.
28. В.Ф.Барная, С.Е.Рокотян, Ф.И. Рузанов. Формоизменение листового металла. М.:Металлургия, 1976.
29. М.А.Беняковский, Е.П.Сергеев. Дефекты поверхности автомобильного листа (альбом) 2-е изд. М.:Металлургия, 1974.
30. Предельное формоизменение при штамповке деталей летательных аппаратов: Учеб.пособие/ В.В.Уваров, Ю.М.Арышенский, Ф.В.Гречников: Куйбыш.авиаци.ин-т, Куйбышев, 1978.
31. Гуляев А.П. Металловедение.- М.:Металлургия, 1986. 542 с.
32. Гольдштейн М.И., Грачёв С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.:МИСИС, 1999.- 408 с.
33. Геллер Ю.А., Рахтадт А.Г. Материаловедение. – М.:Металлургия, 1989.456 с.
34. Коттрел А.Х. Дислокации и пластическое течение в кристаллах. М.:Металлургия, 1958. 267 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Структура конструкционной стали в равновесном состоянии с различным содержанием углерода (феррит и перлит)

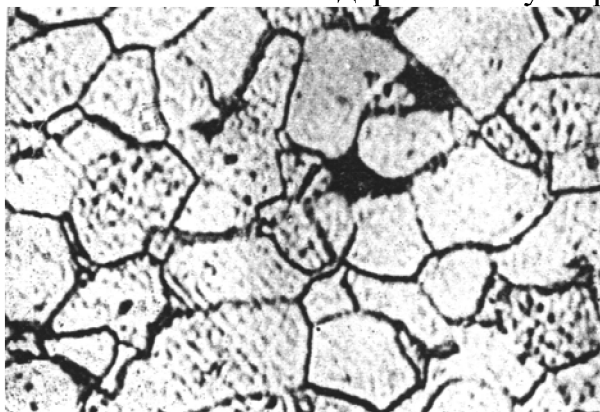


Рис.27. Ст1 (0,1% C), x200

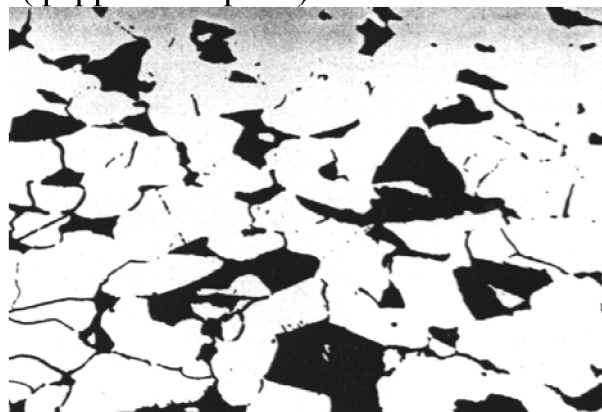


Рис.28. Ст3 (0,21% C), x500

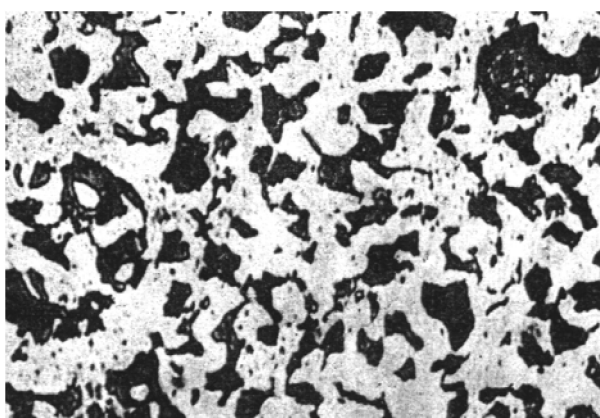


Рис.29. Ст4 (0,27% C), x200

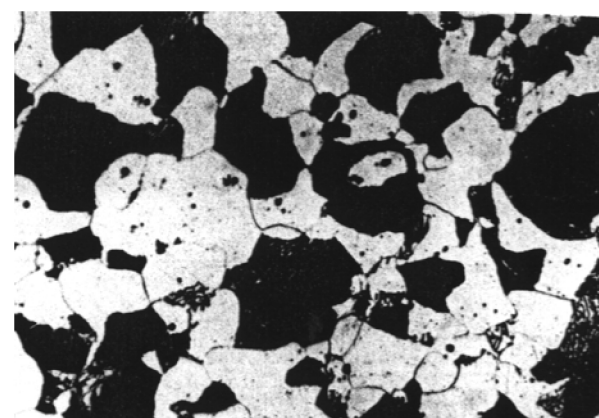


Рис.30. Ст5пс (0,37% C), x500

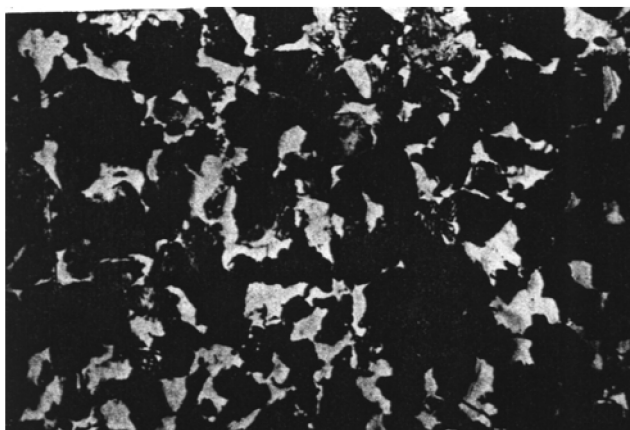


Рис.31. Ст6 (0,49% C), x500



Рис.32. Двухфазная сталь 06ХГР, x500

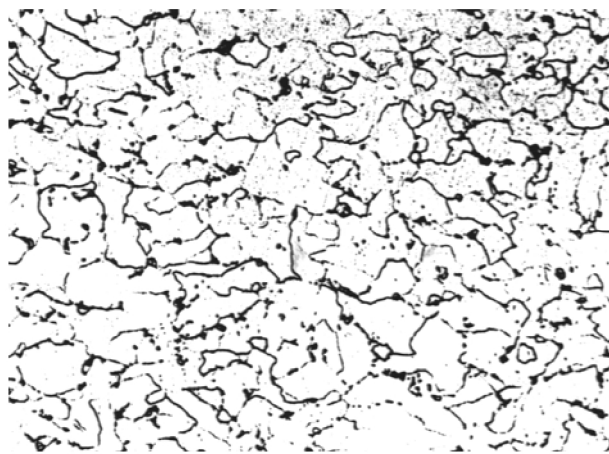


Рис.33. Сталь 08ГСЮТ(Ф), отжиг, х500

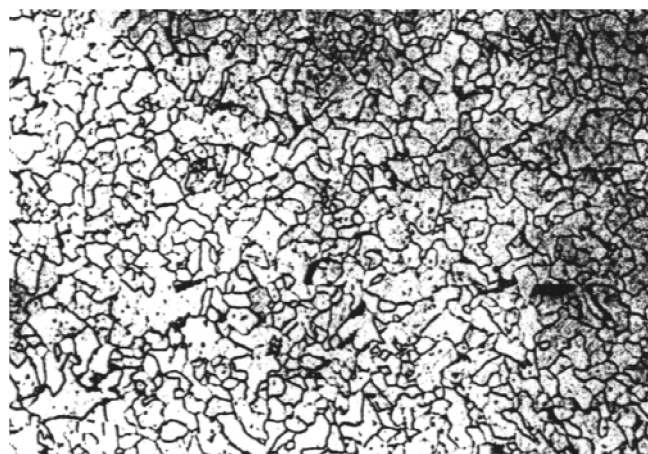


Рис.34. Сталь 08кп, отжиг, х100

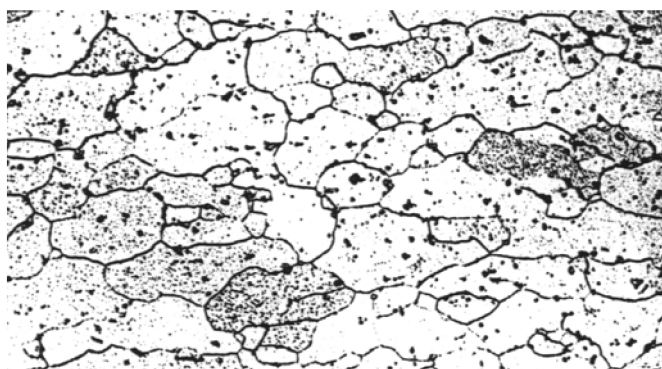


Рис.35. Сталь 08Ю, отжиг, х500

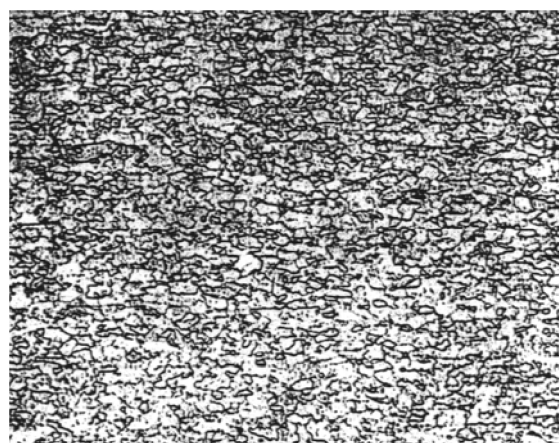


Рис.36. Сталь 10ЮА, отжиг, х100

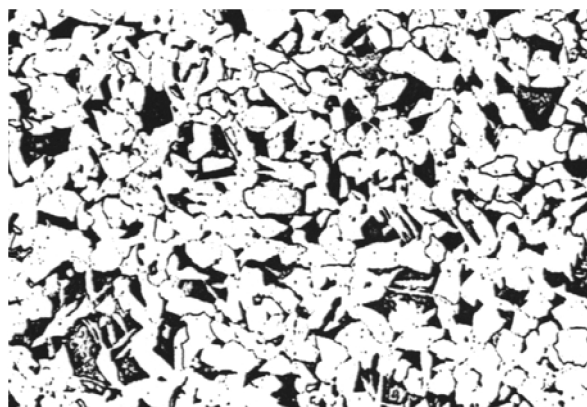


Рис.37. Сталь 12ХН, горячая прокатка, х100

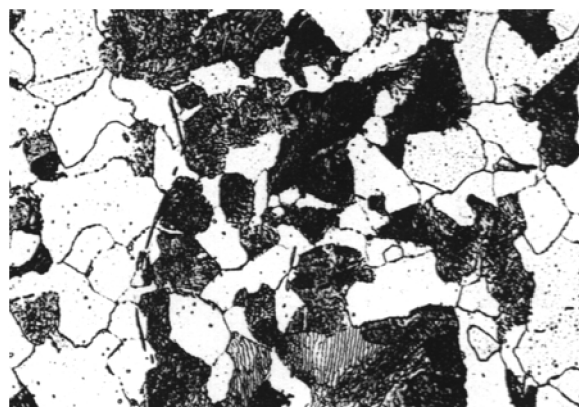


Рис.38. Сталь 25ХГСА, горячая прокатка, х500

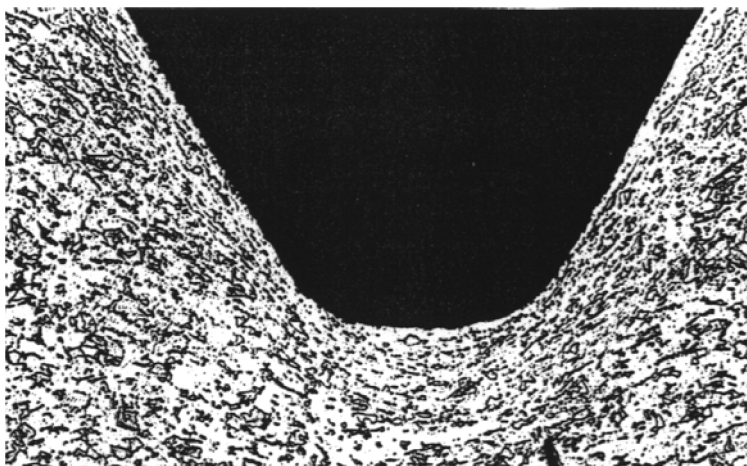


Рис.39 - Микроструктура нагартанной стали, х500

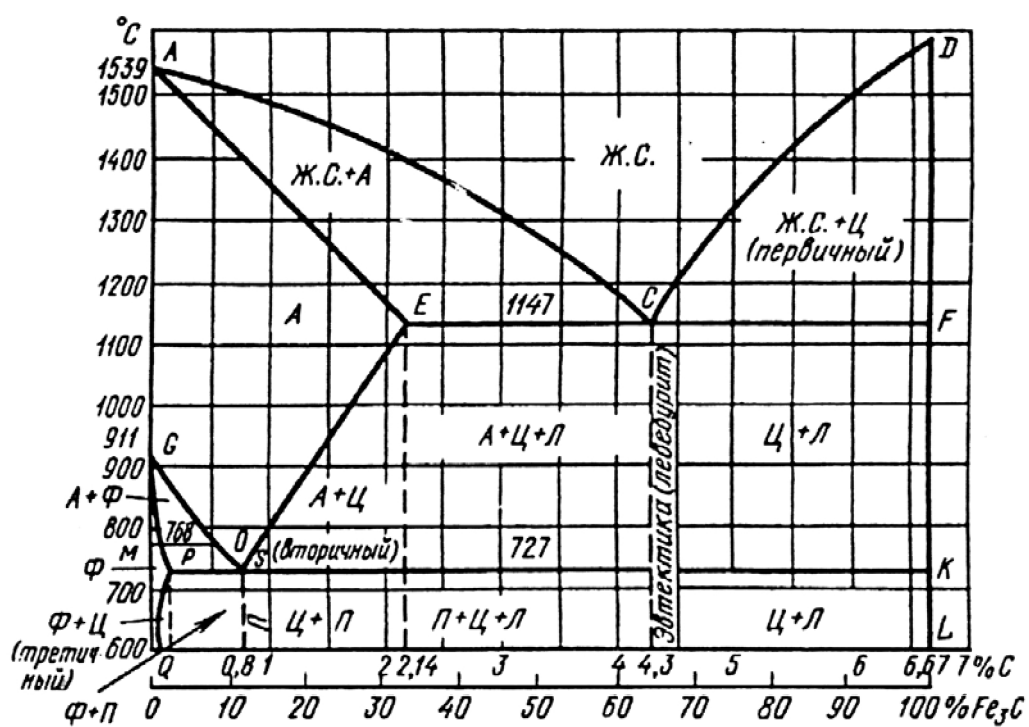


Рис.40. - Диаграмма состояния железо-цементит.