

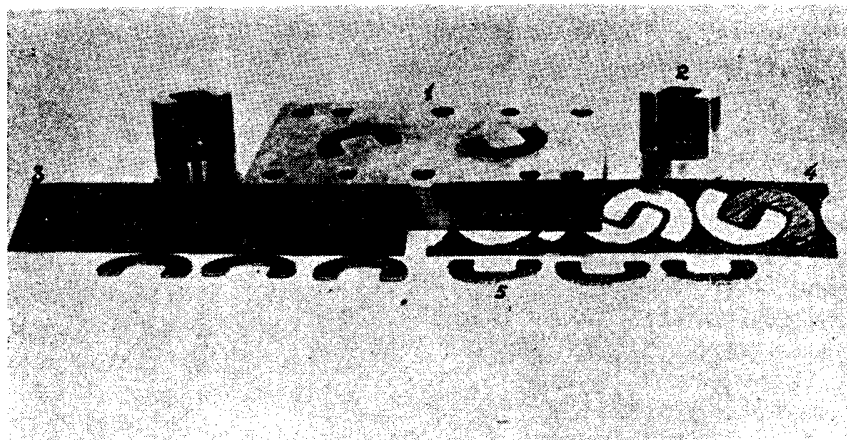
## ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ШТАМПОВ ИЗ ХРОМИСТОЙ СТАЛИ

И. В. СЛОСМАН

### Введение

Одной из существенных задач борьбы за технический прогресс является задача внедрения в производственную практику более совершенных методов обработки металла. С этой точки зрения, наряду с такими положительными явлениями в работе нашей промышленности, как применение литого инструмента из быстрорежущей стали, абразивного инструмента, скоростных методов механической обработки и других мероприятий, способствующих повышению производительности труда, следует отметить стремление ко все более широкому распространению холодной штамповки, как способа обработки металла.

Важнейшим обстоятельством, почти всегда определяющим производительность труда штамповочных цехов и себестоимость их продукции, является стойкость штампов в работе. Эта стойкость зависит от многих причин, но, как показало обследование [1], основными факторами, влияющими на стой-



Фиг. 1. Уменьшено. 1—матрица, 2—пуансон, 3—полоса стали до вырубki, 4—полоса стали после вырубki, 5—вырубаемые детали.

кость штампов, являются правильный выбор стали для штампов и условий их термической обработки. Настоящая работа была посвящена решению такой задачи применительно к характерному случаю работы холодновырубных штампов.

Штампы для вырубki магнитов в холодном состоянии (на фиг. 1 показан комплект такого штампа и вырубаемые им магниты) изготовлялись из стали У10. Стойкость этих штампов в работе была невелика. Их выход из строя обуславливался тем, что после некоторой продолжительности работы длина

рабочей части пуансонов и толщина матрицы оказывались в результате частых заточек, вызываемых деформированием рабочих граней матрицы и пуансонов, настолько малыми, что дальнейшая работа штампа становилась практически невозможной. Малая стойкость штампов в работе заметно удорожала себестоимость изделий и, кроме того, часто тормозила работу штамповочного цеха. Применение различных вариантов термической обработки штампов из стали У10, а также применение высококачественной углеродистой стали марки У10А заметно лучших результатов не давало. Добиваясь эффективного увеличения стойкости вырубных штампов, решили перейти на изготовление этих штампов из легированной стали.

### Цель работы

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы подобрать для указанных выше штампов наиболее подходящую марку стали, а также установить такой режим термической обработки штампов, который обеспечил бы их наибольшую стойкость при работе в тяжелых условиях—при вырубке плоских магнитов в холодном состоянии.

### Выбор стали

При решении вопроса о выборе состава легированной стали для штампов необходимо было иметь в виду, что вводимый в сталь легирующий элемент должен был, прежде всего, способствовать получению в стали более высоких механических свойств. В качестве такого элемента был выбран хром.

Известно, что твердость углеродистой стали под влиянием хрома заметно растет. Это объясняется тем, что при введении в сталь хрома в ней, наряду с карбидами железа, появляются карбиды хрома и сложные хроможелезные карбиды, обладающие более высокой твердостью, чем карбиды железа [2]. Увеличивая твердость стали, хром не делает ее хрупкой. Г. З. Нессельштраус, изучавший вопрос о критических точках и структуре хромистой стали, закаливал образцы высокоуглеродистой хромистой стали (0,85—1,40% С; 1,4—6,6% Cr) от достаточно высокой температуры—1100°—в ледяной воде. При этом было установлено, что ни один образец трещин не давал [3]. Из других работ известно, что присутствие хрома (до 15%) в высокоуглеродистой стали способствует повышению ее ударной вязкости. Очень важное для практики влияние хрома на сталь состоит также в том, что хром, согласно многочисленным исследованиям, уменьшает деформацию стальных изделий при их закалке. Все эти качества хрома упрочили его применение при выделке инструментальной стали: в настоящее время самым распространенным видом легированной инструментальной стали является сталь, легированная хромом.

### Характеристика выбранной стали

В работе было исследовано 2 марки хромистой стали: сталь высоколегированная—марки Х12М и сталь малолегированная—марки Х. Стандартный химический состав стали этих марок приведен в табл. 1.

Химический состав стали марок Х и Х12М (ОСТ—14958)

Таблица 1

Марка стали	Содержание элементов в процентах								Примечание
	С	Si	Mn	S	P	Cr	Mn <sup>1)</sup>	V <sup>1)</sup>	
Х	1,00—1,15	0,35	0,40	0,030	0,030	1,3—1,6	—	—	1) факультативно
Х12М	1,45—1,70	0,50	0,35	0,030	0,030	11,0—12,5	0,5—0,8	0,15—0,30	

Исследования стали марки X12M показали, что она обладает очень ценными для холодновырубных штампов свойствами.

Важнейшими положительными свойствами стали X12M являются большая твердость в закаленном состоянии, хорошая прокаливаемость, малое коробление и отсутствие трещин при закалке и, наконец, сравнительно низкая стоимость, ввиду простого состава, не требующего присадок никеля, вольфрама и малоуглеродистого феррохрома. Добавка небольших количеств молибдена и ванадия, факультативная возможность которой предусмотрена ОСТ'ом, способствует повышению ударной вязкости этой стали.

Сталь X12M обладает и определенными недостатками. Она является сталью ледебуритного класса, поэтому прокатывать слитки такой стали очень трудно. Вторым недостатком этой стали является трудная обрабатываемость ее на станках, так как она обладает сравнительно большой твердостью даже в отожженном состоянии (до 255 по Бринеллю). Недостатком стали X12M является также ее чувствительность к образованию шлифовочных трещин. Поэтому шлифовать изготовленные из нее изделия нужно мягкими камнями, снимая небольшой слой стружки за один проход.

Исследование стали марки X было предпринято с той целью, чтобы установить целесообразность изготовления вырубных штампов из стали, менее легированной, чем сталь X12M, и более дешевой.

## Экспериментальная часть

### Образцы для исследования

Исследование проводилось на образцах стали, химический состав которой приведен в табл. 2.

Химический состав исследованной стали

Таблица 2

Марка стали	Содержание элементов в процентах						
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
X	0,05	0,39	0,39	0,029	0,027	1,54	—
X12M	1,60	0,22	0,38	0,021	0,026	12,80	0,53

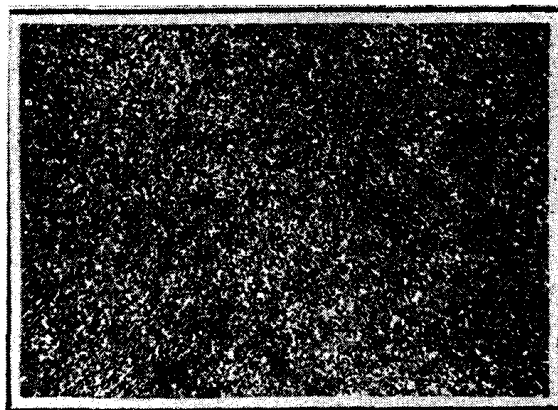


Фиг. 2. Ув. 400. Сталь X12M после отжига.

Микроструктура исследованной стали в отожженном состоянии показана на фиг. 2 и 3.

В микроструктуре стали X12M (фиг. 2) хорошо видны хромо-железные карбиды различной формы и величины, сравнительно равномерно распределенные в основном сорбитообразном поле. Твердость стали после отжига была 217 по Бринеллю.

Микроструктура стали X после отжига (фиг. 3) представляет собою основное поле сорбитообразного перлита с очень мелкими и равномерно распределенными карбидами. Твердость этой стали после отжига была 207 по Бринеллю.



Фиг. 3. Ув. 400. Сталь X после отжига.

Из стали каждой марки были изготовлены для исследования следующие образцы:

1. Образцы квадратного сечения с надрезом для испытания на ударную вязкость; эти же образцы служили и для определения твердости после закали и отпуска.
2. Специальные образцы круглого сечения для испытания на способность сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок.
3. Опытные пуансоны и матрицы.

### Установление температуры закалки

Опыты по установлению температуры закалки проводились на ударных образцах длиной 55 мм, сечением  $10 \times 10$  мм, с надрезом в середине образца глубиной 2 мм. Образцы нагревались под закалку в электропечи, температура которой измерялась платино-платинородиевой термопарой, причем горячий спай термопары помещался на нагреваемых образцах.

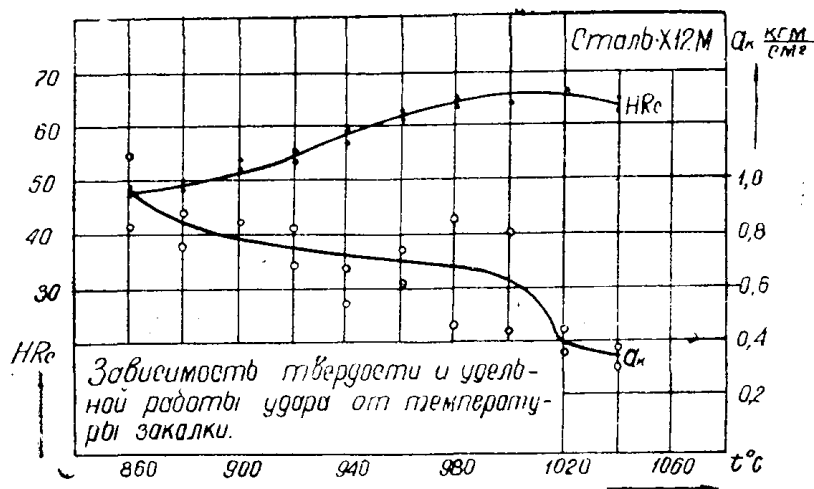
Температура нагрева под закалку менялась для стали X12M в интервале  $860-1040^\circ$  через каждые  $20^\circ$ , а для стали X—в интервале  $770-910^\circ$ , тоже через каждые  $20^\circ$ . При температуре нагрева образцы выдерживались в печи 15 минут, после чего охлаждались в масле. На обработанных таким образом образцах изучались твердость, ударная вязкость и микроструктура. Результаты, полученные для образцов стали X12M, приведены в табл. 3 и на фиг. 4.

Из полученных результатов видно, что с повышением температуры закалки твердость стали сначала растет, достигает максимального значения—65 единиц—при температуре  $980^\circ$ , а с дальнейшим повышением температуры закалки начинает несколько уменьшаться. Удельная работа удара, измеренная на маятниковом копре мощностью 15 кгм, у всех закаленных образцов находится в пределах до  $1 \text{ кгм/см}^2$  и с ростом температуры закалки постепенно уменьшается.

Таблица 3

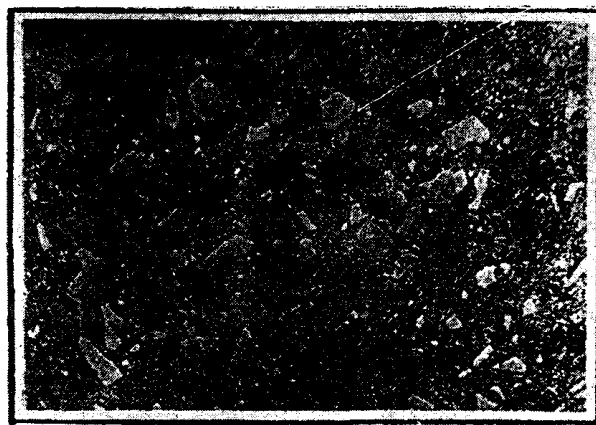
Твердость и ударная вязкость закаленных образцов стали X12M

Температура закалки °С	860	880	900	920	940	960	980	1000	1020	1040
Твердость $R_c$	49	50	54	56	59	63	65	64	64	63
Удельная работа удара $\text{кгм/см}^2$	0,95	0,83	0,86	0,76	0,62	0,68	0,67	0,62	0,40	0,37



Фиг. 4.

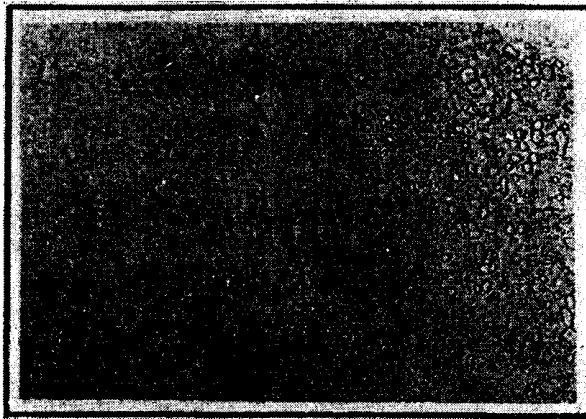
Микроструктура закаленных образцов стали X12M показана на фиг. 5—7. На фиг. 5 приведена микроструктура образца, закаленного от температуры 860°. Она представляет собой тростито-мартенситовую основу, в которой распределены хромо-железные карбиды различной величины и очертаний, главным образом, крупные карбиды, имеющие в сечении форму неправильных многоугольников.



Фиг. 5. Ув. 400. Сталь X12M, закалка 860°.

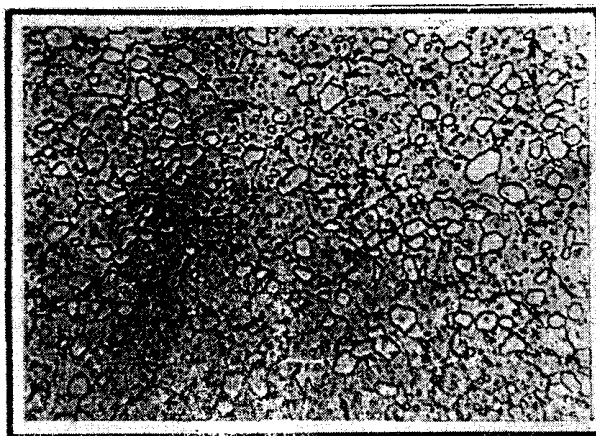
На фиг. 6 и 7 показана микроструктура образцов, закаленных соответственно от температур 980° и 1040°. Из сравнения этих фигур видно, что с повышением температуры закалки микроструктура стали меняется в сле-

дующих направлениях: в основном поле увеличивается относительное количество мартенситной составляющей, хромо-железные карбиды становятся более мелкими и более округленной формы, а их распределение более равномерным. При закалке от температуры  $1040^{\circ}$  в микроструктуре становятся заметными зерна остаточного аустенита, что хорошо объясняет пониженную твердость образцов, закаленных от этой температуры.



Фиг. 6. Ув. 400. Сталь X12M, закалка  $980^{\circ}$ .

Исходя из полученных результатов, для стали X12M была принята температура закалки  $980^{\circ}$ , как температура, при закалке от которой сталь имеет наилучшую микроструктуру и твердость. Эта температура является наиболее подходящей еще и потому, что твердость стали при небольших отклонениях от этой температуры, неизбежных в производственных условиях, меняется совершенно незначительно.



Фиг. 7. Ув. 400. Сталь X12M, закалка  $1040^{\circ}$ .

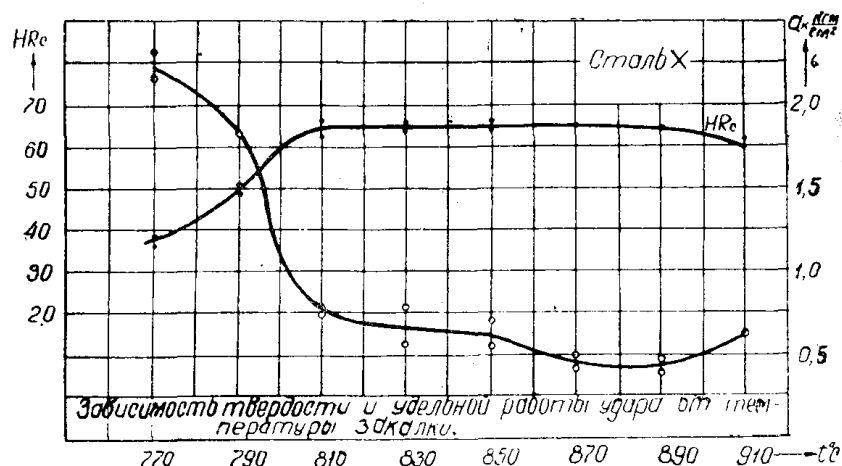
Данные о зависимости твердости и ударной вязкости стали X от температуры закалки приведены в табл. 4 и на фиг. 8.

Из этих данных видно, что твердость стали X быстро растет с повышением температуры закалки до  $810^{\circ}$ , достигая при этой температуре 64 единиц. При дальнейшем повышении температуры—до  $890^{\circ}$ —твердость существенно не меняется, а при еще большем повышении температуры закалки начинает падать. Это понижение твердости объясняется, как и в случае со сталью X12M, увеличением количества остаточного аустенита. Полученные

результаты показывают, что твердость закаленной стали X существенно не меняется при изменении температуры нагрева под закалку в довольно широком интервале температур—от 810 до 890°.

Таблица 4  
Твердость и ударная вязкость закаленных образцов стали X

Температура закалки °С	770	790	810	830	850	870	890	910
Твердость $R_c$	38	50	64	64	65	66	65	61
Удельная работа удара $к.г.м/см^2$	2,2	1,8	0,74	0,65	0,62	0,47	0,43	0,64



Фиг. 8.

Микроструктура стали X, закаленной от различных температур, описана ниже.

Микроструктура стали, закаленной от температуры 770°, характеризуется трооститовой основой с неравномерно распределенными в ней карбидами различной величины. Микроструктура образца, закаленного от температуры 790°, отличается от предыдущей более мелкими и более равномерно распределенными карбидами. Микроструктура образца, закаленного от температуры 830°, представляет собою безигольчатый мартенсит с очень мелкими, равномерно распределенными карбидами.

С дальнейшим повышением температуры закалки мартенсит становится игольчатым, причем иглы получаются тем крупнее, чем выше температура нагрева.

Таким образом, наиболее благоприятную микроструктуру сталь X имеет при закалке от температуры 830°. Эта температура находится в указанном выше интервале температур, при закалке от которых твердость стали практически не изменяется. Поэтому для стали X была принята температура закалки 830°.

### Установление температуры отпуска

Опыты по установлению температуры отпуска проводились на ударных образцах, образцах штампов и специальных образцах для испытания на способность сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок.

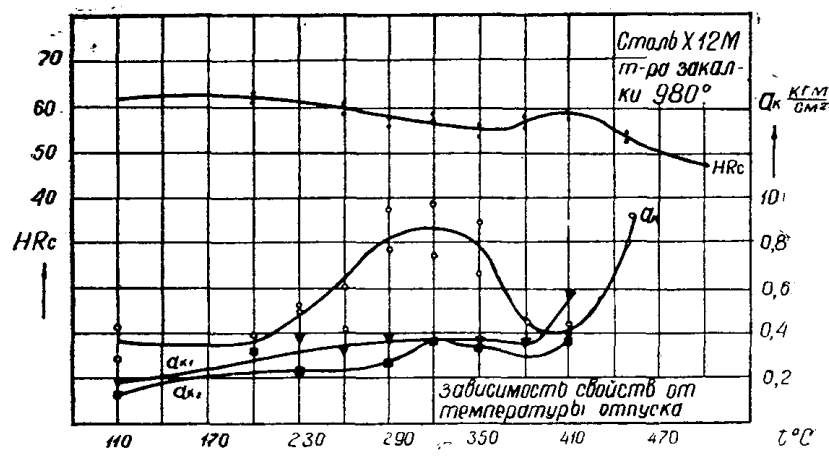
Отпуск образцов стали X12M, закаленных от 980°, проводился в интервале температур 100—500° через каждые 30°, а отпуск образцов стали X, закаленных от 830°—в интервале температур 100—320°, тоже через каждые 30°. Все образцы выдерживались при температуре отпуска 1 час, после чего охлаждались на воздухе. На обработанных таким образом образцах изучались твердость, ударная вязкость, способность сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок и микроструктура. Ниже описываются полученные результаты.

Твердость образцов стали X12M, их ударная вязкость и способность сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок в зависимости от температуры отпуска приведена в табл. 5 и на фиг. 9.

Таблица 5

Зависимость твердости образцов стали X12M, их ударной вязкости и способности сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок от температуры отпуска.

Температура отпуска °С	Твердость $R_c$	Удельная работа удара ( $a_k$ ) кгм/см <sup>2</sup>	Удельная работа удара ( $a_{k_1}$ ) кгм/см <sup>2</sup>	Удельная работа удара ( $a_{k_2}$ ) кгм/см <sup>2</sup>
100	63	0,37	0,19	0,15
200	63	0,36	0,32	0,33
230	60	0,52	0,37	0,23
260	60	0,52	0,32	—
290	58	0,86	0,37	0,28
320	58	0,86	—	0,37
350	55	0,86	0,38	0,33
380	56	0,78	0,35	—
410	59	0,45	0,56	0,37
450	53	0,42	—	—
500	49	0,88	—	—



Фиг. 9.

Из приведенных данных видно, что с повышением температуры отпуска твердость стали сначала уменьшается до 55 единиц при температуре 350°. Затем, в интервале температур 350—410°, твердость стали становится выше, достигает 59 единиц при температуре 410°, а с дальнейшим повышением температуры отпуска сильно уменьшается. Наблюдаемая при отпуске стали X12M в интервале температур 350—410° „вторичная“ твердость является следствием того, что в этой стали после закалки сохраняется определенное

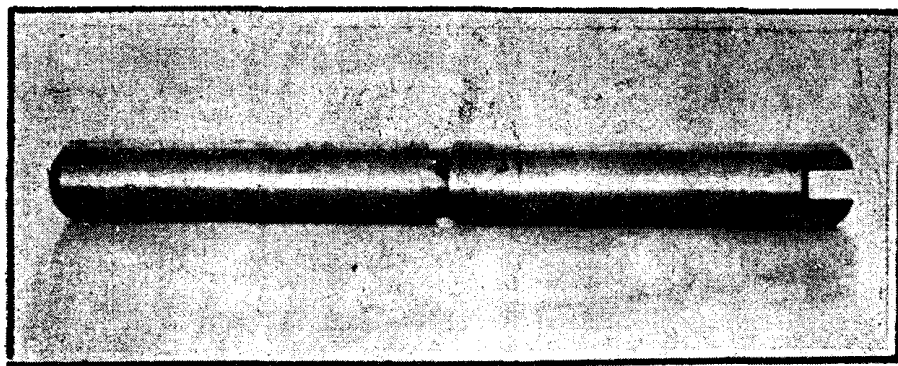


количество остаточного аустенита, превращение которого в мартенсит происходит около  $400^{\circ}$ . Однако рекомендовать этот температурный интервал для отпуска штампов из стали X12M нельзя было, так как удельная работа удара при этом очень мала.

Удельная работа удара с повышением температуры отпуска растет и при температурах  $290-350^{\circ}$  достигает максимального значения— $0,86 \text{ кгм/см}^2$ . Что же касается явления отпускной хрупкости, наблюдаемого при температурах, близких к  $400^{\circ}$ , то его причиной является, повидимому, процесс превращения в мартенсит остаточного аустенита закаленной стали.

Как выше упоминалось, отпуску подвергались также специальные образцы для испытания на способность сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок. Остановимся кратко на идее и методике этого испытания.

Каждое испытание является, понятно, тем более ценным, чем больше условия этого испытания приближаются к условиям действительной службы изделий. С этой точки зрения при установлении режима термической обработки холодновырубных штампов перед нами стояла задача найти на образцах стали тот режим, при котором, наряду с достаточной твердостью, сталь обладает наиболее высокой способностью сопротивляться действию удара, так как при вырубке изделий из твердой магнитной стали рабочие части штампа подвергаются воздействию сильной ударной нагрузки. Эта задача решалась изучением твердости и удельной работы удара на обычных ударных образцах, подвергнутых различным режимам термической обработки.



Фиг. 10. Образец для испытания на способность сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок.

Для условий работы холодновырубного штампа очень характерным является и то обстоятельство, что удары штампа по штампуемой стали через равные промежутки времени и с одинаковой силой многократно повторяются. Изнашивание штампов является следствием этих ударов. Очевидно, что лучшим режимом термической обработки для штампов будет тот режим, при котором штамп сохранит приданные ему термической обработкой свойства до возможно большего количества ударов или, по крайней мере, до возможно большего количества ударов эти свойства не начнут резко падать. А так как одним из важнейших свойств для штамповой стали является ударная вязкость, то проведенное нами испытание, рекомендованное академиком Н. Т. Гудцовым, и преследовало цель выяснить, при какой температуре отпуска сталь обладает наилучшей способностью к сохранению ударной вязкости после многократно повторенных ударных нагрузок.

Для проведения этого испытания были изготовлены круглые образцы длиной  $150 \text{ мм}$ , диаметром  $15 \text{ мм}$  с надрезом по середине образца шириной  $5 \text{ мм}$ , глубиной  $1 \text{ мм}$  и радиусом закругления  $3,5 \text{ мм}$ . Снимок такого образца показан на фиг. 10.

Такой образец устанавливался в специальную испытательную машину в горизонтальном положении и подвергался ударам падающей с высоты 3 см стальной бабы весом 5 кг, причем после каждого удара образец автоматически поворачивался на 180°. Скорость испытания была 100 ударов в минуту. После 5000 и 30000 ударов образцы ломались на маятниковом копре мощностью 30 к.г.м.

Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 5 и на фиг. 9, где через  $a_{к1}$  обозначена удельная работа удара образцов после 5000 ударов, а через  $a_{к2}$  — после 30000 ударов.

На основании полученных данных для стали X12M была принята температура отпуска 300°, как температура, при которой получается наилучшая совокупность результатов по всем видам испытаний: при этой температуре отпуска высокая ударная вязкость и способность стали после многократных ударно-изгибающих нагрузок сохранять эту вязкость сочетается с достаточной для работы штампа твердостью.

Микроструктура стали, закаленной от температуры 980° и отпущенной при температуре 290°, показана на фиг. 11. Она представляет собою мартенситовую основу с большим количеством равномерно распределенных карбидов округленной формы.



Фиг. 11. Ув. 400. Сталь X12M, закалка 980°, отпуск 290°.

Чтобы проверить принятую температуру отпуска на образцах, близких по размеру и форме к пуансонам, а также для того, чтобы определить время выдержки штампов при отпуске, было изготовлено 6 образцов пуансонов. Всем этим пуансонам была дана закалка при температуре 980° и отпуск при температуре 300°. При отпуске 2 пуансона выдерживались в печи один час, 2 — три часа и 2 — шесть часов. Результаты измерения твердости, приведенные в табл. 6, показали, что в пределах исследованного времени твердость в зависимости от времени выдержки при температуре отпуска 300° практически не меняется.

Таблица 6

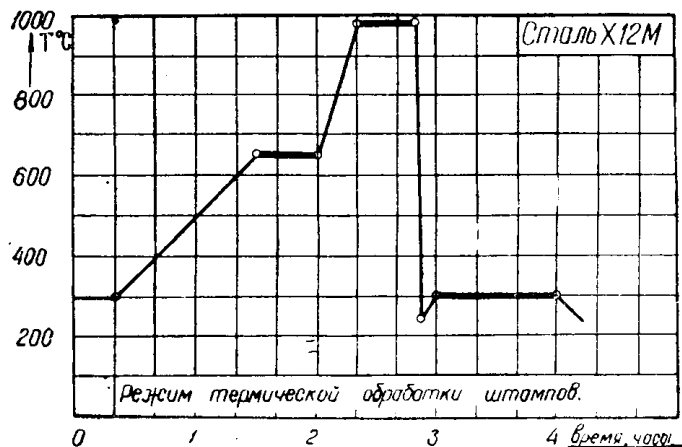
Зависимость твердости пуансонов X12M от времени выдержки при температуре отпуска (закалка 980°, отпуск 300°)

Время выдержки (часы)	Твердость по Роквеллу (шкала С)		
	1-й пуансон	2-й пуансон	Средняя
1		59	59,5
3	60	59	59
6	59	59	59

В микроструктуре всех пуансонов также не заметно было какой-либо разницы по сравнению с микроструктурой, приведенной на фиг. 11. Исходя из этого, для штампов из стали X12M была установлена выдержка при температуре отпуска в течение 1 часа.

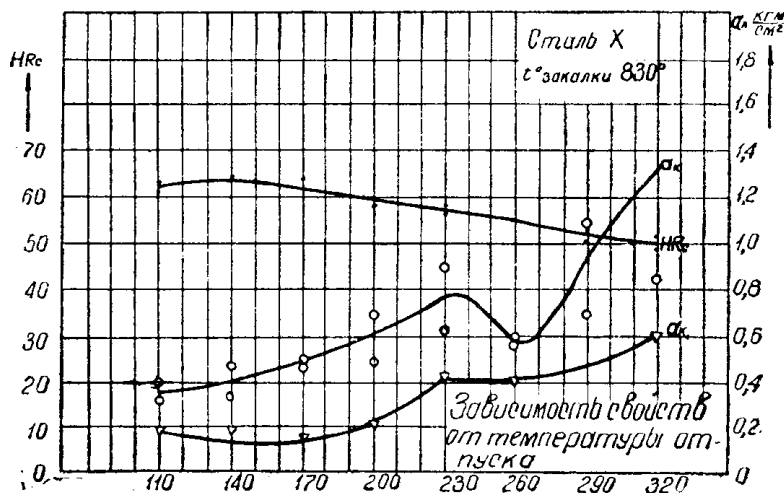
Учитывая, что теплопроводность такой высоколегированной стали, как сталь X12M, значительно ниже теплопроводности углеродистой стали, в принятом режиме термической обработки штампов из стали X12M был предусмотрен подогрев при температуре 650° при их нагреве под закалку.

График принятого режима термической обработки штампов из стали X12M схематически показан на фиг. 12.



Фиг. 12.

Для установления температуры отпуска стали X были проведены такие же испытания, как и для стали X12M. Полученные при этом результаты приведены в табл. 7 и на фиг. 13, где через  $\alpha_{к1}$  обозначена ударная вязкость после 5000 ударно-изгибающих нагрузок.



Фиг. 13.

Из приводимых данных видно, что с повышением температуры отпуска стали X ее твердость непрерывно уменьшается. Ударная вязкость этой стали растет с повышением температуры отпуска до 230°. В интервале температур 230—290° имеет место явление отпускной хрупкости, а с дальнейшим повышением температуры отпуска ударная вязкость начинает быстро возрастать. Однако при этих высоких температурах отпуска (выше 300°)

твердость стали становится уже недостаточной для успешной работы холодно вырубных штампов.

Таблица 7

Зависимость твердости образцов стали X, их ударной вязкости и способности сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок от температуры отпуска

Температура отпуска °С	Твердость $R_c$	Удельная работа удара ( $a_k$ ) кгм/см <sup>2</sup>	Удельная работа удара ( $a_{k_1}$ ) кгм/см <sup>2</sup>
110	62	0,37	0,18
140	63	0,41	0,22
170	63	0,48	0,15
200	59	0,60	0,22
230	58	0,78	0,42
260	55	0,59	0,40
290	52	0,91	—
320	50	1,32	0,60

Исходя из сказанного, для штампов из стали X была принята температура отпуска 230°, как температура, при которой сталь обладает высокой ударной вязкостью, лучшей, чем при других температурах, способностью сохранять ударную вязкость после многократных ударно-изгибающих нагрузок и достаточной для работы штампов твердостью.



Фиг. 14. Ув. 400. Сталь X, закалка 830°, отпуск 230°.

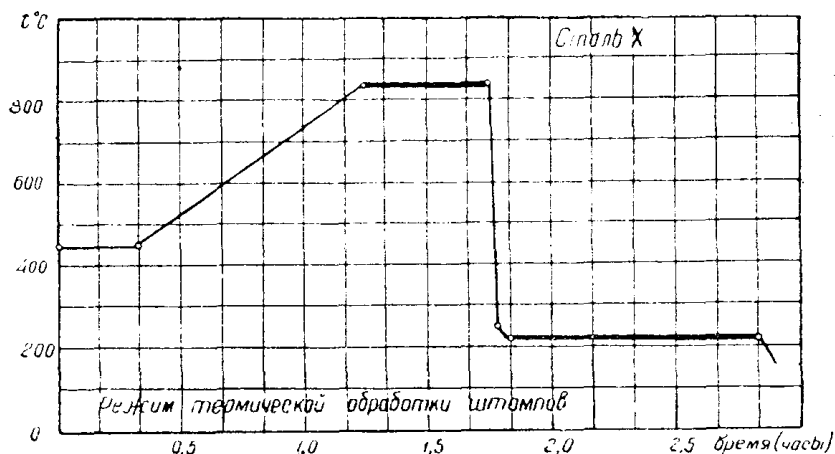
Микроструктура стали X, закаленной от температуры 830° и отпущенной при температуре 230°, показана на фиг. 14. Она представляет собою мартенситовую основу, в которой равномерно распределено большое количество очень мелких карбидов.

Принятый режим термической обработки штампов из стали X схематически показан на фиг. 15.

### Проверка штампов в работе

Вопрос о правильности выбора марки стали и режима термической обработки для любого инструмента может быть окончательно решен лишь путем производственных испытаний. Для проведения таких испытаний было

изготовлено 6 комплектов опытных штампов—по 3 из каждой марки стали. На одном из штампов, изготовленном из стали X12M, при шлифовке образовалось много мелких шлифовочных трещин (см. указание выше), поэтому он испытанию не подвергался. Остальные 5 штампов были испытаны на работе в обычных производственных условиях.



Фиг. 15.

Эти испытания дали следующие результаты:

Стойкость штампов, изготовленных из стали X, как между отдельными заточками, так и общая, превышала стойкость штампов из углеродистой стали примерно в 1,5 раза.

Стойкость штампов, изготовленных из стали X12M, значительно выше: она превышает стойкость штампов из углеродистой стали в 2,5 — 3 раза.

### Выводы

Штампы для вырубki изделий из твердой листовой стали в холодном состоянии могут с успехом изготавливаться из высокохромистой стали марки X12M.

Стойкость таких штампов в 2,5 — 3 раза выше стойкости штампов из углеродистой стали.

В качестве режима термической обработки штампов из стали X12M можно рекомендовать режим, приведенный на графике 12.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Красильщиков М. С. Методы повышения стойкости вырубных и вытяжных штампов, 1948.
2. Гудцов Н. Т. Курс специальной стали, 1938.
3. Нессельштраус Г. Э. Критические точки и структура хромистой стали. Журнал Русского металлургического общества, 1911, 5.