

УДК 621.791.

**Г.П. Резинкина, ст. преподаватель,**

**Э.С. Гордеева, ст. преподаватель**

*Севастопольский национальный технический университет,*

*Ул. Университетская, 33, г. Севастополь*

*tm@sevntu.com.ua*

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ И СТАЛЕЙ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КРЫМА**

*Проведен анализ наиболее часто используемых сталей для изготовления деталей штампов холодного деформирования и литейных форм литья под давлением. Определены особенности термической обработки при выборе технологического режима. Предложены оптимальные режимы термической обработки инструмента из рассматриваемых сталей.*

*Ключевые слова: термическая обработка, инструментальные стали, закалка, отпуск, критические точки, штампы холодного деформирования, литейные формы.*

**Введение.** Обзор литературных источников [1, 2] показывает, что одним из решающих факторов, влияющих на формирование требуемых свойств штампового и литейного инструмента, является термическая обработка. На основе анализа, проведенного на предприятиях Крыма, выявлены недостатки при проведении термической обработки инструмента, что приводит к значительному количеству брака. Поэтому исследования особенностей термической обработки являются актуальной задачей.

**Целью данной статьи является** анализ применяемых на предприятиях Крыма сталей для штампов холодного деформирования и литейных форм литья под давлением, особенностей их термообработки и выдача рекомендаций по режимам их термообработки.

**Основное содержание работы.** Одна треть всех производимых в мире инструментальных сталей используется для изготовления деталей технологической оснастки. Речь идет об инструментальных сталях для изготовления деталей штампов холодного деформирования и литейных форм литья под давлением.

В ходе проведенного анализа выявлено, что на предприятиях Крыма наиболее часто используемыми марками стали являются: X12Ф1, 3Х2В8Ф, 4Х5МФС, 4Х5В2ФС, 4Х13 и др.

Термическая обработка является одним из решающих факторов в формировании требуемых свойств изделий штампов и литейных форм. Этот вид обработки имеет ряд особенностей, с которыми необходимо считаться при выборе технологического режима. Рекомендации по этим режимам приведены ниже.

Сталь марки X12Ф1 применяется для изготовления деталей штампов холодного деформирования, которые должны иметь высокую твердость и вязкость.

При наличии химической и карбидной неоднородности в заготовках стали X12Ф1 для ее устранения рекомендуется сделать гомогенизирующий отжиг. Его следует проводить при нагреве до температуры 1160 – 1180 °С с выдержкой исходя из условия - 2 – 3 мин/мм с последующим замедленным охлаждением. После гомогенизации необходимо провести обычный отжиг для устранения перегрева, вызванного высокой температурой гомогенизации [1].

В ряде случаев для уменьшения карбидной неоднородности можно рекомендовать горячую проковку. Температура заготовок горячей проковки 1100 - 1180 °С (нагрев перед ковкой), окончание проковки проводится при температуре 930 - 890 °С. Такая обработка снизит балл карбидной неоднородности и повысит вязкость.

При закалке штампов наиболее часто образуются трещины, проходящие по вспомогательным отверстиям. Можно использовать для заполнения отверстий глину и асбест, но значительно более эффективным является прерывистое охлаждение. Штамп, нагретый под закалку на 20 – 30 °С выше температуры закалки, опускают в воду одной стороной до потемнения вспомогательных отверстий, а затем другой стороной, после чего штамп полностью охлаждают в воде до температуры 150 – 180 °С и переносят в масло. Таким образом, вспомогательные отверстия охлаждаются прерывисто. При таком способе трещины не образуются [2].

Для снижения деформации штампов сложной формы из стали X12Ф1 предварительную термическую обработку следует проводить в такой последовательности [1]:

- Закалка с температуры 850 – 865 °С ( $A_{c1} + 30-40^{\circ}$ ) с охлаждением в масле.
- Отпуск при температуре 550 – 600 °С 2 – 3 часа.

В качестве окончательной термообработки штампов из стали X12Ф1 рекомендуется использовать закалку с низким отпуском. Для закалки сталь предварительно необходимо подогреть до температуры 850 – 900 °С, а затем выдержать при закалочной температуре 1050 – 1070 °С с последующим

охлаждением. Для предупреждения образования закалочных трещин в штампах холодного деформирования сложной формы можно рекомендовать изотермическую выдержку при температуре 240 – 260 °С 8 – 10 с. на 1 мм наименьшей толщины штампа с дальнейшим охлаждением на воздухе.

При выполнении операций закалки и отпуска оговаривается неразрывность этих процессов, так как для многих инструментальных сталей отпуск рекомендуют проводить сразу же после закалки, чтобы избежать внутренних напряжений и микротрещин.

Температура отпуска для инструмента холодного деформирования из стали марки Х12Ф1 назначается в зависимости от требуемых свойств, в соответствии с графиком на рисунке 1 и таблицей 1.

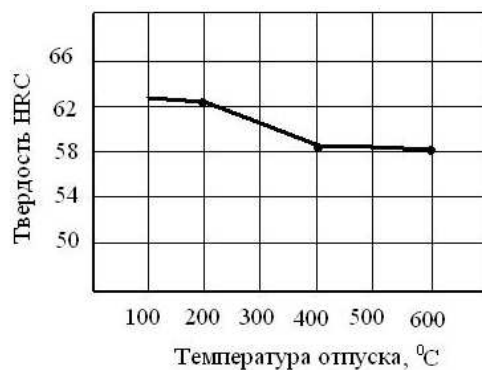


Рисунок 1 – График зависимости твердости от температуры отпуска для стали Х12Ф1

Таблица 1 – Ударная вязкость и твердость стали в зависимости от температуры отпуска

Температура отпуска, °С	КСУ, ДЖ/см	HRC <sub>с</sub>
Закалка 1030 – 1050 °С, масло. Выдержка 1,5 ч.		
200	24	63
300	29	60
400	65	59
450	73	59
500	35	59

Сталь марки 3Х2В8Ф используется для изготовления литейных форм литья под давлением цветных сплавов.

Стали для пресс-форм литья алюминиевых сплавов должны иметь: достаточную теплостойкость, хорошую разгаростойкость, устойчивость против взаимодействия с жидким металлом.

Под закалку изделия из стали 3Х2В8Ф, упакованные в ящики и засыпанные отработанным карбюризатором загружают в печь при температуре 850 – 900 °С, выдерживают для выравнивания температуры и нагревают до 1050 ± 10 °С. При этой температуре выдерживают и охлаждают в масле. После закалки пресс-форм твердость HRC 55 – 60. Затем закаленные изделия укладывают в ящики, загружают в печь при температуре 500 °С, выдерживают для выравнивания температуры и нагревают до:

580 – 600 °С (твердость HRC 49 – 52),

650 – 670 °С (твердость HRC 42 – 46),

690 – 710 °С (твердость HRC 35 – 37). При указанной температуре выдерживают 1 час, охлаждают до 400 °С вместе с печью, а затем на воздухе [2].

Целесообразно для уменьшения коробления инструмента сложной формы выполнять ступенчатое охлаждение после закалки: в смеси расплавленных солей при 400 – 500 °С с выдержкой до выравнивания температуры по сечению литейной формы, затем в масле. Охлаждение на воздухе литейных форм из высоколегированных сталей нецелесообразно из-за выделения в процессе охлаждения от температур закалки карбидных фаз по границам зерен, что вызывает падение вязкости и пластичности.

Стойкость пресс-форм и налипание жидкого металла существенно зависят от поверхностной твердости пресс-форм. Поэтому изготовление пресс-форм проводится в такой последовательности [2]:

1. Закалка и высокий отпуск на твердость HRC 35.
2. Полная механическая обработка.
3. Цианирование или азотирование (жидкостное или газовое).
4. Промывка и протирка.

Напряжения, появляющиеся в пресс-форме во время работы, и преждевременное появление трещин разгара можно предотвратить дополнительными отпусками через определенные промежутки работы пресс-формы. Температуры дополнительных отпусков равны температуре первоначального.

Перед заливкой форму рекомендуется подогреть до температуры 200 – 250 °С (для алюминиевых сплавов). Это нужно для уменьшения температурного градиента и повышения устойчивости форм против разгара.

В настоящее время для изготовления пресс-форм применяется также сталь марки 4Х5МФС.

Температура закалки этой стали 1000 – 1050 °С с предварительным подогревом до 750 °С. Т.к. сталь обезуглераживается ее следует упаковывать в чугунную стружку. Перед закалкой в масло проводить подстуживание 10 – 20 сек, после закалки неполное остывание до 250 °С. Отпуск проводить при температуре 560 °С 2 часа (в зависимости от габаритов). Затем остужать на воздухе. Твердость достигается HRC 46 – 50. График зависимости твердости от температуры отпуска донной стали приведен на рисунке 2.

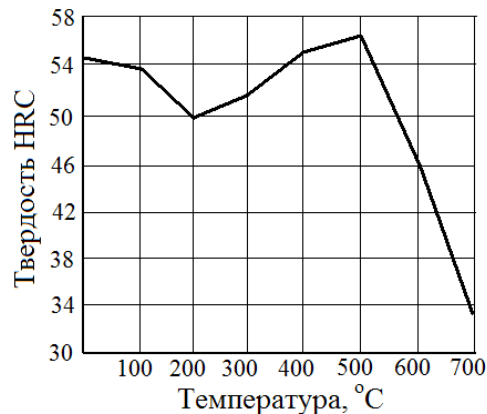


Рисунок 2 – График зависимости твердости от температуры отпуска для стали 4Х5МФС

Для характеристики разгаростойкости стали в формах литья под давлением надо также учитывать влияние коррозии в поверхностных слоях, зависящий от состава жидкого металла и температуры его заливки. Потеря массы отливок в расплаве жидкого алюминия снижается почти в 10 раз при увеличении содержания хрома с 2 до 5 %. Поэтому такие стали для литья алюминиевых сплавов должны содержать не менее 5 % хрома.

Одновременно важно правильно выбрать твердость стали пресс-формы. Коррозия, как правило, значительно больше при твердости HRC 35 – 45. Потери массы отливок в расплавах алюминия уменьшаются в 2–3 раза при повышении твердости с HRC 38 – 40 до HRC 50. Влияние состава и твердости стали на потерю массы в расплавленном силумине приведено в таблице 2

Таблица 2 – Влияние состава и твердости стали на потерю массы в расплавленном силумине [1]

Марка стали	Потеря массы, г/дм <sup>2</sup> при твердости				
	28	32	38	45	50
4Х5МФС	14	11	9	5	3
3Х2В8Ф	21	19	13	8	6

Применяя другие марки хромо-никелевых инструментальных сталей режимы термической обработки выбираются по справочной литературе, исходя из значений критических точек сталей. При отсутствии справочных данных о величинах критических точек для назначения ориентировочных режимов термической обработки для хромо-никелевых сталей возможно использование приведенной ниже методики по уравнениям (1, 2) [3]:

$$A_1 = 727 - 13Mn + (9 + 15X_c)Si + (-17 - 5X_c)Ni + (22 - 5X_c)Cr + (3,5 + 22X_c)X_{Mo}, \quad (1)$$

$$A_3 = 727 + 229X_c + (-13 - 30X_c)Mn + (9 + 66X_c)Si + (-17 - 22X_c)Ni + (22 - 70X_c)Cr + (3,5 + 52X_c)X_{Mo}, \quad (2)$$

Превращения при охлаждении во время закалки для каждой марки стали начинаются всегда при одной и той же температуре (точка  $M_H$ ) и заканчиваются при другой постоянной температуре (точка  $M_K$ ). Точки начала превращения ( $M_H$ ) и конца превращения ( $M_K$ ) аустенита в мартенсит определяются по уравнениям (3), (4).

$$M_H = 539 - 423(0,8 - X_c) - 30,4Mn - 17,7Ni - 12,1Cr - 7,5X_{Mo}, \quad (3)$$

$$M_K = M_H - 215, \quad (4)$$

Параметр  $X_c$  определяется по формуле 5:

$$X_c = |0,8 - C|, \tag{5}$$

Параметр  $X_{Mo}$  определяется по формуле 6:

$$X_{Mo} = \begin{cases} (M_o - 0,08)^{0,5}, & \text{если } M_o > 0,09\% \\ \frac{10}{9} M_o, & \text{если } M_o < 0,09\% \end{cases} \tag{6}$$

где –  $Mn, C, Si, Ni, Cr, Mo, X_c, X_{Mo}$  – средняя концентрация элементов в стали, % (по массе).

Назначение времени выдержки при закалке и отпуске штамповых сталей и сталей для изготовления пресс-форм литья под давлением по укрупненным нормативам может привести к охрупчиванию тонких элементов штампов и литейных форм. В этой связи для расчета времени выдержки предлагается использовать следующие методики.

Для определения общего времени нагрева инструмента под закалку ( $t_0$ ) можно воспользоваться формулами (7, 8) (методика 1) [4]

$$t_0 = t_n + t_3, \text{ (мин)} \tag{7}$$

где  $t_0$  – общее время нагрева, мин;

$t_n$  – время нагрева до заданной температуры, мин.;

$$t_n = 0,1 \cdot D \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \tag{8}$$

где  $D$  – размерная характеристика изделия (минимальный размер максимального сечения), мм;

$k_1$  – коэффициент среды: для газа (воздуха) – 2; соли – 1; металла – 0,5;

$k_2$  – коэффициент формы: для шара – 1; цилиндра – 2; параллелепипеда – 2,5; пластины – 4);

$k_3$  – коэффициент равномерности нагрева: всесторонний нагрев – 1; односторонний – 4).

$t_3 = 1$  мин. – для углеродистой стали и 2 мин. – для легированной стали.

По методике 2 расчет ведется по формуле 9 [5]

$$t_n = aD, \tag{9}$$

где  $a$  – коэффициент, определяемый экспериментально, в сек/мм;  $D$  – диаметр изделия в мм.

Если изделие квадратного или прямоугольного сечения, то вместо величины  $D$  берут толщину изделия  $H$ . Значения коэффициента  $a$  в зависимости от условий нагрева и формы изделия приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Значение коэффициента  $a$

Нагревательный агрегат	Температура печи в °С	Коэффициент $a$		
		для круглого сечения	для квадратного сечения	для прямоугольного сечения
Электропечь	800	40 – 50	60–60	60–75
Соляная ванна	800	12 – 15	15–18	18–22
Свинцовая ванна	800	6 – 8	8–10	10–12

По формуле 9 определяется время при всестороннем нагреве. Если нагреваются несколько изделий с различным расположением на поду печи, то получаемый результат надо умножить на коэффициент равномерности нагрева. Этот способ определения времени нагрева наиболее простой и распространенный, но недостаточно точный, так как он не учитывает влияние нагрева с торцов и соотношения длины и диаметра (толщины) изделия.

**Выводы.** При выборе конкретной марки стали необходимо принимать во внимание возможности инструментального производства по механической обработке и по термообработке на предприятии. Если возможности оборудования по механической обработке ограничены, то производитель может столкнуться с трудностями в обработке некоторых марок предварительно улучшенных сталей. Недостатки в управлении процессом термообработки и несоблюдение рекомендованного режима могут привести к трещинообразованию у сталей с низкой вязкостью. Поэтому при выборе стали необходимо учитывать возможности инструментального производства и тем самым снижать риск возникновения дефектов в производимом инструменте.

Соблюдение рекомендованных технологических особенностей термической обработки штампов и литейных форм позволит снизить вероятность их досрочного выхода из строя.

Перспективы дальнейших исследований в данной области. Дальнейшее изучение приведенных методик позволит рассчитать более точные режимы термообработки для инструментов сложной конфигурации с различным по величине сечением в разных его частях, уточнить коэффициенты равномерности нагрева под термообработку.

**Библиографический список использованной литературы**

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А.Геллер. — М: Металлургия, 1983. — 527 с.
2. Каменичный И.С. Пособие термисту инструментального цеха / И.С. Каменичный. — К.:Техніка, 1982. — 135 с.
3. I to, Y Sakamoto, M. Saiki Tetsu to-Hagane. — Tokio, 1988. — 806 p.
4. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. — М.:Машиностроение, 1986. — 544 с.
5. Фиргер И.В. Термическая обработка сплавов: Справ./ И.В. Фиргер. — Л.: Машиностроение, 1982. — 304 с.

*Поступила в редакцию 27.11.2013 г.*

**Резинкина Г.П., Гордеева Е.С. Особливості термічної обробки штампових сталей і сталей для лиття під тиском на підприємствах Криму**

Проведено аналіз найбільш часто використовуваних сталей для виготовлення деталей штампів холодного деформування і ливарних форм лиття під тиском. Визначено особливості термічної обробки при виборі технологічного режиму. Запропоновано оптимальні режими термічної обробки інструменту з розглянутих сталей.

**Ключові слова:** термічна обробка, інструментальні стали, гарт, відпустка, критичні точки, штампи холодного деформування, ливарні форми.

**Rezinkina G.P., Gordieieva E.S. Features of heat treatment die steel and steel for casting under pressure of the Crimean**

The analysis of the most commonly used steel for the manufacture of parts of stamps cold forming molds and injection molding. The features of the heat treatment at a choice of process conditions. The optimal thermal treatment of tool steels considered.

**Keywords:** heat treatment, tool steel, hardening, tempering, critical points, cold forming dies, molds.