УДК 669.18 (075.8)

ТЕРМОМЕРЧИМДҮҮ ИШТЕТҮҮНҮН ШХ15 БОЛОТУНУН САПАТЫНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ ШХ15

INFLUENCE OF THERMOCYCLIC TREATMENT MODES ON THE PROPERTIES OF SHKH15 STEEL

Капаров С. А., Маматкадырова Б. Б., Жолдошов Б.М.
Kaparov S. A., Mamatkadyrova B. B., Zholdoshov B. M.

ШХ15 болотту муздак металлдын туура өлчөмүн калыңдатуучу штамптарынын туруктуулугун жогорулатуу үчүн термомерчимдүү иштетүүлөрдүн түрдүү ыкмаларды колдонуусуна баа берилген. Баштапкы чыңдоо температурасын, катыштыгын жана аралык эргүү температурасын, жыйынтыктоо чыналуу менен эргүүнүн температурасын өзгөртүүсү менен практикалык тажрыйбалар жүргүзүлгөн. Эске салчу нерсе практикада дайыма эле операциялардын убакыттарын алдын ала чыңалуунун жана эргүүнүн жыйын-тыктоочу кубулуштардан айырмалооготууракелбейт.Массивдикштамптаручурунда(айтылганмаалдамассивдүү деп штамптардын дубалчаларынын калыңдыгы 30-45 мм жогору болгондо) штамптын гравюрасына тийишкен беттик катмарларды гана термомерчимдүү иштетүүсү талап кылынат. Жогоруда белгиленген термикалык жана термомерчимдик иштетүүлөрдүн ШХ15 шарикомуунак жаздык болотунун түзүлүүнө таасирин балоо үчүн эксперимент жүргүзүлгөн, анда температуралардын маанилери жана чыңалуу саны, ошондой эле жогорку температуралык өз аралык эргүүтүүчү түрдүү маанилерде аткарылды.

Дана оценка различным методам повышения стойкости холодновысадочных штампов стали ШХ15 методами термоциклической обработки. Были выполнены практические опыты, в которых варьировались температура начальной закалки, кратность и температура промежуточного отпуска, температура окончательной закалки и отпуска. Необходимо заметить, что не всегда следует разделять на практике операции во времени предварительной закалки и отпуска от окончательных процессов. В случае массивных штампов (в данном моменте под массивным нужно понимать штампы с толщиной стенки более 30 – 45 мм) требуется осуществлять термоциклическую обработку лишь поверхностных слоев, прилегающих к гравюре штампа. Для того чтобы оценить влияние указанных параметров термической и термоциклической обработки на структуру шарикоподшипниковой стали марки ШХ15, был выполнен эксперимент, в котором варьировались значе-

ния температуры и число закалок, а также высокотемпературный промежуточный отпуск.

An assessment is given to various methods of increasing the resistance of cold-forming dies of ShKh15 steel by thermal cycling methods. Practical experiments were carried out in which the temperature of the initial hardening, the frequency and temperature of the intermediate tempering, the temperature of the final hardening and tempering were varied. It should be noted that it is not always necessary to separate in practice the operations in the time of preliminary quenching and tempering from the final processes. In the case of massive stamps (in this moment, under the massive one should be understood as stamps with a wall thickness of more than 30 - 45 mm), it is required to carry out thermal cycling processing only of the surface layers adjacent to the stamp engraving. In order to evaluate the influence of the specified parameters of thermal and thermal cycling on the structure of ball-bearing steel grade ShKh15, an experiment was performed, in which the temperature values and the number of quenches, as well as high-temperature intermediate tempering, were varied.

Түйүн сөздөр: *металлдын туура өлчөмүн калыңдатуу, термо-мерчимдик иштетүү, шарикмуунакжаздыктуу болот, туруктуулук, чыңдоо, болотту эргитүү.*

Ключевые слова: *высадка металла; термоциклическая обработка, шарикоподшипниковая сталь, стойкость, закалка, отпуск стали.*

Keywords: *disembarkation of metal, thermo cyclic treatment, ball bearing steel, resistance, hardening, steel release.*

На подшипниковых заводах на практике из шарикоподшипниковой стали, как правило, изготавливается слесарный инструмент или штамповый инструмент для холодного деформирования. Поэтому шарикоподшипниковая сталь широко применяется на производствах не только как подшипниковая. На промышленных машиностроительных заводах часто из шарикоподшипниковой стали ШХ15 изготавливают Х-образные отвертки, которые, в частности, применяются при сборке автомобилей и приспособлений. Химический состав шарико-подшипниковой стали ШХ15 (см. табл.1).

Таблица 1 – Химический состав ШХ15

Химический элемент	C	Cr	Si	Mo
%	0,96-1,06	1,31-1,65	1,5-2,1	1,1-1,25

Приведенные научные данные [1,2] доказывают об эффективности использования термоциклической обработки (ТЦО) маят-

никового типа для улучшения стойкости быстрорежущих сталей (пластических и литых деформированных), в которых для оценки возможности повышения стойкости холодновысадочных штампов способами термоциклической обработки (ТЦО) были выполнены практические опыты, в которых варьировались температура начальной закалки Рз, кратность и температура промежуточного отпуска n и Ро, температура окончательной закалки Тз и отпуска То, при этом как после закалочных температур, так и после промежуточного отпуска охлаждение матриц осуществлялось в водяной среде. Данные по длительности выдержки при промежуточном отпуске исчислялись лишь длительностью прогрева инструмента на всю глубину.

Экспериментальный опыт был выполнен на основе заранее планируемого экстремального плана 2^{5-2}, в котором положено: $T_з \rightarrow x1$; Ро $\rightarrow$ x2; n$\rightarrow$ x3; Рз $\rightarrow$ x4 (x4 =x1 $\rightarrow$ x2); То = x5 (x5 = x2 $\rightarrow$x3). Варианты, предусмотренные по термообработке, реализованные в соответствии с матрицей планирования, показаны на рис. 1. Значение стойкостей матриц определялось по количеству годных роликов, изготовленных в соответствии с указанными допусками по размерам. Основными причинами выхода из строя инструмента являлись либо появление "рябой" фаски вследствие пластического смятия гравюры, либо потеря размеров – "раздутие" – вследствие пластической деформации гравюры, либо появление вмятин и трещин в углах сопряжения основания с боковой поверхностью.

На рисунке 1 верхние числа – температура – соответствуют верхним номерам термоциклической обработки. Вариант 3, к примеру, включает первую закалку Рз = 840^0С, двукратный отпуск при температуре 640^0С и окончательные закалку Тз = 860^oС и температура отпуска То = 180 ^{O}С, с выдержкой τo = 2 ч. Полученные результаты стойкостных испытаний были, согласно вариантам, такие: 1 – 1600; 2 – 1600; 3 – 3600; 4 – 6700; 5 – 4000; 6 – 2550; 7 – 1600; 8 – 2000 (см.табл.2). По вышеуказанным значениям было построено уравнение регрессии для стойкости:

Из приведенного уравнения наблюдается, что для того, чтобы повысить стойкость инструмента, необходимо поддерживать T_3, То и Ро на нижнем уровне, а Р3 и n на верхнем. С учетом заданных ограничений на xi максимальная стойкость, достигаемая при термоциклической обработке согласно уравнению, составляет 6025 шт. Для последовательного повышения стойкости произведено движение по

$$N = 2750 - 250x_1 - 525x_2 + 425x_3 + 625x_4 - 1250x_5, \text{ шт;}$$

где: $x_1 = \frac{T_з - 850}{10}; x_2 = \frac{P_о - 680}{40}$; $x_3 = +1$ при $n = 2$, $x_3 = -1$ при $n = 1$;

$$x_4 = \frac{P_з - 830}{10}; x_5 = \frac{T_о - 240}{60}, \text{ причем } -1 \le x_i \le 1.$$

градиенту функции. При учете ограничений, вытекающих из теплотехнических и экономических соображений:

Рз ≤ 840 ^{0}С; То ≥ 180 ^{0}С, n=1, был предложен вариант ТЦО $P_з$ = 840 ^{0}С, Ро = 550 ^{0}С, n = 1, Тз = 840 ^{0}С, То = 180 ^{0}С.

Указанный вариант позволил получить стойкость примерно ~ 6000 – 8000 шт. роликов. С учетом стойкости, получаемой при типо-вой обработке, здесь получено повышение стойкости инструмента в среднем в ~ 2,7 раза.

Режим, аналогично приведенный, был нами испытан на Волжском автомобильном заводе (ВАЗ) при изготовлении деталей из шарикоподшипниковой стали ШХ15.

Данный режим включает: Рз = 850^{o}С, Ро = 550^{o}С, τn = 15 мин, Тз = 850^{0}С, То = 180^{o}С, τо = 60 мин.

Стойкость изготовленных деталей при работе на главном конвейере повысилась в среднем в 1,7 раза.

Необходимо заметить, что не всегда следует разделять на практике операции во времени предварительной закалки и отпуска от окончательных процессов. В случае массивных штампов (в данном случае под массивным нужно понимать штампы с толщиной стенки более 30 – 45 мм) требуется осуществлять ТЦО лишь поверхностных слоев, прилегающих к гравюре штампа. В этом случае подбор длительности охлаждения при прерывистой закалке и паузы до нового начала охлаждения дает возможность добиться закалки и отпуска поверхностных слоев за счет аккумулированного во внутренних объемах тепла. Указанный режим термоциклической обработки весьма мобилен и экономичен. Реализация его на матрицах из ШХ15 ($d_{вн}$= 18 и 11 мм, $d_{нар}$ = 112 мм) для штамповки роликов осуществлялась путем нагрева штампа в пространстве камерной печи до $P_з = T_з$ = 810 ^{o}С ($\tau_з$ = 45 мин) с последующим спрейерным охлаждением внутренней полости в течение 50 с, затем охлаждение прекращалось на 6^0 С и опять возобновлялось на 60 с, после проведенных опытов матрица помещалась в камерную печь, где нагревалась длительностью 5 – 8

мин и окончательно закаливалась в спрейерном устройстве до желаемой комнатной температуры. По обычной технологии проводился отпуск To = 180 °С. Полученные расчеты подтвердили факт отпуска при Po = 600 °С, и испытания экспериментальные показали, что стойкость инструмента составляет ~ 5400 – 5900 шт. роликов.

Подобранный режим термоциклической обработки, включающий предварительные закалку и отпуск, дал положительный результат и при обработке пуансонов с d = 12,6 мм и d = 12,65 мм для холодного вдавливания из сталей 55СХА, 55СВФА и 55СМФА. Осуществлялась термическая обработка по режиму в соляных ваннах $P_з$ = 800 °С, Po = 560°С, $T_з$ = 870°С, n = 1, To = 240°С, τ^o = 1 ч.

Для того чтобы оценить влияние указанных параметров термической и термоциклической обработки на структуру шарикоподшипниковой стали марки ШХ15, был выполнен эксперимент, в котором варьировались значения температуры и число закалок, а также высокотемпературный промежуточный отпуск. Параллельно со структурой исследовались инкремент и декремент затухания, а также теплостойкость, модуль упругости стали и константа Мейера.

Предложенные варианты термической обработки (всего их 11 режимов) приведены на рис. 2. Варьировались в них: температура второй закалки, число закалок, а также длительность выдержки при $T_з$ и P_o. Фрактограммы с изломов приведены для вариантов 5 и 11 (см. рис. 3).

Показан анализ структурных изменений, что при проведении двух закалок происходило измельчение зерна с 7 – 8 баллов до 9 – 10 баллов после сравнения с однократной закалкой. Обработка по режиму 5 в свою очередь приводит к еще большему измельчению зерна до 11 – 12 баллов. Повышение температуры закалки приводит к огрублению зерен. В данном случае излом вместо вязкого ямочного превращается в крупнокристаллический межкристаллитный (рис. 3).

В табл.2, приводятся данные декремента Q^{-1}, инкремента Qu^{-1} затухания, константы Мейера, модуля упругости и характеристики стали ШХ15 после обработки согласно указанным вариантам, приведенным на рис. 2.

На основе данных таблицы 2 видно, что для большинства режимов обработки декремента и инкремента затухания существенно отличаются. Оно указывает на различные отношения склонности материала к рассеянию энергии в условиях уменьшающейся и увели-

чивающейся амплитуд колебаний. В данном случае модуль упругости изменяется незначительно. Максимальных значений инкремент достигает по режимам 8 и 9, а декремент при обработке по режимам 7 – 10. Минимум Qu^{-1} и Q^{-1} наблюдается при вариантах обработки № 1 и 11.

Таблица 2 – Релаксационные характеристики стали ШХ15

Режим	$Q^{-1}\cdot10^4$	$Qu^{-1}\cdot10^4$	g	$E\cdot10^{-4}$, МПа	nм	N, шт
1	4,9	3,1	0,163	20,60	1,130	1600
2	5,1	2,8	0,451	20,40	1,082	1600
3	5,9	3,7	0,379	20,30	1,155	3600
4	5,6	4.2	0,250	20,56	1,167	6700
5	5,3	2,5	0,337	20,62	1,189	4000
6	5,9	2,8	0,525	20,48	-	2550
7	6,8	3,8	0,441	20,39	-	1600
8	7,5	4,5	0,400	19,62	-	2000
9	6,9	4,9	0,289	20.11	-	-
10	7,4	3,9	0,473	10,59	-	-
11	3,9	2,8	0,282	20,78	-	-

С увеличением числа закалок при термоциклической обработке и при проведении промежуточного отпуска меняются: степень легированности и однородности матрицы, концентрация вакансий, плотность дислокаций, величина зерна, а также количество остаточного аустенита. Долевой вклад каждого из приведенных факторов может существенно меняться от варианта к варианту. Тем не менее во время практических процессов видно, что проведение термоциклической обработки с кратковременными выдержками как при отпуске, так и при закалках приводит к росту Q^{-1} по сравнению с однократной закалкой. Это и как раз указывает на большую подвижность дислокаций вследствие легкого перемещения точечных дефектов к узлам закрепления по механизму Бауэра. Приближенные данные Q^{-1} и Q^{-1} указывают на стабильность структуры. В свою очередь увеличение разницы между Q^{-1} и Qu^{-1} является следствием смены условий за-

креплений дислокации примесями при малых и больших амплитудах колебаний.

Высокие значения одновременно и Q^{-1} и Qu^{-1} после обработки по вариантам 8 и 9 – результат увеличения количества остаточного аустенита и существенного роста зерна. Анализ характеристики Мейера nм показывает, что при проведении ТЦО увеличивается подвижность дислокаций, что дополнительно подтверждает вышесказанное. Кроме того, выполненные исследования кинетики изменения твердости HRCэ в процессе отпуска стали при 600^0C показали, что после обработки по режимам 4 и 5 происходит более интенсивное снижение показаний твердости исследуемой стали, особенно в начальный период времени выдержки.

Таким образом, приведенные экспериментальные результаты по применению термической обработки по режимам, включающим промежуточный кратковременный отпуск между двумя закалками, приводят к формированию мелкозернистой структуры, хорошо приспосабливающейся к внешним нагрузкам на начальном этапе эксплуатации, что способствует перераспределению напряжений и в конечном итоге росту стойкости.

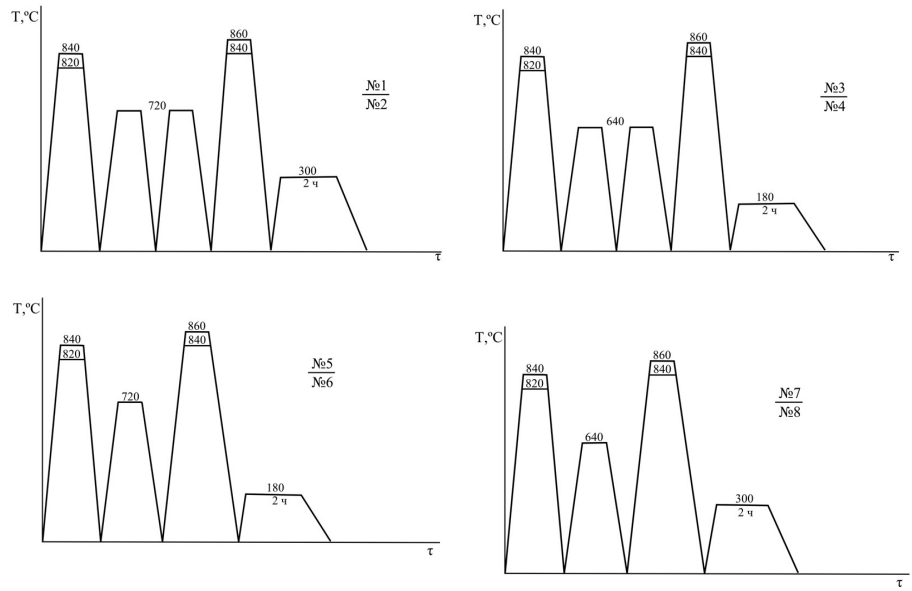

Рисунок 1- Режимы ТЦО матриц из ШХ15 для холодной высадки роликов

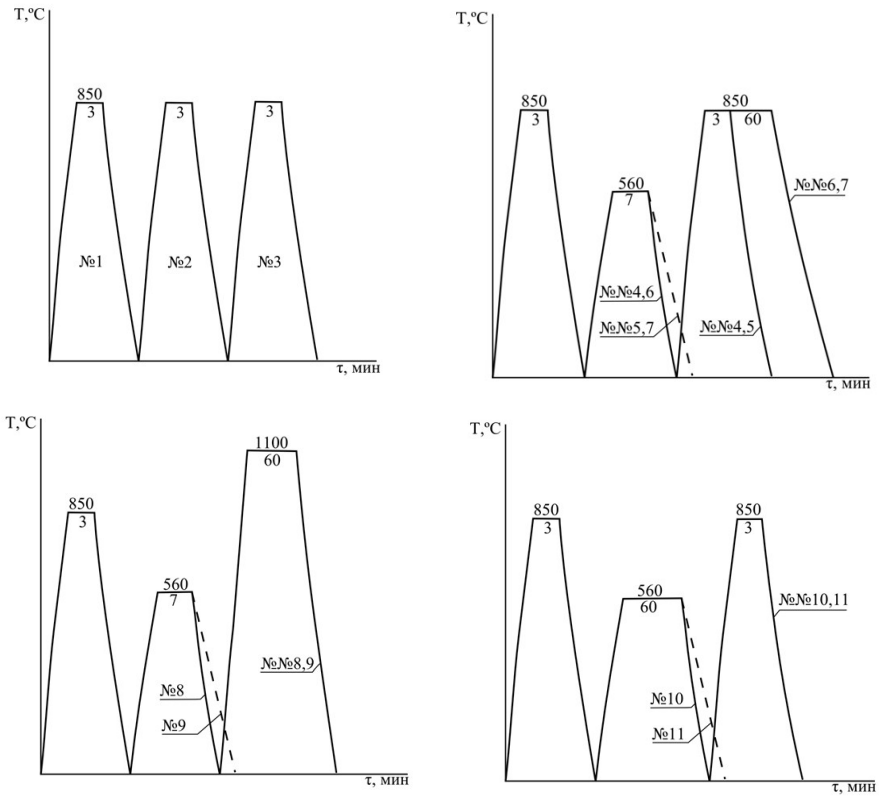

Рисунок 2 - Варианты термообработки стали ШХ15

а б

Рисунок 3 – Фрактограммы с излома стали ШХ15 после обработки по режимам: а - № 5 на рисунке 2; - №11, рисунке 2

Литература

1. Жолдошов Б.М., Муратов В.С., Кенис М.С. Термоциклическая обработка быстрорежущей стали Р18. //Заготовительные производства в машиностроении, 2010. –№6. С.37– 40.

2. Жолдошов Б.М., Муратов В.С., Кенис М.С., Морозова Е.А. Форсированная обработка стали 1ХН3А. //Журнал прикладных и фундаментальных исследований, №11. – 2010. – С.22–23.