

*Жолдошов Б.М.*

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ**

*B.M. Zholdoshev*

**DEVELOPMENT OF MODES OF THERMOCYCLIC TREATMENT  
OF BALL BEARING STEELS**

УДК: 669.18

*Рассмотрено влияние параметров термической и термоциклической обработки на структуру стали 111X15, а также был выполнен эксперимент на основе планируемого экстремального плана.*

**Ключевые слова:** шарикоподшипниковая сталь, режим, эксперимент, уравнение регрессии, стойкость, закалка, отпуск.

*The influence of the parameters of the thermal and thermal cycling treatment on the structure ShKh15 steel was studied: an experiment based on the projected extreme plan was performed.*

**Key words:** ball bearing steel, mode, the experiment, the regression equation, stability, quenching, tempering.

Исследуемая научная работа является продолжением предыдущих исследований [1,2], в которых для оценки возможности повышения стойкости холодно-высадочных штампов методами термоциклической обработки (ТЦО) были выполнены эксперименты, в котором варьировались температура первой закалки  $P_3$ , температура и кратность промежуточного отпуска  $P_0$  и  $n$ , температура окончательной закалки  $T_3$  и отпуска  $T_0$ , причем, как после закалочных температур, так и после промежуточного отпуска охлаждение матриц осуществлялось водой. Длительность выдержки при промежуточном отпуске определялась лишь длительностью прогрева инструмента на всю глубину.

Как правило из шарикоподшипниковой стали, на подшипниковых заводах изготавливают не только подшипниковые детали и штамповый инструмент для холодного деформирования или слесарный инструмент.

На многих заводах из ШХ15 изготавливают Х-образные отвертки, которые используются при сборке автомобилей на главном конвейере. Проблема стойкости инструмента из стали 111X15 весьма острая. Так за одну смену на конвейере ВАЗа рабочим расходуется 2-5 отверток, а стойкость матриц для холодной высадки роликов на ОАО «СПЗ» (Самарский подшипниковый завод) составляет при типовой обработке в среднем 1900 - 2400 шт. роликов.

Эксперимент был выполнен на основе планируемого экстремального плана  $2^{5-2}$ , в котором положено:  $T_3 \rightarrow x_1$ ;  $P_0 \rightarrow x_2$ ;  $n \rightarrow x_3$ ;  $P_3 \rightarrow x_4$  ( $x_4 = x_1 \cdot x_2$ );  $T_0 = x_5$  ( $x_5 = x_2 \cdot x_3$ ). Варианты термообработки, реализованные в соответствии с матрицей планирования, представлены на рис. 1. Стойкость матриц определялась по числу годных роликов, изготовленных в соответствии с допусками по размерам. Причинами выхода из строя инструмента являлись либо потеря размеров - "раздутие" - вследствие пластической деформации гравюры, либо появление "рябой" фаски вследствие пластического смятия гравюры, либо появление трещин в углах сопряжения основания с боковой поверхностью.

На рис. 1 верхние числа - температура - соответствуют верхним номерам обработки. Например, вариант 3 включает первую закалку  $P_3 = 840$  °С, двукратный отпуск при  $640$  °С и окончательные закалку  $T_3 = 860$  °С и отпуск  $T_0 = 180$  °С,  $t_0 = 2$  ч. Результаты стойкостных испытаний были повариантно такие: 1 - 1600; 2 - 1600; 3 - 13600; 4 - 6700; 5 - 4000; 6 - 2550; 7 - 1600; 8 - 2000 (см.табл). По этим данным было построено уравнение регрессии для стойкости:

$$N = 2750 - 250x_1 - 525x_2 + 425x_3 + 625x_4 - 1250x_5,$$

$$\text{где } x_1 = \frac{T_3 - 850}{10}; \quad x_2 = \frac{P_0 - 680}{40}; \quad x_3 = +1 \text{ при } n = 2, x_3 = -1 \text{ при } n = 1; \quad x_4 = \frac{P_3 - 830}{40}; \quad x_5 = \frac{P_0 - 240}{60},$$

причем  $-1 \leq x_i \leq 1$ .

Из уравнения видно, что для повышения стойкости инструмента следует поддерживать  $T_3$ ,  $P_0$  и  $T_0$  на нижнем уровне, а  $n$  и  $P_3$  на верхнем. С учетом ограничений на  $x$ , максимальная стойкость, достигаемая при ТЦО согласно уравнению, составляет 6025 шт. Для дальнейшего повышения стойкости осуществлено движение по градиенту функции. При учете ограничений, вытекающих из экономических и теплотехнических соображений:  $P_3 \leq 840$ °С;  $T_0 \geq 180$ °С,  $n = 1$ , был предложен вариант ТЦО  $P_3 = 840$ °С,  $P_0 = 550$ °С,  $n = 1$ ,  $T_3 = 840$  °С,  $T_0 = 180$ °С.

Вариант позволил получить стойкость ~ 6000 - 8000 шт. роликов. С учетом стойкости, получаемой при типовой обработке, здесь достигнуто повышение стойкости инструмента в среднем в ~ 3 раза.

Режим, аналогичный изложенному, был нами испытан на ВАЗе;

2- при изготовлении деталей из ШХ15.

Режим включает:  $P_3 = 850$ °С,  $P_0 = 550$ °С,  $t_n = 15$  мин,

$$T_3 = 850^\circ\text{C}, T_0 = 180^\circ\text{C}, \tau_0 = 60 \text{ мин.}$$

Стойкость деталей при работе на главном конвейере повысилась в среднем в 1,8 раза. Следует заметить, что на практике не всегда следует разделять во времени операции предварительной закалки и отпуска от окончательных. В случае массивных штампов (в данном случае под массивным будем понимать штампы с толщиной стенки более 30 - 40 мм) можно осуществлять ТЦО лишь поверхностных слоев, прилегающих к гравюре штампа. При этом подбором длительности охлаждения при прерывистой закалке и паузы до нового начала охлаждения можно добиться закалки и отпуска поверхностных слоев за счет аккумулированного во внутренних объемах тепла. Такой режим ТЦО весьма экономичен и мобилен. Реализация его на матрицах из ШХ15 ( $d_{\text{вн}} = 17$  и  $10$  мм,  $d_{\text{нар}} = 110$  мм) для штамповки роликов осуществлялась путем нагрева штампа в камерной печи до  $P_3 = T_3 = 810^\circ\text{C}$  ( $\tau_3 = 45$  мин) с последующим спрейерным охлаждением внутренней полости в течение 50 с. затем охлаждение прерывалось на 60 с и вновь возобновлялось на 60 с, после чего матрица помещалась в камерную печь, где нагревалась 5-8 мин и окончательно закаливалась в спрейерном устройстве до комнатной температуры. Отпуск проводился по обычной технологии  $T_0 = 180^\circ\text{C}$ . Расчеты подтвердили факт отпуска при  $P_0 = 600^\circ\text{C}$ , а экспериментальные испытания показали, что стойкость инструмента составляет ~ 5500 - 6000 шт. роликов.

Режим ТЦО, включающий предварительные закалку и отпуск, дает положительный результат и при обработке пуансонов с  $d = 12,8$  мм и  $d = 12,85$  мм для холодного вдавливания из сталей 55СВФА, 55СМФА и 55СХА. Термообработка осуществлялась в соляных ваннах по режиму  $P_3 = 800^\circ\text{C}$ ,  $P_0 = 550^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 860^\circ\text{C}$ ,  $n = 1$ ,  $T_0 = 230^\circ\text{C}$ ,  $\tau_0 = 1$  ч.

Для оценки влияния параметров термической и термоциклической обработок на структуру стали ШХ15 был выполнен эксперимент, в котором варьировались температура и число закалок, а также промежуточный высокотемпературный отпуск. Наряду со структурой исследовались инкремент и декремент затухания, а также модуль упругости стали, теплостойкость и константа Мейера.

Варианты термообработки (всего 11 режимов) представлены на рис. 2. В них варьировались: температура второй закалки, число закалок, а также длительность выдержки при  $P_0$  и  $T_3$ . Фрактограммы с изломов приведены для вариантов 5 и 11 (см. рис. 3).

Анализ структурных изменений показывает, что при проведении двух закалок происходит измельчение зерна с 7 - 8 балла до 9 - 10 балла по сравнению с однократной закалкой. В свою очередь, обработка по режиму 5 приводит к еще большему измельчению зерна до 11 - 12 балла. Увеличение температуры закалки приводит к огрублению зерен. При этом излом вместо вязкого ямочного превращается в крупнокристаллический межкристаллитный (см. рис. 3).

В таблице приведены данные декремента  $Q^{-1}$ , инкремента  $Q_u^{-1}$  затухания, характеристики  $g = \frac{Q^{-1} - Q_n^{-1}}{Q^{-1}}$ ,

константы Мейера и модуля упругости стали ШХ15 после обработки по вариантам, приведенным на рис. 2. Из данных таблицы видно, что для большинства режимов обработки инкремент и декремент затухания существенно отличаются. Это указывает на различную склонность материала к рассеянию энергии в условиях увеличивающейся и уменьшающейся амплитуд колебаний. При этом модуль упругости изменяется незначительно. Максимальных значений декремент достигает при обработке по режимам 7 - 10, а инкремент по режимам 8 и 9. Минимум  $Q^{-1}$  и  $Q_u^{-1}$  наблюдается при вариантах обработки № 1 и 11.

Релаксационные характеристики стали ШХ15

Режим	$Q^{-1} \cdot 10^4$	$Q_u^{-1} \cdot 10^4$	g	E-10 <sup>-4</sup> , МПа	$\mu$	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	-	-
И	3,9	2,8	0,282	20,78	-	-

С увеличением числа закалок при ТЦО и при проведении промежуточного отпуска меняются: степень легированности и однородности матрицы, величина зерна, плотность дислокаций, концентрация вакансий, а также количество остаточного аустенита. Доля вклада каждого из указанных факторов может существенно меняться от варианта к варианту. Тем не менее, видно, что проведение ТЦО с кратковременными выдержками как при отпуске, так и при закалках приводит к росту  $Q^{-1}$  по сравнению с однократной закалкой. Это указывает

на большую подвижность дислокаций, вследствие легкого перемещения точечных дефектов к узлам закрепления по механизму Бауэра. Близость  $Q^{-1}$  и  $Q_u^{-1}$  указывает на стабильность структуры. В свою очередь, увеличение разницы между  $Q^{-1}$  и  $Q_u^{-1}$  является следствием смены условий закреплений дислокации примесями при малых и больших амплитудах колебаний.

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

Заключения и выводы: приведенные экспериментальные данные по применению термообработки по режимам, включающим промежуточный кратковременный отпуск между двумя закалками, приводит к формированию мелкозернистой структуры, хорошо приспособляющейся к внешним нагрузкам на начальном этапе эксплуатации, что способствует к перераспределению напряжений, и в конечном итоге, росту стойкости.

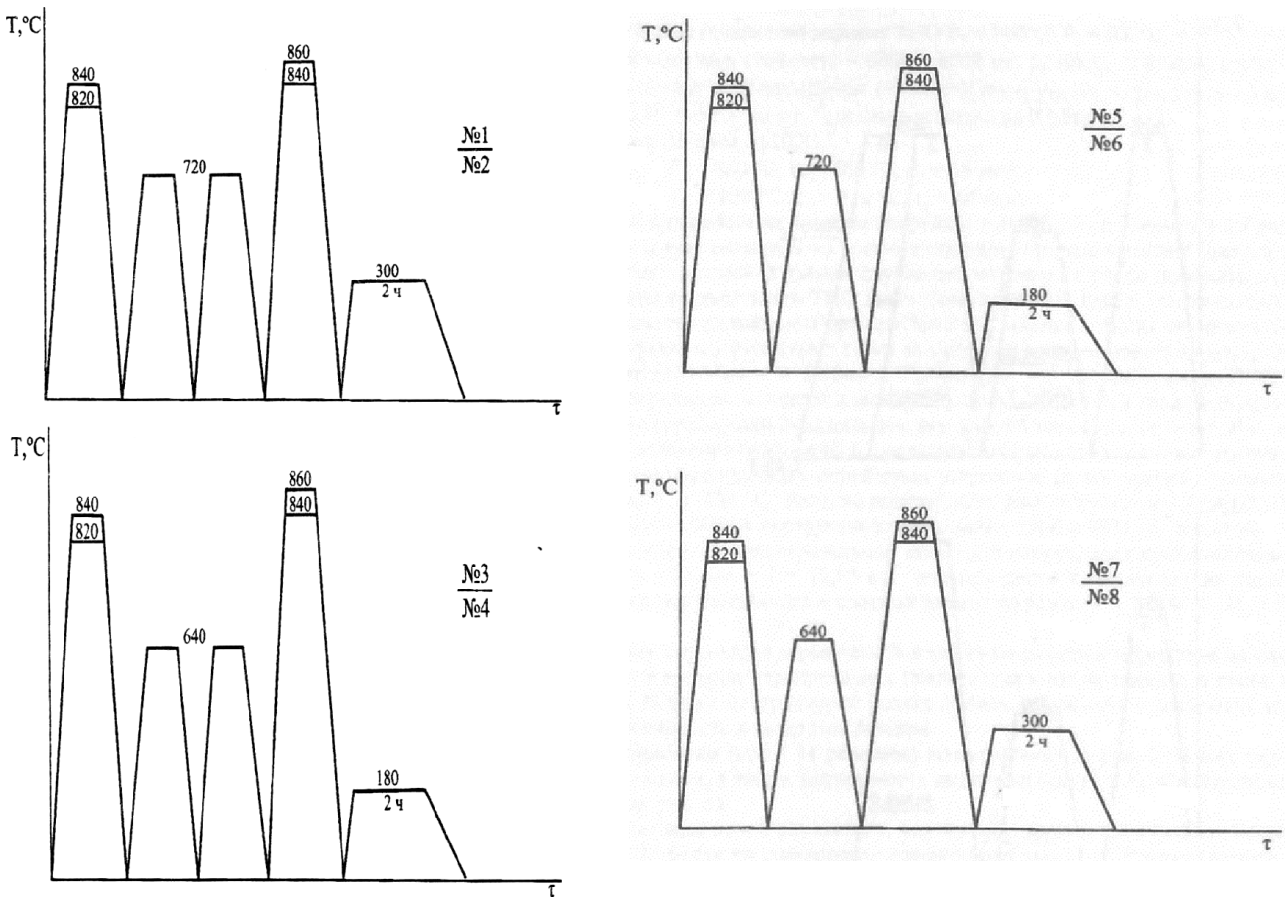


Рис.1. Режимы ТЦО матриц из ШХ 15 для высадки роликов

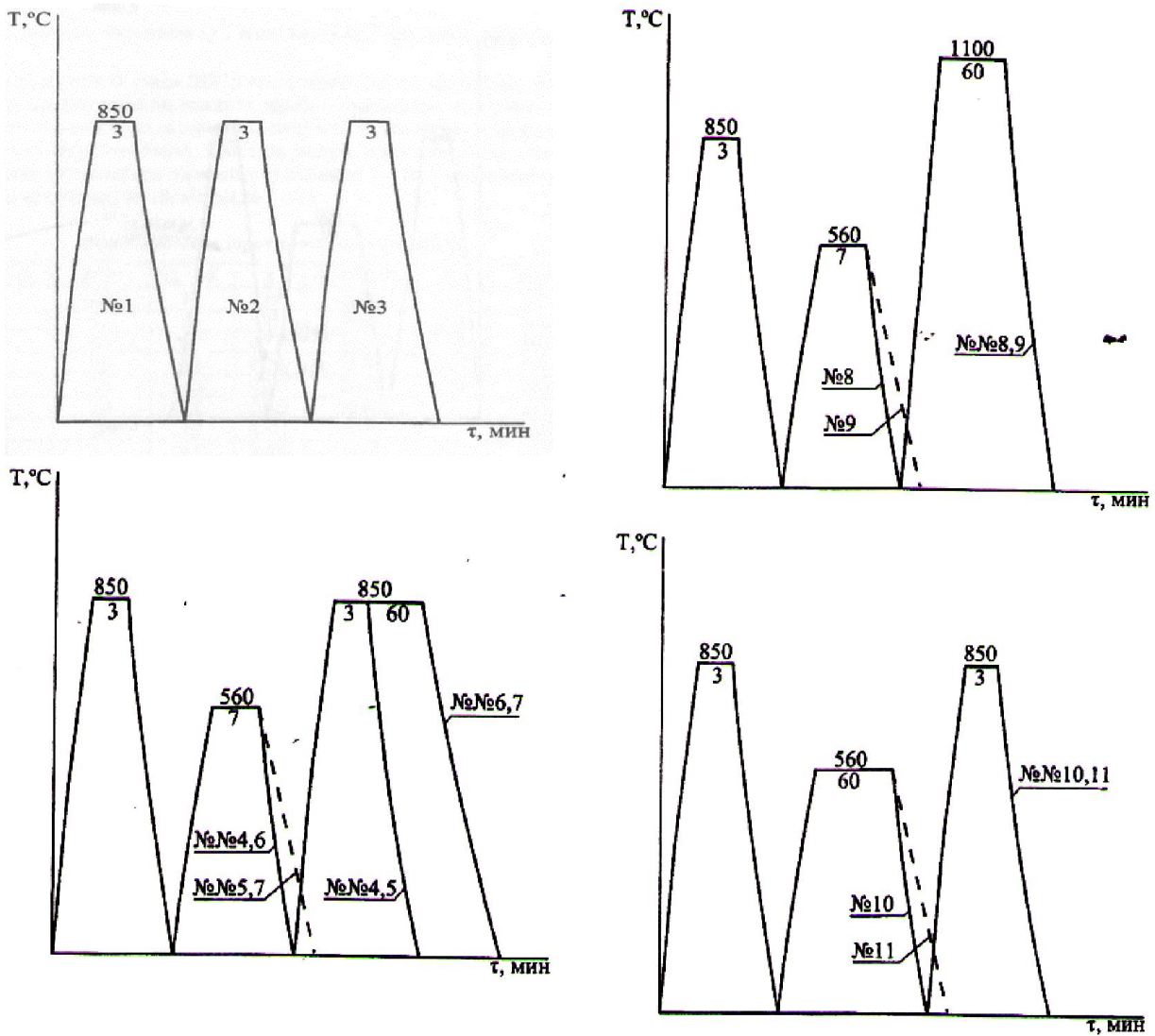
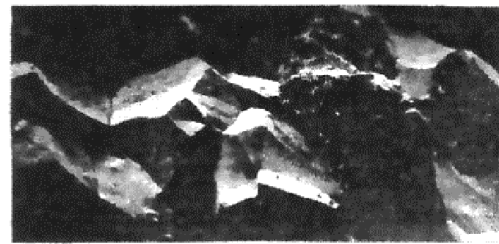


Рис.2. Варианты термообработки стали ШХ 15



а



б

Рис.3. Фрактограммы с излома стали ШХ 15 после обработки по режимам. а - №5, рис.2; б- №11, рис.2.

**Литература:**

1. Жолдошов Б.М., Муратов В.С., Морозова Е.А. Особенности форсированного охлаждения после штамповки на г-ругтуру и свойства стали 40Х, Успехи современного естествознания, №6,2010. -с.69-70.
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.

**Рецензент: д.ф-м.н., профессор Выбойщик М.А.**