

*Жолдошов Б.М., Муратов В.С., Кенис М.С.*

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ P18**

*B.M. Zholdoshev, V.S. Muratov, M.S. Kenis*

**INCREASING RESISTANCE OF HIGH-SPEED STEEL R18**

УДК: 669.14.018.3

*In a scientific paper we consider the possibility of using multiple hardenings of the undercritical and subcritical regions with a view to enhancing the redistribution of alloying elements in steel, changes in dispersion and possible composition of the phases in the decay of solid solution in the vacation.*

**Ключевые слова:** *быстрорежущая сталь, термоциклирование, теплостойкость, твердость, закалка, отпуск.*

*В научной работе рассмотрена возможность использования кратных закалок из надкритической и субкритической областей с целью активизации перераспределения легирующих элементов в стали, изменения дисперсности и, возможно, состава фаз при распаде твердого раствора в процессе отпуска.*

**Key words:** *rapid machining steel, thermo cycling, thermal endurance, hardness, hardening, tempering.*

Литературные данные [1,2] свидетельствуют об эффективности применения термоциклической обработки (ТЦО) маятникового типа для повышения стойкости быстрорежущих сталей (литых и пластически деформированных). Рекомендуемые режимы характеризуются достаточно большим числом термоциклов (8 и более), что существенно увеличивает энергозатраты и удлиняет процесс термообработки. С этой точки зрения представляет интерес проверить возможность использования кратных закалок из надкритической и субкритической областей с целью активизации перераспределения легирующих элементов в стали, изменения дисперсности и, возможно, состава фаз при распаде твердого раствора в процессе отпуска.

Эксперимент выполнен с использованием экстремального планирования на сверлах из стали P18 (0,81% C; 0,15% Si; 0,33% Mn; 3,77% Cr; 0,44% Mo; 18,25% W; 1,07% V; 0,12% Ni) диаметром 1,89 мм. На рисунке приведены исследуемые варианты термоциклической обработки. Нагрев под закалку и отпуск осуществлялся в соляных ваннах. В качестве варьируемых параметров ТЦО использованы: температура  $T_n$  нагрева из субкритической области (фактор  $x_0$ ); температура  $T_3$  закалки из надкритической области (фактор  $x_2$ ); число  $m \rightarrow (x_3)$  нагревов до  $T_n$  и  $T_3$ ; температура  $T_0$  отпуска  $\rightarrow (x_4)$  и количество циклов отпуска  $n \rightarrow (x_5)$ . Ниже в таблице представлена матрица планирования  $2^{5-2}$  линейно-экстремального плана с определяющим контрастом  $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 = 1$ ,  $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 = -1$  и результаты эксперимента. В качестве выходных параметров рассматривались: твердость после ТЦО при комнатной температуре НВ; теплостойкость НВ<sub>Т</sub> - определена измерениями холодной твердости, для определения теплостойкости образцы после исследуемых режимов дополнительно нагревали на 4 ч до температуры 625°C, после чего измеряли твердость НВ<sub>Т</sub>; коэрцитивная сила Н<sub>с</sub>; максимальная магнитная проницаемость  $\mu_{\max}$ ; индукция насыщения В<sub>с</sub>; N - число изделий, обработанных одним сверлом.

Для сравнения с табличными данными отметим результаты испытаний для P18, полученные после типового варианта обработки ( $T_3 = 1280$  °C,  $T_0 = 560$  °C,  $t_0 = 1$  ч,  $p = 3$ ); НВ = 7600 МПа, НВ<sub>Т</sub> = 6940 МПа, Н<sub>с</sub> = 4460 А/м,  $\mu_{\max} = 97,72$ , В<sub>с</sub> = 2,92 Тл, N = 1200, шт.

По данным таблицы построены регрессионные уравнения:

$$HB = 7729 + 135x_2 + 76x_3 - 128x_4 - 98x_5 - 45x_1x_2 + 108x_2x_3, \text{ МПа} \quad (1)$$

$$HB_T = 6239 + 90x_1 + 76x_2 - 279x_3 + 178x_5 + 185x_1x_2 - 182x_2x_3, \text{ МПа} \quad (2)$$

$$H_c = 4294 - 233x_1 + 314x_2 - 103x_3 - 103x_4 + 118x_5 + 214x_1x_2 - 86x_2x_3, \text{ А/м} \quad (3)$$

$$\mu_{\max} = 94 - 7,4x_4 + 2,2x_5 \quad (4)$$

$$B_s = 2,86 - 0,01x_1 - 0,032x_2 - 20,01x_4 - 0,029x_1x_2 - 0,01x_2x_3, \text{ Тл} \quad (5)$$

$$N = 2620 + 438x_1 - 432x_3 - 232x_4 + 130x_5 + 775x_1x_2, \text{ шт.} \quad (6)$$

Эти уравнения построены для доверительных интервалов коэффициентов (при 0,05 уровне значимости);

$$Abj(HB) = 65 \text{ МПа}; Abj(HB_T) = 55 \text{ МПа};$$

$$Abj(H_c) = 22 \text{ А/м}; Abj(\mu) = 0,36;$$

$$Abj(B_s) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}; Abj(N) = 70.$$

Анализ полученных табличных данных и уравнений регрессии показывает, что предварительный нагрев перед закалкой в низкотемпературной (субкритической) области с последующим ускоренным охлаждением полезен. При этом важно отметить, что для повышения стойкости  $N$  необходимо  $T_n$  поддерживать на верхнем уровне. В то же время одновременно желательно повышение  $T_3$  до  $1270 \text{ }^\circ\text{C}$  при сохранении  $T_0$  на нижнем уровне ( $520 \text{ }^\circ\text{C}$ ), а кратность окончательного отпуска  $p$  должна быть равна 3. В целом длительность отпуска не превышала 60 мин, что в 3 раза короче типового

отпуска. Из уравнения (1) видно, что взаимодействие факторов  $x_1, x_2$  весьма эффективно для увеличения стойкости инструмента, и это имеет место в то время, когда линейное слагаемое, отражающее влияние  $x_2$  мало значимо. Сравнивая коэффициенты уравнений (1 - 6) видно, что теплостойкость инструмента коррелирует со стойкостью, однако о стойкости  $N$  по данным для  $HB_T$  следует судить с определенной осмотрительностью. Тем не менее видно, что в целом действие основных параметров и их взаимодействий одновременно повышают или понижают и  $HB_T$  и  $N$ .

Из анализа характера изменения параметров  $H_c$ ,  $\sigma_{\text{тах}}$  и  $B_s$ , из которых первые два структурно-чувствительны, а  $B_s$  - структурно нечувствительная характеристика, можно отметить следующее. При нагреве под закалку до  $T_3$  растворяются карбиды, содержащие  $\text{Cr}$  и частично  $\text{W}$  и  $\text{V}$ . Чем выше  $T_3$ , тем, при равных условиях, выше содержание легирующих элементов в твердом растворе. В результате после закалки увеличивается количество остаточного

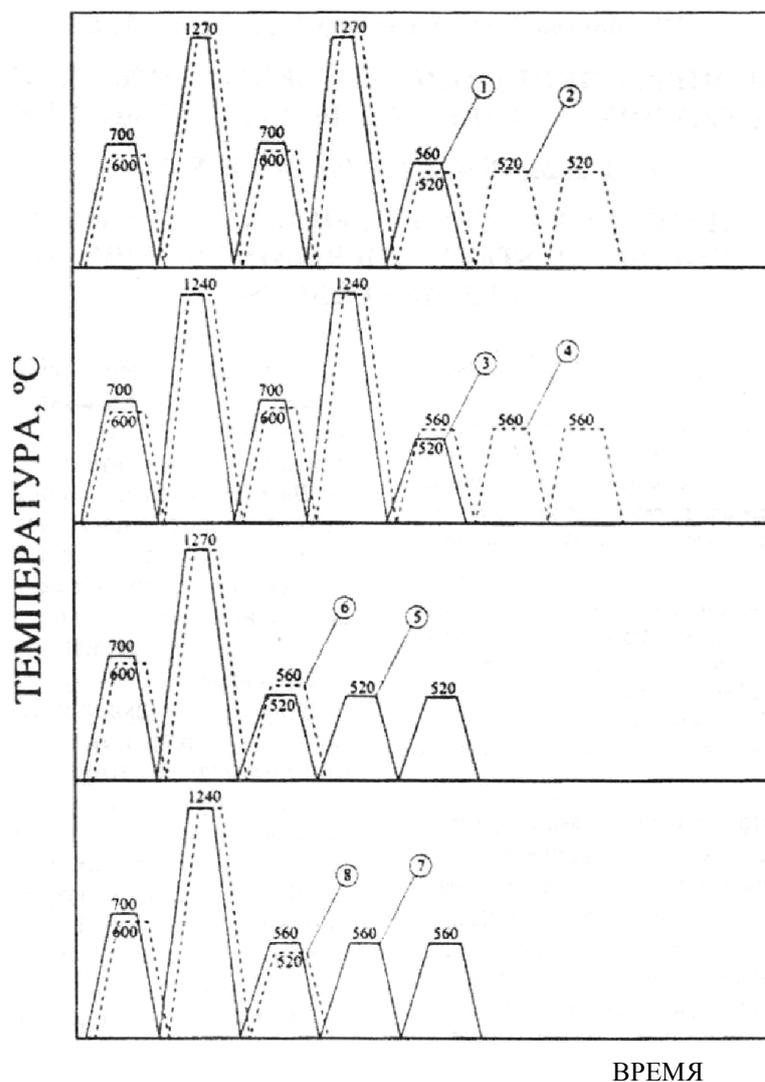
аустенита, а при распаде мартенсита из раствора выделяются более дисперсные карбиды. Отсюда можно ожидать увеличения теплостойкости и коэрцитивной силы  $H_c$ , величина которой определится, согласно Е.И. Кондорскому, по формуле

$$H_c = \frac{K_1 \delta}{2\mu_0 J_s d} v^{2/3}, \quad (7)$$

где  $K_1$  - константа анизотропии,  $\delta$  - толщина границы домена,  $J_s$  - намагниченность насыщения,  $d$  - размер включений в матрице,  $v$  - объемная доля включений,  $\mu_0$  - проницаемость вакуума.

С увеличением дисперсности выделений и роста количества Ауст уменьшается  $d$  и увеличивается  $v$ , что приводит к росту  $H_c$  и снижению  $\mu_c$  одновременно. Действие предварительного нагрева перед закалкой сводится: к снятию остаточных напряжений в поверхностных зонах после пластической деформации при изготовлении; полигонизационным процессам, конкурирующим с рекристаллизацией матрицы при закалке; к наведению дополнительных центров роста аустенита при  $\alpha \rightarrow \gamma$  - превращении (за счет пластической деформации при ускоренном охлаждении после низкотемпературного нагрева). В итоге предварительного нагрева до  $T_n$  обеспечивается неупорядоченная перекристаллизация при  $\alpha \rightarrow \gamma$  - превращении. Это должно способствовать росту  $HB$ ,  $HB_T$  и  $N$  и снижению  $H_c$ .

Режим типа 5 (см. таблицу) был применен при термообработке опытной партии сверл  $d = 10$  мм из стали Р18. Параметры обработки следующие:  $T_n = 700 \text{ }^\circ\text{C}$  с охлаждением в масле;  $T_3 = 1270 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $m = 1$ ,  $T_0 = 520 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 30$  мин,  $n = 3$  (общая длительность отпуска 1 час). Исследования показали повышение стойкости сверл в 2 раза при сверлении отверстий в стали 40Х по сравнению с типовой обработкой.



Варианты термоциклической обработки стали P18

Матрица планирования и результаты испытаний стали P18

№ п/п	Факторы					НВ МПа	НВт, МПа	Hc, А/м	Umax	B,, Тл	N, шт
	Tн, °С	Tз, °С	m, циклы	To, °С	n, циклы						
1	700	1270	2	560	1	7930	5990	4201	93,22	2,78	3100
2	600	1270	2	520	3	8170	5720	4652	82,70	2,84	1400
3	700	1240	2	520	1	7790	5760	3494	92,65	2,90	1890
4	600	1240	2	560	3	7340	6380	4467	111,22	2,89	2360
5	700	1270	1	520	3	7620	7190	5006	79,97	2,79	4590
6	600	1270	1	560	1	7740	6360	4632	90,25	2,88	1440
7	700	1240	1	560	3	7400	6380	3572	110,90	2,91	2650
8	600	1240	1	520	1	7850	6140	4437	91	2,85	3530

**Литература:**

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка сталей и чугунов. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. - 144 с.
2. Баранов А.А, Фазовые превращения и термоциклирование металлов. - Киев: Науково думка, 1984. - 231 с.

**Рецензент: д.тех.н., профессор Носов Н.В.**