

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-5-11-19

УДК 621.9.025.523

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕЖИМОВ  
УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОРОШКОВЫХ  
БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ**

**METHODOLOGICAL APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF MODES OF  
HARDENING HEAT TREATMENT OF POWDER HIGH-SPEED STEELS**

**Коротков Александр Николаевич<sup>1</sup>,**

доктор техн. наук., проф., e-mail: korotkov.a.n@mail.ru

**Alexander N. Korotkov<sup>1</sup>,** Dr. Sc. in Engineering, Professor

**Короткова Лидия Павловна<sup>1</sup>**

канд. техн. наук., доцент, e-mail: techmet@list.ru

**Lidiya P. Korotkova<sup>1</sup>,** C. Sc. in Engineering, Associate Professor

**Видин Денис Владимирович<sup>1,2</sup>,**

старший преподаватель, e-mail: techmet@list.ru

**Denis V. Vidin<sup>1,2</sup>,** Senior Lecturer

**Лашчинина Светлана Викторовна<sup>1</sup>,**

старший преподаватель, e-mail: techmet@list.ru

**Svetlana V. Lashchinina<sup>1</sup>,** Senior Lecturer

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>1</sup>T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup>Кемеровский коммунально-строительный техникум имени В.И. Заузелкова, 650070, Россия, г. Кемерово, ул. Тухачевского, 23А, Кемерово

<sup>2</sup>Kemerovo Municipal Construction College named after V.I. Zauzelkova, 650070, Russia, Kemerovo, st. Tukhachevsky, 23A, Kemerovo

**Аннотация:**

*На основе накопленного научно-исследовательского опыта авторы сформулировали методологический подход по выбору и назначению режимов упрочняющей термической обработки порошковых быстрорежущих сталей. Предлагается назначать режимы упрочняющей термической обработки быстрорежущих сталей с учетом условий эксплуатации инструмента и на основе результатов комплексного контроля качества сталей по основным свойствам – твердости, теплостойкости, ударной вязкости и по параметрам микроструктуры – карбидной неоднородности, размеру зерна на различных технологических этапах.*

**Ключевые слова:** Порошковая быстрорежущая сталь, термическая обработка, качество, методологический подход, микроструктура, основные свойства, теплостойкость.

**Abstract:**

*On the basis of the accumulated scientific research experience, the authors formulated a methodological approach to the selection and purpose of modes of hardening heat treatment of powder high-speed steels. It is proposed to designate the modes of hardening heat treatment of high-speed steels, taking into account the operating conditions of the tool and on the basis of the results of comprehensive quality control of steels in terms of basic properties - hardness, heat resistance, impact toughness and microstructure parameters - carbide heterogeneity, grain size at various technological stages.*

**Key words:** Powder high-speed steel, heat treatment, quality, methodological approach, micro-structure,

*basic properties, heat resistance.*

### **Введение**

В настоящей работе представлен методологический подход, который может быть использован при разработке упрочняющей термической обработки для новой группы инструментальных сталей – порошковых быстрорежущих сталей. Рассмотрены особенности контроля качества порошковых быстрорежущих сталей на различных этапах технологического производства в соответствии с действующими стандартами.

Порошковые быстрорежущие стали являются комплексно-легированными сталями карбидного класса. Так же, как и традиционные стали, они подвергаются специфической термической обработке, а именно высокотемпературной закалке с последующим двух- трехкратным отпуском. Температурный режим термической обработки зависит не только от химического состава сплава, но и от технологии производства быстрорежущих сталей. Как оказалось, упрочняющая термическая обработка порошковых быстрорежущих сталей отличается более низкой температурой закалки (разница составляет до 60°C), кратностью и температурой отпуска.

Часто на практике при назначении режима упрочняющей термической обработки за параметр оптимизации выбирается только вторичная твердость [1, 2, 3, 4, 5]. В настоящей работе показано, что необходимо проводить комплексный контроль качества термической обработки не только по основным свойствам (вторичная твердость, теплостойкость, ударная вязкость), но и с учетом параметров микроструктуры.

При выборе режимов упрочняющей термической обработки необходимо использовать комплексный подход и учитывать химический состав сплава, а также параметры микроструктуры стали на всех стадиях термической обработки. Режимы термической обработки необходимо корректировать в зависимости от условий эксплуатации инструмента.

### **Методика исследований**

Базировалась на определении химического состава, контроле основных свойств, а также на металлографических исследованиях макро- и микроструктуры сталей в соответствии с российскими стандартами на порошковые быстрорежущие стали (ГОСТ 28393).

Исследования заключались в контроле качества быстрорежущих сталей в состоянии поставки и на основных технологических этапах термической обработки и включали в себя следующие виды:

- определение химического состава;
- исследование макроструктуры: излом, серная ликвация, кислородная ликвация;

- исследование микроструктуры по параметрам: структурная полосчатость, наличие инородных частиц, наличие микропор, карбидная неоднородность, величина зерна аустенита, обезуглероженный слой;

- контроль основных свойств по следующим показателям: твердость в состоянии поставки, твердость после закалки, закалки и отпуска; основные механические свойства – ударная вязкость, прочность на изгиб.

Для выполнения данных исследований разработана методика контроля качества быстрорежущих инструментальных сталей в традиционном и порошковом исполнении в соответствии с действующими стандартами. Параметры контроля представлены в таблице 1.

Для сравнения в таблицу внесены параметры контроля для быстрорежущих сталей, произведенных по традиционной технологии. Из нее видно, что к порошковым быстрорежущим сталям предъявляются более высокие требования как по структуре, так и по механическим свойствам.

Требования к микроструктуре порошковых быстрорежущих сталей, условия контроля в соответствии с ГОСТ 28394 сведены в таблице 2.

Фазовый состав сталей исследовался с помощью рентгеноструктурного анализа и с помощью магнитных измерений на анизометре.

### **Результаты исследований.**

Задачей данной работы являлось формирование особенностей методологического подхода при выборе режима упрочняющей термообработки порошковых быстрорежущих сталей в зависимости от вида металлорежущего инструмента, т.е. от условий его эксплуатации, с точки зрения обеспечения оптимального соотношения между твердостью, теплостойкостью и ударной вязкостью за счет микроструктуры, фазового состава и сбалансированного химического состава.

На кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» Кузбасского государственного технического университета накоплен опыт исследования быстрорежущих сталей, полученных в том числе методом порошковой металлургии [6, 7, 8].

В России и за рубежом разработаны порошковые быстрорежущие стали, некоторые из них включены в ГОСТ 28393. Эти стали имеют особенности в химическом составе, а именно повышенное содержание углерода, карбидообразующих элементов, в том числе

Таблица 1. Структура испытаний при контроле качества быстрорежущих сталей  
 Table 1. Test structure for quality control of high-speed steels

№ п/п	Параметры контроля	Традиционные быстрорежущие стали (ГОСТ 19265)	Порошковые быстрорежущие стали (ГОСТ 28393)
1	Определение химического состава	+	+
2	Контроль размеров и состояния поверхности (ГОСТ 1051, ГОСТ 14955)	+	+
3	Макроструктура (ГОСТ 10243)	+	+
3.1	Излом (ГОСТ 9454)	–	+
3.2	Серная ликвация	–	+
3.3	Кислородная ликвация	–	+
6	Микроструктура	+	+
6.1	Микропоры (ГОСТ 28393)	–	+
6.2	Кислородная ликвация (ГОСТ 1435)	–	+
6.3	Структурная полосчатость (ГОСТ 5640)	–	+
6.4	Инородные порошковые частицы (ГОСТ 28393)	–	+
6.5	Величина зерна аустенита (ГОСТ 5639)	+	+
6.6	Карбидная неоднородность (ГОСТ 19265, ГОСТ 28393)	+	+
6.7	Глубина обезуглероженного слоя (ГОСТ 1763)	+	+
7	Твердость в состоянии поставки (ГОСТ 9012)	+	+
8	Твердость после закалки или отпуска (ГОСТ 9012)	+	+
9	Основные механические свойства (ГОСТ 1497, ГОСТ 9454)	–	+
10	Теплостойкость – красностойкость (ГОСТ 28393, ГОСТ 19265)	+	+

недорогого ванадия [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Технология производства порошковых быстрорежущих сталей существенно отличается от традиционной и включает в себя две основные стадии – производство порошка и последующее его компактирование в плотные заготовки.

Производство порошка заключается в распылении струи жидкого металла заданного химического состава инертным газом, поступающим через форсунки под давлением 2-3 МПа. В результате получается порошок с размером

50-600 мкм. Уже на этапе кристаллизации порошка за счет сверхвысоких скоростей охлаждения  $10^3$ - $10^5$  град/с закладываются основные преимущества порошковых быстрорежущих сталей: высокая дисперсность структурных составляющих (1-2 мкм); высокая пересыщенность твердых растворов, в том числе углеродом и карбидообразующими элементами.

Следующим этапом технологии изготовления заготовок является компактирование методами [1, 2, 3, 7, 13, 14]:

Таблица 2. Условия контроля качества структуры порошковых быстрорежущих сталей  
Table 2. Conditions for quality control of the structure of powder high-speed steels

Контролируемый показатель	Подготовка образца <sup>1, 2, 3</sup>	Увеличение микроскопа	Метод оценки показателя
Глубина обезуглероженного слоя	Плоскость, травление	100 <sup>x</sup> и более	Измерение окулярной линейкой на двух образцах по ГОСТ 1763
Микропоры	Плоскость <i>в</i> , без травления	200 <sup>x</sup>	В баллах по шкале для оценки пор в микроструктуре стали по ГОСТ 28393. Допустимый балл 1–3
Кислородная ликвация	Плоскость <i>в</i> , без травления	200 <sup>x</sup>	В баллах по шкале для оценки кислородной ликвации по ГОСТ 28393. Допустимый балл 1–2
Структурная полосчатость	Плоскость <i>в</i> , травление	100 <sup>x</sup>	В баллах по шкале для оценки структурной полосчатости по ГОСТ 28393. Допустимый балл 1–2
Инородные порошковые частицы	Плоскость <i>в</i> , травление	100 <sup>x</sup>	Методом подсчета на всей площади шлифа по ГОСТ 28393. Допустимое количество – одна на всей площади шлифа
Величина зерна	Плоскость, травление	400 <sup>x</sup>	Допустимый балл 12(по ГОСТ 56390). Рис.а и в. Величина зерна (по ГОСТ28393, стр.200
Карбидная неоднородность	Плоскость <i>в</i> , травление до почернения	100 <sup>x</sup>	Допустимый балл 1 по шкале № 1 (по ГОСТ 19265). Рис.б и г. Микроструктура (по ГОСТ28393)

Примечания:

1. Поперечная плоскость *а* и параллельная плоскость *в* к направлению деформации
2. Термообработка: закалка при температуре в зависимости от марки стали и отпуск при температуре 680±700 °С с выдержкой не менее 1 часа после прогрева.
3. Травление 4 %-м спиртовым раствором HNO<sub>3</sub>

1) изостатическое прессование вакуумированных капсул с порошком при температуре 1100-1200 °С и под давлением 100-200 МПа с последующей ковкой;

2) горячая экструзия капсул с порошком.

Особенности структуры и фазового состава, полученные на этапе кристаллизации, наследуются в заготовках из порошковых быстрорежущих сталей после компактирования, что обеспечивает им благоприятную структуру в виде дисперсных карбидов и мелкого зерна и повышенные основные свойства: твердость, прочность, ударная вязкость и теплостойкость; хорошие технологические свойства, в первую очередь шлифуемость.

После компактирования заготовки имеют повышенную твердость 56-58 HRC, поэтому их обязательно отжигают по рекомендуемому режиму для быстрорежущих сталей (при температуре 840-860 °С с изотермической выдержкой 720-750 °С 1-2 часа в зависимости от массы заготовки).

Известно, что упрочняющая термическая обработка быстрорежущих сталей специфична. Она характеризуется высокотемпературным нагревом под закалку и двух-, трехкратным

отпуском. Цель закалки – растворить вторичные карбиды специального состава и обеспечить теплостойкость быстрорежущим сталям за счет легированности мартенсита. Цель двух-, трехкратного отпуска – вызвать дисперсионное твердение (в процессе выдержки) и превращение остаточного аустенита (в процессе охлаждения от температуры отпуска), а значит, обеспечить вторичную твердость [14].

Аналогичные превращения характерны для порошковых быстрорежущих сталей, но из-за особенностей микроструктуры (дисперсных структурных составляющих) и фазового состава (более значительная пересыщенность твердых растворов), отличий состава и объема карбидной фазы (наличие метастабильных карбидов и уменьшенный их объем) меняется температурный режим упрочняющей термической обработки [7, 8].

В результате патентно-литературного поиска установлено, что при разработке режимов упрочняющей термической обработки порошковых быстрорежущих сталей допускается ряд методологических недочетов [2, 3, 4, 5]:

– отсутствие комплексного контроля по

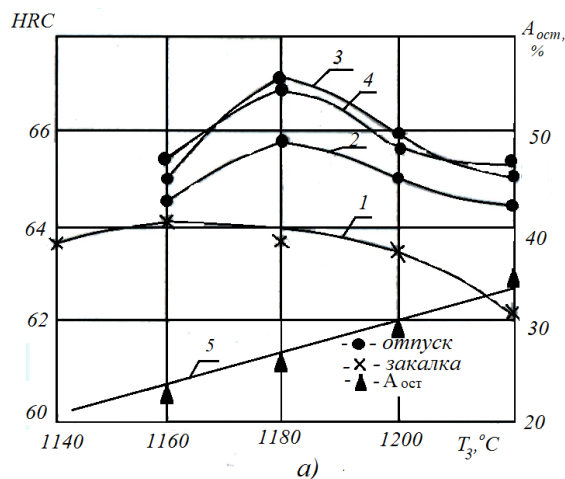


Рис. 1. Влияние температуры закалки на первичную (1) и вторичную твердость стали М5Ф5-МП после одно- (2), двух- (3) и трехкратного (4) отпуска при 540°С, на количество остаточного аустенита ( $A_{ост}$ , 5).

Fig. 1. The influence of the hardening temperature on the primary (1) and secondary hardness of steel M5F5-MP after single (2), double (3) and triple (4) tempering at 540 ° C, on the amount of retained austenite ( $A_{ost}$ , 5).

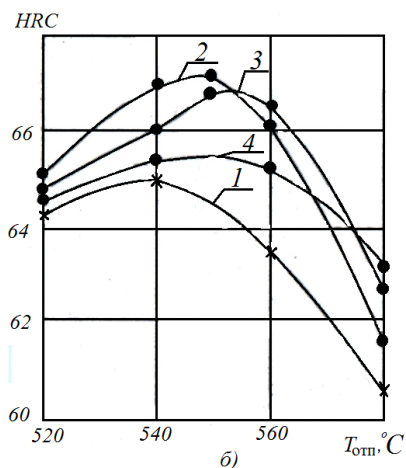


Рис. 2. Влияние температуры двухкратного отпуска на вторичную твердость стали М5Ф5-МП в зависимости от температуры закалки: 1, 2, 3, 4 соответственно 1160, 1180, 1200, 1220 °С

Fig. 2. The influence of the temperature of double tempering on the secondary hardness of steel M5F5-MP depending on the hardening temperature: 1, 2, 3, 4, respectively, 1160, 1180, 1200, 1220 ° C

основным свойствам;

- назначение режима упрочняющей обработки без учета условий эксплуатации инструмента;

- назначение режимов термической обработки без учета качества сталей в состоянии поставки.

В данной работе за параметры оптимизации при разработке режимов упрочняющей термической обработки были выбраны твердость и теплостойкость. Проводились испытания механических свойств, в некоторых случаях ударная вязкость косвенно оценивалась по результатам контроля микроструктуры, а именно по баллу зерна (ГОСТ 5639). Исследовалась микроструктура и фазовый состав термически обработанных порошковых быстрорежущих сталей.

Апробация методики проводилась на примере двух марок сталей экспериментального химического состава типа М5Ф5-МП отечественного производства и типа Р7М5Ф2-МП импортного производства. Обе эти стали по химическому составу относятся к группе сталей умеренной теплостойкости.

Упрочняющая термическая обработка для опытных сталей из-за особенной микроструктуры и фазового состава порошковых быстрорежущих сталей проводилась при более низких температурах по сравнению с традиционными быстрорежущими сталями: закалка в интервале от

1160 до 1220 °С; отпуск – в интервале 540-560 °С, менялась кратность отпуска от одного до четырех, каждый из которых проводился по 1 часу.

**Результаты исследования безвольфрамовой порошковой быстрорежущей стали типа М5Ф5-МП**(1,75 %С; 5,5 % Мо, 6,0 % V%, 4.8 % Cr) приведены на рис. 1 и рис. 2.

Зависимость твердости порошковой быстрорежущей стали М5Ф5-МП от температуры закалки ( $T_3$ ) представлена на рис. 1. Наглядно видно, что максимальные первичная и вторичная твердость обеспечиваются в интервале температур 1180±5 °С. Температура закалки для этой стали не должна превышать 1200°С, т.к. в этом случае происходит интенсивный рост зерна аустенита от 13 до 11 балла, образование повышенного количества остаточного аустенита за счет растворения карбидной фазы. С другой стороны, при температуре закалки менее 1160 °С не обеспечивается легированность аустенита, а следовательно, вторичная твердость и теплостойкость стали (при 620 °С – 57 HRC).

Анализ зависимостей на рис. 1 и рис. 2 показывает, что наиболее оптимальной температурой отпуска является 540-550 °С ( $T_{отп.}$ ) от температуры закалки 1180±5 °С. На рис. 1 наглядно продемонстрирована целесообразность проведения двухкратного отпуска (кривая 3 и 4). При этом режиме обеспечивается высокая вторичная твердость 66-67 HRC, теплостойкость 60

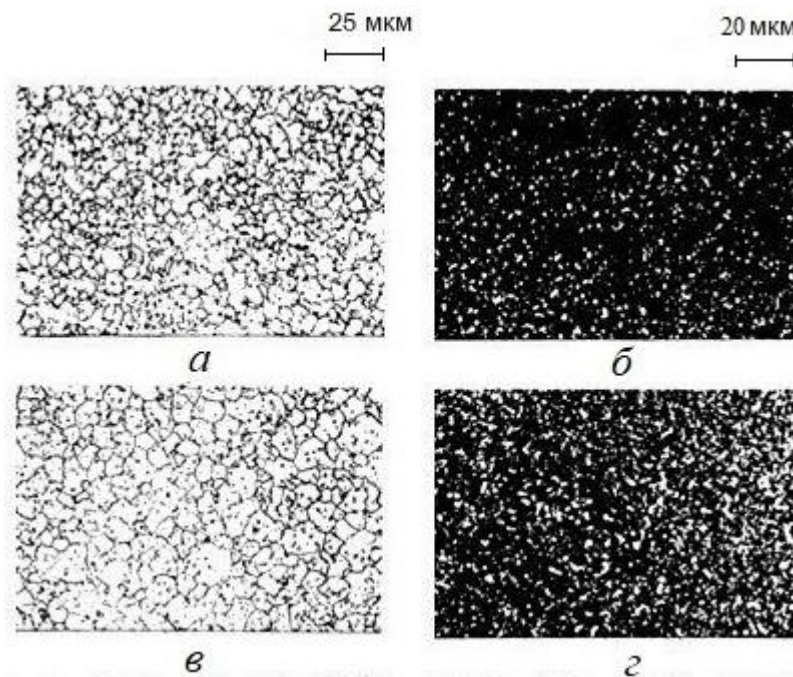


Рис. 3. Микроструктура после оптимальной упрочняющей термической обработки порошковых быстрорежущих сталей М5Ф5-МП (а, б) и Р7М5Ф2-МП (в, г):

а и в – размер зерна после закалки;

б и г – распределение карбидов после отпуска

Fig. 3. Microstructure after optimal hardening heat treatment of powder high-speed steels M5F5-MP (a, b) and R7M5F2-MP (c, d): a and b - grain size after quenching; b and d - distribution of carbides after tempering

HRC после выдержки в течении 4 ч при 620 °С; механические свойства: ударная вязкость 0,2-0,3 МДж/м<sup>2</sup>, прочность на изгиб – 2800-3200 МПа [7]. Таким образом, по комплексу основных свойств порошковая безвольфрамовая быстрорежущая сталь превосходит традиционные быстрорежущие стали умеренной теплостойкости.

В порошковой быстрорежущей стали, как и в традиционной, при отпуске развивается дисперсионное твердение (см. рис. 2), что дополнительно повышает твердость на 2,5-3 HRC.

В термически обработанном состоянии по оптимальному режиму сталь М5Ф5-МП имела мелкое зерно и однородное распределение карбидов по 1 баллу по ГОСТ 19265 с размеров карбидов 1-2 мкм, что соответствует оптимальной микроструктуре термически обработанной порошковой быстрорежущей стали по ГОСТ 28393 (рис. 3 а, б). Фазовый состав после упрочняющей термической обработки состоял из мартенсита, 19-20 % карбидной фазы и 5-7 % остаточного аустенита.

Результаты исследования вольфрамовой порошковой быстрорежущей стали типа Р7М5Ф2-МП (0,9 %С; 7,35 %W; 5,73 %Мо; 2,44% V; 4,09% Cr; 0,45% Si; 0,35% Mn).

Как видно, эта сталь содержит повышенное количество карбидообразующих элементов, а

именно вольфрама, молибдена и особенно ванадия. Из анализа химического состава можно отметить дефицит по углероду, который необходим для образования карбидной фазы. Дефицит углерода отрицательно сказался на теплостойкости стали ввиду снижения объемной доли карбидов.

Для стали Р7М5Ф2-МП в результате исследований были получены аналогичные зависимости влияния температуры закалки на первичную и вторичную твердость. Отличия в химическом составе отразилось на режимах упрочняющей термической обработки, прежде всего – на температуре закалки. Она выше примерно на 20–30°С по сравнению с М5Ф5-МП и составляет 1210±5°С. При этом максимальная твердость достигается так же после двукратного отпуска от температуры 540–550°С. Этот режим обеспечивает максимальную теплостойкость, что подтверждено результатами испытаний на теплостойкость, представленными на рис. 4.

Как видно, кратность отпуска существенно влияет на теплостойкость стали. Увеличение кратности отпуска выше двух приводит к «порче теплостойкости» и особенно существенно это происходит после отпуска от 560°С. Оптимальным для вольфрамосодержащей стали также является двукратный отпуск при 540–550°С. Несмотря на повышенное содержание вольфрама, по уровню

теплостойкости сталь P7M5Ф2-МП оказалась близка к безвольфрамовой стали типа M5Ф5-МП. Таким образом, несбалансированность по углероду и карбидообразующих элементов в химическом составе привела к снижению теплостойкости стали из-за уменьшения объемной доли карбидов.

Микроструктура стали P7M5Ф2-МП уступает по качеству стали M5Ф5-МП. Она характеризуется зерном 12-11 балла (рис 3, в) и наличием карбидов до 5 мкм (рис 3, г), вместо 1-2 мкм стали M5Ф5-МП (рис 3, б). Причина кроется в особенностях технологии производства заготовок из порошка, в частности, в нарушении температурного режима, и связана с перегревом стали в процессе компактирования.

#### **Обсуждение результатов исследований.**

Представленные результаты свидетельствуют о том, что упрочняющая термическая обработка порошковых быстрорежущих сталей в целом аналогична традиционным сталям. Из-за особенности структуры и фазового состава она отличается: пониженной температурой закалки на 40-60 °С (1180-1220 °С); меньшей длительностью выдержки (на 15-30 %) при нагреве под закалку; сокращением кратности отпуска до 2-х при несколько пониженных температурах 540-550 °С (по 1 часу каждый) [7].

Исследования показали, что температура закалки 1220 °С для порошковых быстрорежущих сталей является критической. Перегрев выше этой температуры приводит к подплавлению карбидной эвтектики. Причем этот процесс происходит при наличии мелкого зерна не ниже 11 балла, что приводит к значительному снижению ударной вязкости.

К тому же следует учитывать, что при производстве порошковых быстрорежущих сталей необходимо избегать многократных высокотемпературных нагревов выше 1100°С, т.к. это нивелирует преимущества, заложенные в результате высокоскоростной кристаллизации порошка – пересыщенность твердых растворов и дисперсность структурных составляющих.

В данной работе показано, что при выборе режимов упрочняющей термообработки порошковых быстрорежущих сталей необходимо учитывать условия эксплуатации инструмента. Могут быть задействованы три варианта методологического подхода:

1. термообработка на максимальную ударную вязкость для инструмента, работающего со значительными динамическими нагрузками;

2. термообработка на максимальную теплостойкость для тяжело нагруженного инструмента;

3. термическая обработка на оптимальное соотношение между основными механическими свойствами и теплостойкостью для инструмента, работающего в сложнапряженных условиях.

Свойства стали могут быть отрегулированы выбором температуры ее нагрева под закалку, так как она, с одной стороны, определяет степень легированности твердого раствора за счет объема растворения вторичных карбидов, а с другой стороны, – ударную вязкость в результате роста зерна. Температура 1180°С обеспечивает порошковым быстрорежущим сталям максимальную ударную вязкость, а нагрев до 1220 °С – максимально возможную теплостойкость в зависимости от марки стали.

Результаты проведенных исследований по разработке режимов термической обработке опытных сталей согласуются с материалами по ГОСТ 28393 для вольфрамосодержащих сталей умеренной теплостойкости.

#### **Выводы**

При назначении режимов упрочняющей термической обработки порошковых быстрорежущих сталей предлагается следующий методологический подход:

– Оценивать качество термической обработки комплексно по основным свойствам (вторичная твердость, теплостойкость, механические свойства) и по микроструктуре (балл зерна, фазовый состав).

– Учитывать условия эксплуатации инструмента в назначении режима упрочняющей обработки за счет назначения температуры закалки для порошковых быстрорежущих сталей умеренной теплостойкости в интервале:

• 1180±5 °С – для инструмента, работающего с ударными нагрузками (на максимальную ударную вязкость и прочность);

• 1210±5 °С – для инструмента, работающего со значительными температурными нагревами (на максимальную теплостойкость);

• 1200±5 °С – для инструмента, работающего в сложнапряженных условиях (на оптимальное соотношение между прочностью, ударной вязкостью и теплостойкостью).

Отпуск рекомендуется двухкратный в интервале температур 540–550 °С по одному часу каждый.

– Назначать режимы термической обработки с учетом качества сталей в состоянии поставки, регулируя длительность нагрева при закалке (в интервале 15–30%) в зависимости от дисперсности карбидной фазы.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство порошковой быстрорежущей стали на заводе «Днепроспецсталь» / А. Н. Осадчий, С. В. Ревякин, Г. В. Кийко // Сталь. – 1981. – №11. – С. 273-274.
2. Савилов А. В., Современное состояние производства высокопроизводительного режущего инструмента из порошковых быстрорежущих сталей и твердых сплавов / А.В. Савилов, Д. С. Никулин, Е. П. Николаева, А. Е. Родыгина // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 6 (77), С. 26-33.
3. Колягин Е. Ю., Влияние термической обработки на свойства порошковой быстрорежущей стали Р6М5Ф3-МП / Е. Ю.Колягин, В. Г.Оноприенко // Научные труды Донецкого национального технического университета, выпуск 12 (177). – Metallurgy. – 2011. – С. 268-274. Режим доступа: <https://uas.su/conferences/donntu2011/034/034.php> [26.03.2020].
4. Горюшина, М. Н. Термическая обработка и свойства быстрорежущей стали 10Р6М5-МП, полученной распылением и горячим экструдированием / М.Н. Горюшина, Н.Н. Гавриков // МиТОМ. – 1980. – №9. – С. 54-56.
5. Петров А. К., Структурные особенности и свойства быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии / А.К. Петров, Г.И. Парабина, А.Н. Осадчий // Сталь. – 1981. – № 6. – С. 40–44.
6. Korotkova L. P. Nature of the high hardness of p/m high-speed steels / Mukhin H.G., // Metal science and heat treatment изд-во: Springer New York Consultants Bureau – 1983 г. – № 10 – pp. 680-682.doi: 10.1007/BF00772750
7. Короткова Л. П. Порошковая быстрорежущая сталь без вольфрама / Г.Г. Мухин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2000 г. – № 2 – С. 25-27
8. Korotkov A. Quality assurance for the production of metal-cutting tools from high-speed steels / L. Korotkova, D. Vidin // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019 – 9-13 September 2019 – Volume 709 – P. 6 doi:10.1088/1757-899X/709/2/022022
9. Effect of niobium on the secondary precipitates and tempering resistance of spray-formed m3:2 high-speed steel / Wang H., Li Y., Ou P., Shen L., Wen X., Hou L., Cui H., Zhang J. // Journal of Materials Engineering and Performance. 2019. T. 28. № 2. С. 926-937.
10. Sandvik Coromant : [сайт] URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx>
11. Seco Tools : [сайт] URL: <https://www.secotools.com/>
12. BOHLER : [сайт] URL: <http://www.bohler.de/en/>
13. Виторский Я. М. Прутки из порошков быстрорежущей стали / Я. М. Виторский, В. Л. Гиршов, О. П. Шаболдо, С. А. Мазуров // Металлообработка. 2019. № 6(114). С. 35-44.
14. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. –526 с.

## REFERENCES

1. Production of powder high-speed steel at the plant "Dneprospets-steel" / A. N. Osadchy, S. V. Revyakin, G. V. Kiiko // Steel. – 1981. – № 11. – pp. 273-274.
2. Savilov A. V., The current state of the production of high-performance cutting tools from powder high-speed steels and hard alloys / A. V. Savilov, D. S. Nikulin, E. P. Nikolaeva, A. E. Rodygina // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. - 2013. - No. 6 (77), pp. 26-33.
3. Kolyagin E. Yu., The effect of heat treatment on the properties of powder high-speed steel R6M5F3-MP / E. Yu. Kolyagin, V. G. Onoprienko // Scientific works of Donetsk National Technical University, issue 12 (177). – Metallurgy. – 2011. – pp. 268-274. <https://uas.su/conferences/donntu2011/034/034.php>
4. Goryushina, M. N. Heat treatment and properties of high-speed steel 10R6M5-MP, obtained by spraying and hot extrusion / M. N. Goryushina, N. N. Gavrikov // MITOM. – 1980. – No. 9. – pp. 54-56.
5. Petrov A. K., Structural features and properties of high-speed steels obtained by powder metallurgy / A. K. Petrov, G. I. Parabina, A. N. Osadchy // Steel. – 1981. – No. 6. – pp. 40-44.
6. Korotkova L. P. Nature of the high hardness of p/m high-speed steels / Mukhin H.G., // Metal science and heat treatment изд-во: Springer New York Consultants Bureau – 1983 г. – № 10 – pp. 680-682.doi: 10.1007/BF00772750



7. Korotkova L. P. Powder high-speed steel without tungsten / G.G. Mukhin // Metal processing (technology, equipment, tools). – 2000 – №. 2 – pp. 25-27.
8. Korotkov A. Quality assurance for the production of metal-cutting tools from high-speed steels / L. Korotkova, D. Vidin // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019 – 9-13 September 2019 – Volume 709 – P. 6 doi:10.1088/1757-899X/709/2/022022
9. Effect of niobium on the secondary precipitates and tempering resistance of spray-formed m3:2 high-speed steel / Wang H., Li Y., Ou P., Shen L., Wen X., Hou L., Cui H., Zhang J. // Journal of Materials Engineering and Performance. 2019. Т. 28. № 2. С. 926-937.
10. Sandvik Coromant : [сайт] URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx>
11. Seco Tools : [сайт] URL: <https://www.secotools.com/>
12. BOHLER : [сайт] URL: <http://www.bohler.de/en/>
13. Vitorsky Ya. M. High-speed steel powder rods / Ya. M. Vitorsky, V. L. Girshov, O. P. Shaboldo, S. A. Mazurov // Metalworking. 2019. №. 6 (114). pp. 35-44.
14. Geller, Yu. A. Tool steels. – М.: Metallurgy, 1983. – 526 p.

Поступило в редакцию 24.11.2020  
Received 24 November 2020