

УДК 620.182/.186

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ НА ЕЁ МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА

Короткова Л.П., доц. каф. «МСИИ»,
Лацинина С.В., ст. преп. каф. «МСИИ»,
Видин Д.В., ст. преп. каф. «МСИИ»,
Черкашин С.О., студент гр. МСм-201, I курс,
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева.

В настоящее время появилась новая группа перспективных быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии. Это высоколегированные стали марок Р6М5Ф3-МП, Р7М2Ф6-МП, Р12МФ5-МП, Р6М5К5-МП, Р9М4К8-МП, Р12М3К5Ф2-МП (ГОСТ 28393–89), близкие по составу к традиционным быстрорежущим сталям (Р18, Р9, Р12, Р6М5, 11Р3АМ3Ф2, Р12Ф3, Р18К5Ф2, Р6М5Ф3, Р6М5К5, Р9М4К8, Р2АМ9К5 (ГОСТ 19265–73)). Они отличаются повышенным количеством углерода, карбидообразующих элементов и кобальта. Несмотря на это, стали обладают рядом существенных преимуществ по основным свойствам (твердости, прочности, теплостойкости) и по технологическим (особенно по обрабатываемости давлением и шлифуемости) [1]. В настоящей работе эта разница наглядно продемонстрирована с помощью металлографических исследований порошковых и традиционных быстрорежущих сталей в соответствии с действующими стандартами. Изучено влияние способов производства быстрорежущих сталей на их микроструктуру и свойства.

Теоретические положения. Технология производства порошковых быстрорежущих сталей существенно отличается от традиционной (литая заготовка, горячая ковка с различной степенью укова), 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. При этом каждая частица представляет из себя микрослиток, который охлаждается со скоростью 10^3 – 10^5 град/с. Уже на этапе кристаллизации порошка закладываются основные преимущества порошковых быстрорежущих сталей: высокая дисперсность структурных составляющих (1–2 мкм); высокая пересыщенность твердых растворов, в том числе углеродом и карбидообразующими элементами, наличие метастабильных карбидов

Вторым этапом технологии изготовления заготовок является компактирование. Используются следующие технологии компактирования:

- горячее изостатическое прессование капсул с порошком под давлением 100–200 МПа с последующей ковкой [2];
- горячая экструзия капсул с порошком [3];
- компактирование капсул с порошком с помощью прокатки [4]

Компактирование порошков проводится в интервале температур 1100–1200 °С. Капсулы с порошком предварительно вакуумируют, либо заполняют инертным газом. После компактирования заготовки из-за повышенной твердости 56–58 HRC 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) [1].

Методика исследования. Базировалась на определении химического состава, контроле основных свойств, а также на металлографических исследованиях макро- и микроструктуры сталей в соответствии с российскими стандартами на традиционные (ГОСТ 19265[5]) и порошковые быстрорежущие стали (ГОСТ 28393[6]).

Исследования заключались в контроле качества быстрорежущих сталей в состоянии поставки и на основных технологических этапах термической обработки и включали в себя следующие виды: контроль химического состава, механические испытания, исследование макро- и микроструктуры.

Для выполнения данных исследований разработана на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» ГУ КузГТУ методика контроля качества быстрорежущих инструментальных сталей в традиционном и порошковом исполнении в соответствии с действующими стандартами [1].

Требования к макро- и микроструктуре и условия их контроля для быстрорежущих сталей различного производства приведены в таблице 1. Из нее видно, к порошковым быстрорежущим сталям предъявляются высокие требования по параметрам макро- и микроструктуры. Для контроля их качества введены дополнительные показатели: наличие микропористости, инородных частиц, кислородной ликвации и структурной полосчатости.

Результаты исследований. Высокий комплекс свойств быстрорежущих сталей обеспечивается рациональным легированием в сочетании со специфической термической обработкой. Они содержат углерод (0,8÷1,0 %), вольфрам, молибден, ванадий, хром, кремний и некоторые из них – кобальт. Их легируют так, чтобы структура состояла из насыщенного легирующими элементами твердого раствора и специальных карбидов вольфрама, молибдена – M_6C , хрома – $M_{23}C_6$, ванадия – MC в объеме 20÷30 % после отжига. Высокая легированность твердых растворов и наличие дисперсных карбидов – это основное условие, обеспечивающее теплостойкость сталям. Упрочняющая термическая обработка быстрорежущих сталей проводится так, чтобы было два механизма упрочнения – мартенситный при закалке и дисперсионное твердение при отпуске [7].

Таблица 1

Условия контроля качества структуры порошковых быстрорежущих сталей

Контролируемый показатель	Подготовка образца	Увеличение микроскопа	Метод оценки показателя	
			Быстрорежущие стали ГОСТ 19265	Порошковые быстрорежущие стали ГОСТ 28393
Глубина обезуглероженного слоя	Плоскость <i>a</i> , травление	100 ^x и более	Измерение окулярной линейкой на двух образцах по ГОСТ 1763	Измерение окулярной линейкой на двух образцах по ГОСТ 1763
Микропоры	Плоскость <i>b</i> , без травления	200 ^x	Не контролируется	В баллах по шкале для оценки пор в микроструктуре стали. Допустимый балл 1–3
Кислородная ликвация	Плоскость <i>b</i> , без травления	200 ^x	Не контролируется	В баллах по шкале для оценки кислородной ликвации. Допустимый балл 1–2
Структурная полосчатость	Плоскость <i>b</i> , травление	100 ^x	Не контролируется	В баллах по шкале для оценки структурной полосчатости Допустимый балл 1–2
Инородные порошковые частицы	Плоскость <i>b</i> , травление	100 ^x	Не контролируется	Методом подсчета на всей площади шлифа. Допустимое количество – одна на всей площади шлифа
Величина зерна	Плоскость <i>a</i> , травление	400 ^x	Допустимый балл 10–11 (по ГОСТ 56390).	Допустимый балл 12–13 (по ГОСТ 56390). Рис.а и в. «Величина зерна» (по ГОСТ 28393, стр.20)
Карбидная неоднородность	Плоскость <i>b</i> , травление до почернения	100 ^x	Допустимый не выше балл 2–7 (в зависимости от размера заготовки)	Допустимый балл 1 по шкале № 1 (по ГОСТ 19265). Рис.б и г. «Микроструктура» (по ГОСТ 28393, стр.20)

Поперечная плоскость *a* и параллельная плоскость *b* к направлению деформации

К порошковым быстрорежущим сталям предъявляются аналогичные требования, но они отличаются по химическому составу, значительно более высоким содержанием углерода до 2%, карбидообразующих элементов, особенно ванадия и кобальта. По традиционной технологии стали аналогичного состава произвести невозможно из-за низких показателей технологических свойств – они не куется и не шлифуются.

Изучение влияния способов производства быстрорежущих на структуру и свойства проводилась на примере трех марок. Исследовались две марки порошковых сталей экспериментального химического состава сталей типа М5Ф5-МП (1,75 %С; 5,5 % Мо, 6,0 % V, 4.8 % Cr) отечественного производства и типа Р7М5Ф2-МП (0,9 %С; 7,35 %W; 5,73 %Мо; 2,44% V; 4,09% Cr; 0,45% Si; 0,35% Mn) импортного производства. Для сравнения исследовалась марка Р18 изготовленная по традиционной технологии (0,8 %С; 17,5 %W; 1,2 %V). Эти стали по химическому составу относятся к группе сталей умеренной теплостойкости, но как видно, порошковые быстрорежущие стали отличаются более высоким содержанием углерода и ванадия. Порошковые стали отличались между собой технологией компактирования. Марка стали М5Ф5-МП была изготовлена двухступенчатым компактированием (изостатическое прессование с последующей экструзией), а марка Р7М5Ф2-МП – одноступенчатым компактированием (компактирование капсул с порошком с помощью прокатки).

В соответствии с требованиями стандартов (см. таблицу 1) быстрорежущие стали исследовались в состоянии поставки и после упрочняющей термической обработки (рис. 1 и рис. 2).

В состоянии поставки (рис. 1 а, б) порошковые быстрорежущие стали не имели отклонений от требований стандарта. Параметры микропористости, кислородной ликвации и структурной полосчатости соответствовали 1–2 баллу требованиям стандарта. Инородные включения отсутствовали. Следует отметить, что после двухступенчатого компактирования порошковая быстрорежущая сталь типа М5Ф5-МП имела более благоприятную структуру, в ней отсутствовали пористость и полосчатость.

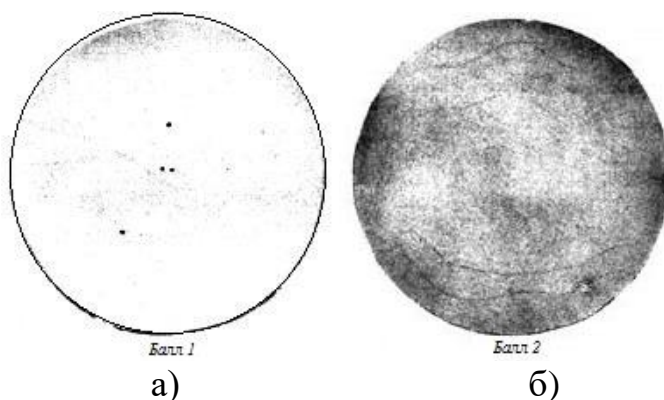


Рис. 1. Микроструктура порошковой стали Р7М5Ф2-МП:
а – микропористость, б – кислородная ликвация

Исследование микроструктуры были выполнены в соответствии с рекомендациями стандартов после упрочняющей термообработки (рис. 2 а, б, в, г, д, е).

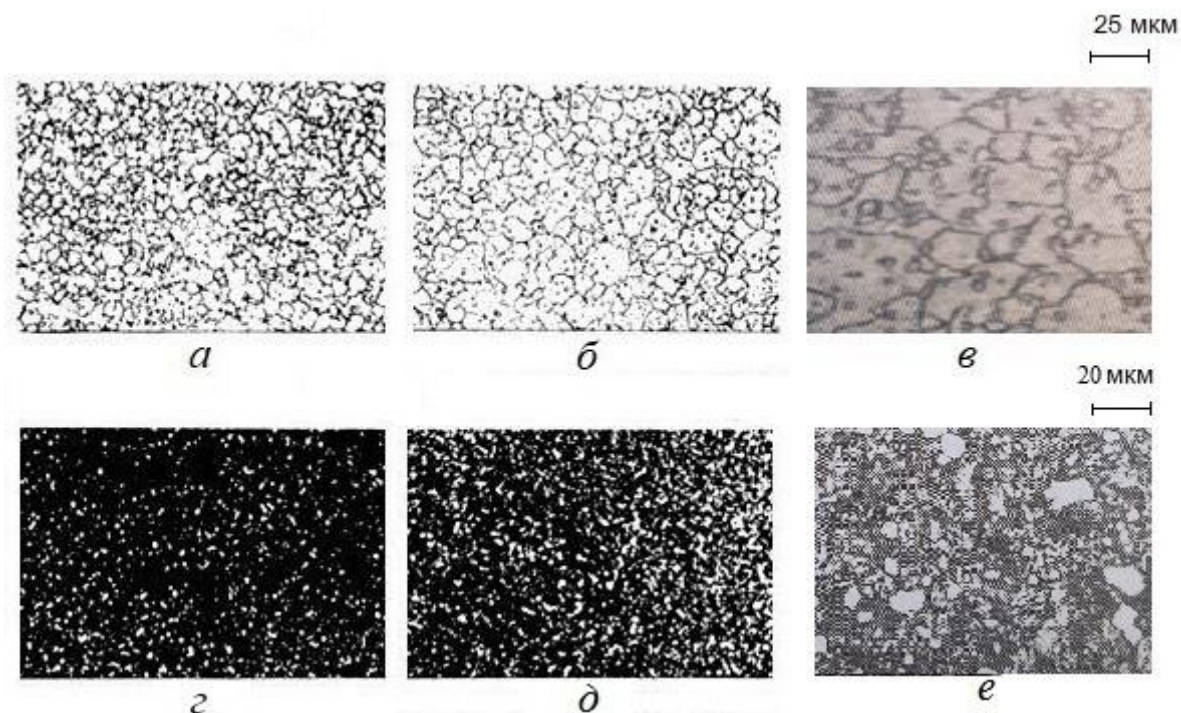


Рис. 2 Микроструктура после оптимальной упрочняющей термической обработки быстрорежущих сталей М5Ф5-МП (а, г) и P7M5Ф2-МП (б, д), P18 (в, е):
а, в, д – размер зерна после закалки;
б, г, е – распределение карбидов после закалки и отпуска

Из сравнительного анализа микроструктуры (рис. 2 а, г) наглядно видно, что порошковые быстрорежущие стали отличаются более мелким зерном и практически идеальным распределением дисперсных карбидов:

- размер зерна в порошковых быстрорежущих сталях соответствует 12–13 баллу вместо 10 балла в традиционной быстрорежущей стали P18 (рис. 2 а, б, в соответственно);
- размер карбидов в порошковых быстрорежущих сталях соответствует 1–3 мкм, а в традиционной стали P18 достигают 10–20 мкм в зависимости от размера заготовки и степени укова;
- распределение карбидов в порошковых быстрорежущих сталях идеальное и оно лучше, чем 1 балл в традиционных сталях.

Упрочняющая термическая обработка для стали P18 соответствовала рекомендуемому режиму: закалка – при температуре 1280°C с последующим трехкратным отпуском при 560°C (по 1 часу каждый). Твердость составляла 62–64 HRC, теплостойкость – 59 HRC после четырехчасовой выдержки при температуре 630 °C [7].

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). Для обеспечения максимальных значений основных свойств – твердости и теплостойкости наиболее предпочтительно проводить двух-, трехкратный отпуск при 540 °С. Порошковые быстрорежущие стали по сравнению с традиционной P18 обладают повышенной вторичной твердостью 66–66,5 HRC при одинаковой теплостойкости 59 HRC после четырехчасовой выдержки при температуре 630 °С [8].

Улучшенная структура порошковых сталей положительно отражается на прочности и ударной вязкости. Особенно улучшаются технологические свойства сталей. По традиционной технологии высокоуглеродистые, высокованадиевые стали изготовить невозможно, так как они не куются и не шлифуются. Применение порошковых быстрорежущих сталей снимает эту проблему. Благодаря дисперсности карбидной фазы и мелкому зерну, стали хорошо деформируются в горячем состоянии и хорошо шлифуются [1].

Заключение. Использование современной порошковой технологии изготовления быстрорежущих сталей формирует значительно более мелкодисперсную микроструктуру, обеспечивает повышение основных свойств, существенно улучшает технологические свойства (особенно шлифуемость) и, тем самым, открывает перспективу к разработке новой группы быстрорежущих инструментальных сталей с повышенным содержанием углерода и карбидообразующих элементов.

Список литературы

1. Короткова Л.П., Шатько Д.Б. Контроль качества инструментальных материалов: учеб.пособие. Кемерово. : КузГТУ, 2010. 164 с.
2. 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.
3. Горюшина М.Н., Термическая обработка и свойства быстрорежущей стали 10P6M5-МП, полученной распылением и горячим экструдированием / М.Н.Горюшина, Н.Н.Гавриков // МиТОМ.–1980.–№9. – С.54-56.
4. Производство порошковой быстрорежущей стали на заводе «Днепроспецсталь» / А.Н.Осадчий, С.В.Ревякин, Г.В.Кийко // Сталь. – 1981.– №11.–С. 273-274.
5. Колягин Е.Ю., Влияние термической обработки на свойства порошковой быстрорежущей стали P6M5Ф3-МП / Е.Ю.Колягин, В.Г.Онопrienко // Научные труды Донецкого национального технического университета, выпуск 12 (177). – Металлургия. – 2011.–С. 268-274.

6. ГОСТ 28393-89. Прутки и полосы из быстрорежущей стали, полученной методом порошковой металлургии. Общие технические условия : межгосударственный стандарт Российской Федерации : издание официальное ; введен в действие 01.01.1991. – Москва :Стандартинформ, 2003. – 21 с. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200009095> (дата обращения 26.03.2020). – Текст : электронный.

7. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – М.: Металлургия, 1983. – 526 с.

8. Методологический подход при разработке режимов упрочняющей термической обработки порошковых быстрорежущих сталей / Коротков А.Н., Короткова Л.П., Видин Д.В.// Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 5 (141). - С. 11-19