

УДК 620.18

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5 НА РЕЖИМ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

¹Мамонтова А.И., магистр гр. МСмоз-211, I курс,

¹ Короткова Л.П., кандидат техн. наук, доцент каф. «МСиИ»,

^{1, 2} Видин Д. В., ст. преп. каф. «МСиИ»,

¹ Лашинина С. В., ст. преп. каф. «МСиИ».

¹ ФГБО ВПО Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

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

Введение. Производство режущего инструмента является одной из важнейших составляющих современного машиностроения и имеет стратегическое значение. Качество инструмента и затраты на его производство влияют на себестоимость при изготовлении продукции.

В настоящее время при производстве металлорежущего инструмента используются быстрорежущие стали как отечественных, так и зарубежных производителей. Эти стали отличаются как по качеству, так и по химическому составу, что должно быть учтено при назначении упрочняющей термической обработки. Качество термической обработки влияет на основные свойства инструмента (твердость, прочность, ударную вязкость, теплостойкость), и, как следствие, на стойкость металлорежущего инструмента [1].

С целью установления причин пониженной стойкости инструментов из быстрорежущих сталей поставлена задача по разработке рекомендаций и по корректировке режимов упрочняющей термической обработки в зависимости от химического состава быстрорежущих сталей и условий эксплуатации инструментов.

Методика исследований. В условиях лаборатории кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» использована методика контроля качества, которая соответствует требованиям стандарта на быстрорежущие стали по ГОСТ 19265 [2]. Она включала в себя контроль химического состава, макроструктуры, микроструктуры (обезуглероженный слой, балл карбидной неоднородности, балл зерна), основных свойств (твердость в состоянии поставки, после упрочняющей термической обработки, теплостойкость) [3,4].

Проведенные исследования актуальны, т.к. методика контроля качества, используемая на машиностроительном предприятии, не соответствует стандарту. В частности, в ней отсутствует контроль ряда параметров, а именно, количественные показатели микроструктуры (величина зерна, карбидная неоднородность). Качество термической обработки определяется только по вторичной твердости, теплостойкость при выборе режимов термической обработки не учитывается.

В данной работе осуществлен комплексный контроль качества быстрорежущих сталей на примере стали марки Р6М5 отечественного и зарубежного производителей, а также разработаны рекомендации по устранению дефектов, возникающих на этапе упрочняющей термической обработки для сталей с пониженным вольфрамовым эквивалентом.

Результаты исследований. Как известно, основные свойства быстрорежущих сталей обеспечиваются комплексным легированием в сочетании с упрочняющей термической обработкой.

Быстрорежущая сталь марки Р6М5 относится к группе быстрорежущих сталей умеренной теплостойкости. Содержание карбидообразующих легирующих элементов и углерода в этой стали ($C=0,82-0,9\%$, $W=5,5-6,5\%$, $Mo=4,8-5,3\%$, $V=1,7-2,1\%$, $Cr=3,3-4,4\%$ по ГОСТ 19265) сбалансировано так, чтобы в отожженном состоянии объем карбидной фазы M_6C , $M_{23}C_6$ и MC был не менее 22% [5]. Сбалансированность по химическому составу обеспечивает вторичную твердость (не менее 62-63 HRC) и теплостойкость (не менее 59-60 HRC после четырехчасового нагрева при $620^{\circ}C$).

Важной составляющей в химическом составе быстрорежущих сталей является объем карбидообразующих элементов, особенно вольфрама и молибдена. Существует условие, при котором обеспечиваются основные свойства быстрорежущих сталей – вторичная твердость и теплостойкость, а именно эквивалент по вольфраму (\mathcal{E}) не должен быть ниже 12-13% [6]. Этот эквивалент рассчитывается из соотношения:

$$\mathcal{E}=W+Mo \times (1,4 \div 1,5); \quad (1)$$

В данной работе проведен *анализ химического состава* исследуемых сталей марки Р6М5 отечественного и зарубежного производителей (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1

Результаты химического состава стали Р6М5 отечественного производителя

Дата контроля	Углерод (C)	Марганец (Mn)	Кремний (Si)	Хром (Cr)	Вольфрам (W)	Ванадий (V)	Кобальт (Co)	Молибден (Mo)
03.02.2021	0,85	0,31	0,41	4,10	5,60	1,80		4,80
03.02.2021	0,82	0,30	0,35	4,10	5,50	1,90		4,50
05.06.2021	0,87	0,29	0,30	3,80	5,50	2,00		5,10
06.06.2021	0,83	0,31	0,36	3,90	5,50	1,80		5,30
07.06.2021	0,84	0,41	0,46	3,80	5,50	1,80		5,20
07.06.2021	0,87	0,26	0,35	3,80	5,50	1,80		5,00
08.06.2021	0,82	0,36	0,42	4,10	5,60	2,00		4,80
09.06.2021	0,82	0,31	0,30	3,90	5,50	2,00		5,00
09.06.2021	0,85	0,28	0,33	3,90	5,80	2,10		5,50
15.06.2021	0,81	0,33	0,30	3,80	4,90	1,90		4,40
15.06.2021	0,90	0,29	0,38	3,90	5,70	1,90		5,30
26.06.2021	0,82	0,26	0,20	4,30	5,50	1,80		5,20
02.07.2021	0,84	0,29	0,30	4,20	5,90	1,90		5,10

Таблица 2
Результаты химического состава стали типа Р6М5 зарубежного производителя

Дата контроля	Углерод (C)	Марганец (Mn)	Кремний (Si)	Хром (Cr)	Вольфрам (W)	Ванадий (V)	Кобальт (Co)	Молибден (Mo)
09.11.2021	0,87	0,32	0,34	4,10	6,00	1,90		4,30
14.11.2021	0,85	0,30	0,34	4,00	6,00	1,90		4,40
05.06.2021	0,87	0,29	0,30	3,80	5,50	2,00		5,00
06.06.2021	0,83	0,31	0,37	3,90	5,50	1,80		4,80
07.06.2021	0,87	0,26	0,35	3,80	5,50	1,80		4,80
08.06.2021	0,82	0,36	0,14	4,10	4,30	2,00		4,10
09.06.2021	0,82	0,31	0,14	4,00	4,60	2,00		4,20
09.06.2021	0,85	0,28	0,14	3,90	4,60	2,10		4,50
15.06.2021	0,81	0,33	0,14	3,80	4,90	1,90		4,50
15.06.2021	0,90	0,29	0,14	3,90	4,70	1,90		4,50
04.07.2021	0,85	0,32	0,40	3,90	5,70	1,70		4,40
08.09.2021	0,82	0,31	0,35	3,90	5,70	1,70		4,80
12.09.2021	0,83	0,43	0,44	4,10	5,50	1,80		5,20

Из представленных результатов химического анализа видно, что марки быстрорежущих сталей отечественного производителя (табл. 1) по химическому составу в целом соответствует требованиям стандарта. Основные легирующие элементы этих сталей находятся в интервале допустимых значений. В некоторых случаях (5% от исследуемых партий) обнаружено снижение одного из основных карбидообразующих элементов (W до 4,9% или Mo до 4,5%). Но при этом химический состав стали сбалансирован таким образом, что выполняется требование по вольфрамовому эквиваленту (12-13%), и он составляет в среднем 12,2 %.

Марки быстрорежущих сталей типа Р6М5 зарубежного производителя (табл. 2) по химическому составу отличаются от отечественных пониженным содержанием вольфрама (4,3-6%) и молибдена (4,1-5,2%) и большим разбросом их значений. В результате эти стали имеют низкий показатель по вольфрамовому эквиваленту (в интервале 10-11%), в среднем 11,1%.

Оценивая химический состав и его сбалансированность, можно констатировать, что отечественные инструментальные стали превосходят исследованные зарубежные, что подтверждается более высокой стойкостью инструментов из них.

Контроль качества термической обработки оценивался по результатам измерения твердости и теплостойкости, по параметрам микроструктуры.

Упрочняющая термическая обработка быстрорежущих сталей отличается высокотемпературным нагревом под закалку, необходимым для растворения вторичных карбидов, и двухкратным, трехкратным отпуском, обеспечивающим дисперсионное твердение (в процессе выдержки) и превращение остаточного аустенита (в процессе охлаждения от температуры отпуска) [7].

На предприятие весь инструмент, независимо от его назначения и химического состава стали, подвергается однотипной термической обработке:

закалке при 1220-1230 °C и последующему четырехкратному отпуску при 560 °C по одному часу каждый. Отбраковка инструментов проводится в случае наличия закалочных трещин, крупноигольчатого мартенсита и карбидной сетки, а также при пониженной твердости (ниже 62 HRC). При получении вторичной твердости более 64 HRC для инструмента используется дополнительный, пятый отпуск при 620 °C в течение одного часа.

В настоящей работе были проведены дополнительные исследования количественных параметров микроструктуры на размер зерна и балл карбидной неоднородности, а также испытания инструмента на теплостойкость.

Исследования показали, что после упрочняющей термической обработки твердость стали соответствовала требованиям стандарта и находилась в интервале значений: для отечественной стали – 63-65 HRC, вместо 62-63 HRC – для зарубежного производителя. Одной из причин пониженной твердости инструмента из зарубежной стали является пониженное содержание основных карбидообразующих элементов – вольфрама и молибдена (вольфрамовый эквивалент, доходящий в некоторых партиях до 10%).

Испытания различного инструмента на теплостойкость показали ее неоднородность. Теплостойкость после четырехчасового нагрева при 620 °C находилась в интервале от 54 до 60 HRC, что не соответствует требованиям стандарта (59-60 HRC). В результате проведенного анализа установлена взаимосвязь между показателями теплостойкости и химическим составом стали. Более стабильные результаты по теплостойкости отмечены у инструмента с карбидным эквивалентом, превышающим 12,5%.

Пониженное содержание основных карбидообразующих элементов сказывается не только на объеме карбидной фазы, но и на температурах фазовых превращений, они понижаются [6]. При назначении температуры закалки этот фактор необходимо учитывать и корректировать ее в сторону уменьшения. Исследования показали, что температура закалки должна быть выбрана по минимальным рекомендуемым значениям [1,5]. Для стали Р6М5 с пониженным карбидным эквивалентом она находится в интервале 1200-1210 °C. Закалка с указанных температур обес печивает получение размера зерна 10-11 балла и, как следствие, – максимальную ударную вязкость. В противном случае, повышение температуры до 1220-1230 °C приводит к росту зерна до 7-8 балла.

Отпуск для стали Р6М5 рекомендуется проводить в интервале от 540-560 °C, а его кратность зависит от выбранной температуры отпуска [1,5]. Как показали исследования, использование на предприятии четырехкратного отпуска при 560 °C, а тем более пятого отпуска при 620 °C, вызывало снижение вторичной твердости и «порчу теплостойкости». Для сталей с пониженным вольфрамовым эквивалентом рекомендовано проведение двухкратного отпуска при пониженной температуре 550 ± 5 °C.

Выбранный режим упрочняющей термической обработки (закалка от 1200-1210 °C, отпуск от 550 ± 5 °C, 2 раза) позволяет обеспечить благоприятную микроструктуру и как следствие – оптимальное соотношение между ос-

новными свойствами, а именно: твердостью, прочностью, ударной вязкостью и теплостойкостью. При этом для нагруженного инструмента, работающего в условиях высокотемпературного нагрева, с целью обеспечения повышенной теплостойкости должна быть назначена максимально возможная температура закалки (1210°C), а для инструмента, работающего со значительными динамическими нагрузками, – минимально возможная температура закалки (1200°C).

С целью обеспечения производства качественного металлорежущего инструмента из быстрорежущих сталей целесообразна необходимость разработки и внедрения на машиностроительных предприятиях методологической инструкции «Контроль качества быстрорежущих сталей в процессе производства инструмента» в соответствии с международным стандартом ИСО 9001:2015.

Выводы. На основе проведенных комплексных исследований для быстрорежущих сталей типа Р6М5 с пониженным вольфрамовым эквивалентом (11-12%) рекомендовано корректировать режим упрочняющей термической обработки. А именно:

- снижать температуру закалки до 1200 - 1210°C , температуру отпуска – до $550\pm 5^{\circ}\text{C}$ (2 раза), что позволит повысить ударную вязкость, предотвратить «порчу теплостойкости» и обеспечить показатели микроструктуры в соответствии с требованиями стандарта;
- для инструмента, работающего в условиях высокотемпературного нагрева, следует назначать максимально возможную температуру закалки (1210°C);
- для инструмента, работающего со значительными динамическими нагрузками, необходимо назначать минимально возможную температуру закалки (1200°C).

Список литературы:

- 1.** Артингер, И. Инструментальные стали и их термическая обработка: справочник / И. Артингер. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.
- 2.** ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия: межгосударственный стандарт Российской Федерации: издание официальное; введен в действие 01.01.1975. – Москва: Издательство стандартов, 2019. – 21 с. – Режим доступа: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/8322/> [10.03.2022].
- 3.** Короткова Л.П., Шатько Д.Б. Контроль качества инструментальных материалов (в машиностроительном производстве). – ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева». – Кемерово, 2010. – 163 с.
- 4.** Контроль качества при производстве металлорежущего инструмента из быстрорежущих сталей. Коротков А., Короткова Л., Видин Д., В сборнике: Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия. Международная

конференция о современных тенденциях в производственных технологиях и оборудовании, 2019, ICMTME 2019. 2020. с. 022022

5. Гуляев, А. П. Инструментальные стали : справочник / А. П. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1975. – 270 с.

6. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 526с.

7. Адаскин, А. М. Технологические возможности использования быстрорежущей стали Р6М5 / А. М. Адаскин // СТИН. – 2009. – № 11. – С. 29-34.