

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL AND
PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING**

Научная статья

УДК 621.9.025.523

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-13-25

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕЖИМА
УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ
СТАЛЕЙ С ПОНИЖЕННЫМ ВОЛЬФРАМОВЫМ ЭКВИВАЛЕНТОМ**

**Коротков Александр Николаевич¹, Короткова Лидия Павловна¹,
Видин Денис Владимирович², Лацинина Светлана Викторовна¹**

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

²Кемеровский коммунально-строительный техникум имени В.И. Заузелкова

*для корреспонденции: korotkov.a.n@mail.ru



Информация о статье

Поступила:

25 мая 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 июня 2023 г.

Принята к публикации:

20 июня 2023 г.

Опубликована:

30 июня 2023 г.

Ключевые слова:

быстрорежущая сталь,
вольфрамовый эквивалент,
металлорежущий
инструмент,
микроструктура, контроль
качества, технология
термической обработки,
основные и технологические
свойства, стойкость
инструмента, условия
эксплуатации

Аннотация.

Настоящая работа направлена на повышение стойкости металлорежущих инструментов из быстрорежущей стали Р6М5 умеренной теплостойкости, изготавливаемых в условиях машиностроительных предприятий. Проведен сравнительный анализ качества быстрорежущих сталей отечественных и зарубежных производителей по химическому составу и по параметрам микроструктуры в состоянии поставки. Разработан методологический подход для решения проблемы повышения качества металлорежущих инструментов из быстрорежущих сталей традиционного способа производства за счет корректировки режимов упрочняющей термической обработки, с учетом качества сталей в состоянии поставки, а также условий их эксплуатации. На основе проведенных исследований выявлены типовые отклонения по химическому составу и по структуре у сталей различных производителей. Разработан методологический подход для решения проблемы повышения качества металлорежущих инструментов из быстрорежущих сталей традиционного способа производства за счет внедрения полноформатной методики контроля качества, корректировки режимов упрочняющей термической обработки с учетом химического состава сталей в состоянии поставки, а также условий эксплуатации инструмента. Предложено проводить корректировку упрочняющей термической обработки – температуру закалки и отпуска, назначать кратность отпуска с учетом содержания углерода и карбидообразующих элементов в соответствии с вольфрамовым эквивалентом. Показано, что марки быстрорежущих сталей российского производства по качеству микроструктуры (по неметаллическим включениям, баллу зерна, баллу карбидной неоднородности) и по сбалансированности химического состава превосходят аналоги зарубежных фирм.

Для цитирования: Коротков А.Н., Короткова Л.П., Видин Д.В., Лацинина С.В. Методологический подход при разработке режима упрочняющей термической обработки для быстрорежущих сталей с пониженным вольфрамовым эквивалентом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 3 (157). С. 13-25. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-13-25, EDN: XVENDI

Введение

Быстрорежущие стали являются в настоящее время одними из основных инструментальных материалов среди существующего многообразия инструментальных сталей и сплавов. Объясняется это оптимальным соотношением основных и технологических свойств, что позволяет изготавливать из них разнообразные металлорежущие инструменты – резцы, сверла, метчики, развертки, фрезы, протяжки и др.

Анализ состояния инструментального рынка производства режущего инструмента из быстрорежущих сталей свидетельствует о наличии тенденции вытеснения российских инструментов зарубежными с потерей их конкурентоспособности, как по цене, так и по качеству [1]. Исследования показали также, что в последнее время на внутреннем рынке используются преимущественно вольфрамомолибденовые и вольфрамовые быстрорежущие стали умеренной теплостойкости марок Р6М5 либо Р18 [2].

Отсутствие недорогого лезвийного инструмента из быстрорежущих сталей и высокая стоимость импортных инструментов приводят к тому, что машиностроительные предприятия пытаются частично решить эту проблему путем самостоятельного изготовления инструментов. В этой связи представляется актуальным проведение сравнительных исследований качества быстрорежущих сталей различных фирм-производителей в состоянии поставки.

В данной работе проведены и описаны такие исследования, выявлены отличия по химическому составу и качеству быстрорежущих сталей в состоянии поставки. Разработан методологический подход при корректировке технологии производства инструментов в направлении подбора режимов упрочняющей термической обработки, в том числе с учетом условий эксплуатации инструмента. Предложено проводить корректировку режимов упрочняющей термической обработки с учетом вольфрамового эквивалента в химическом составе инструментальной стали.

В ходе исследований выявлены причины преждевременного выхода из строя инструментов и разработаны мероприятия, направленные на повышение их стойкости, на основе внедрения современных методик контроля качества сталей в состоянии поставки, а также повышения качества упрочняющей термической обработки. Такой подход позволяет значительно снизить затраты на технологический процесс при производстве металлорежущих инструментов из быстрорежущих сталей и повысить их стойкость.

Методика исследований

С целью выявления причин пониженной стойкости металлорежущего инструмента проводились комплексные исследования, которые включали в себя следующие основные направления:

- анализ конструкций металлорежущих инструментов и режимов резания на операциях сверления и нарезания резьбы;
- установление основных видов разрушения инструментов;
- контроль качества стали в состоянии поставки: определение химического состава, твердости, параметров микроструктуры;
- контроль качества упрочняющей термической обработки: измерение твердости, параметров микроструктуры, оценка теплостойкости;
- разработка рекомендаций по совершенствованию технологического процесса упрочняющей термической обработки инструментов в соответствии с качеством поставляемого металла и химическим составом по вольфрамовому эквиваленту с учетом условий эксплуатации инструментов.

Исследования включали в себя контроль качества инструментальной стали Р6М5 отечественного и зарубежного производства. Контроль выполнялся в состоянии поставки и на основных технологических этапах термической обработки в соответствии с ГОСТ 19265 [3]. Он является более полным, так как в заводской методике отсутствует контроль по ряду параметров. Так, некоторые показатели микроструктуры контролируются качественно (величина зерна,

карбидная неоднородность), либо не контролируются (обезуглероженный слой). Качество термической обработки определяется только по вторичной твердости, а теплостойкость и механические свойства не учитываются.

Для решения поставленных задач использованы методики контроля качества инструментальных сталей, разработанные на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» Кузбасского государственного технического университета [4], и методики испытания инструментов на стойкость [5,6].

Результаты исследований:

1. Оценка качества инструментов на примере анализа их конструкций и режимов резания

Исследования проводились на двух разновидностях инструментов: на спиральном сверле и машинном метчике.

Спиральное сверло имело следующую геометрию: угол при вершине $2\phi = 116...120^\circ$, угол наклона винтовой канавки $\omega = 28...32^\circ$ для $d > 10$ мм.

Режимы резания при сверлении легированной улучшенной конструкционной стали: число оборотов – 200 об/мин, подача – 0,90 мм/об.

Метчик: в данном случае применялся метчик машинного типа. Его геометрия: передний угол $\gamma = 10^\circ$, задний угол $\alpha = 8^\circ$, при резании число оборотов соответствовало – 71 об/мин.

Таким образом, геометрия сверла и метчика, а также режимы резания этими инструментами соответствовали требованиям стандартов и нормативов [6].

2. Механизм разрушения исследуемого инструмента

Установлено, что:

- на операции сверления основной причиной выхода из строя инструмента, изготовленного из отечественной быстрорежущей стали, являлся износ по режущей кромке;
- на операции нарезания резьбы происходило разрушение метчика (изготовленного из импортной стали) вдоль осевой по хрупкому механизму.

Различный механизм разрушения инструментов свидетельствует о разных причинах его возникновения и зависит от комплекса основных свойств. Интенсивный износ по режущей кромке может происходить из-за пониженной вторичной твердости и теплостойкости, а также из-за нарушения режимов резания.

Как показал макроанализ, причиной пониженной стойкости сверла является интенсивный износ по режущей кромке в результате перегрева инструмента в процессе эксплуатации, что подтверждается наличием цветов побежалости на внешней поверхности инструмента. Твердость в области цветов побежалости составила: режущая часть – 48 HRC, ленточка – в интервале 44...54 HRC.

В основе механизма хрупкого разрушения лежит пониженная ударная вязкость. Она может быть вызвана дефектами структуры – крупным размером зерна и повышенным баллом карбидной неоднородности [7].

Известно, что свойства формируются на всех технологических этапах, начиная от металлургического производства и качества стали в состоянии поставки до этапа упрочняющей термической обработки. Проведенные исследования позволили выявить дефекты и разработать рекомендации по их устранению с целью повышения стойкости металлорежущих инструментов. Разработанные рекомендации носят методологический характер и могут быть использованы независимо от вида металлорежущего инструмента [8].

3. Контроль качества стали в состоянии поставки

3.1. Анализ химического состава исследуемых сталей марки Р6М5

Высокие режущие свойства быстрорежущих сталей обеспечиваются комплексным легированием в сочетании с термической обработкой. Быстрорежущие стали легированы так, чтобы их структура состояла из насыщенных легирующими элементами твердого раствора и специальных растворимых вторичных и нерастворимых первичных карбидов на основе вольфрама (молибдена), ванадия и хрома. Как известно, высокая легированность твердого раствора – это основное условие высокой теплостойкости [7, 9, 10].

Важной составляющей в химическом составе быстрорежущих сталей является объем карбидообразующих элементов, особенно вольфрама и молибдена. Существует условие, при котором обеспечиваются основные свойства быстрорежущих сталей, а именно эквивалент по вольфраму не должен быть ниже 12-13% [7]. Этот эквивалент рассчитывается из соотношения:

$$\Sigma (W+Mo \times (1,4-2,5)) \geq 12-13\% \quad (1)$$

Быстрорежущая сталь марки P6M5 относится к группе быстрорежущих сталей умеренной теплостойкости. В соответствии с требованиями ГОСТ 19265 содержание карбидообразующих легирующих элементов и углерода в этой стали ($C = 0,82-0,9 \%$, $W=5,5-6,5 \%$, $Mo = 4,8-5,3 \%$, $V=1,7-2,1 \%$, $Cr = 3,3-4,4 \%$) сбалансировано так, чтобы в отожженном состоянии объем карбидной фазы M_6C , $M_{23}C_6$ и MC был не менее 22% [7, 10]. Благодаря комплексному легированию в этой стали выполняется требование по вольфрамовому эквиваленту.

В работе проведен также анализ химического состава сталей P6M5, поставляемых на предприятия, от двух производителей – отечественного и зарубежного.

Быстрорежущая сталь отечественного производителя по химическому составу в целом соответствует требованиям стандарта. Во всех исследуемых партиях не было обнаружено отклонений по химическому составу. 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 с порогом не ниже 12 %.

Марки зарубежных быстрорежущих сталей (типа P6M5), используемые на предприятии, по химическому составу значительно отличаются от отечественных, особенно по содержанию вольфрама (разброс от 4,3 до 6%) и молибдена (разброс от 4,1 до 5,2%) при стандартном содержании ванадия (до 2%) и углерода (до 1%). В результате стали имеют низкий эквивалент по вольфраму – около 11%. Особенности химического состава приводят к дефициту по объему карбидной фазы, особенно основного карбида вольфрама и молибдена (M_6C). Таким образом, несбалансированный химический состав зарубежных сталей приводит к снижению общей доли карбидной фазы, и как следствие, к снижению вторичной твердости и теплостойкости [7].

3.2. Исследования микроструктуры и основных свойств

В данной работе был проведен полный контроль исследуемых сталей в соответствии с требованиями стандарта как в состоянии поставки, так и в готовом инструменте после упрочняющей термической обработки в соответствии с существующими рекомендациями [3, 4, 11-14].

На предприятия сталь поступает вместе с сертификатом качества. Задачей заводской лаборатории является входной контроль сталей в соответствии с требованиями ГОСТ 19265. В настоящее время на большинстве предприятий контроль сталей ограничивается только визуально-измерительным осмотром и химическим анализом [3, 8].

Измерения твердости в состоянии поставки проводили по методу Бринелля (согласно ГОСТ 9012), после зачистки обезуглероженного слоя. Исследования быстрорежущих сталей в состоянии поставки показали, что твердость их составляла 220-230 НВ и соответствовала требованиям ГОСТ 19265. Металлографические исследования микроструктуры в состоянии поставки (изотермический отжиг) позволили выявить наличие отдельных крупных первичных карбидов с размером до 25 мкм в структуре сталей типа P6M5 зарубежного производителя, что недопустимо по ГОСТ 19265. Наличие неметаллических включений и пор выше допустимых показателей (1-2 балл) у отечественных и зарубежных сталей выявлено не было.

3.3. Контроль качества упрочняющей термической обработки

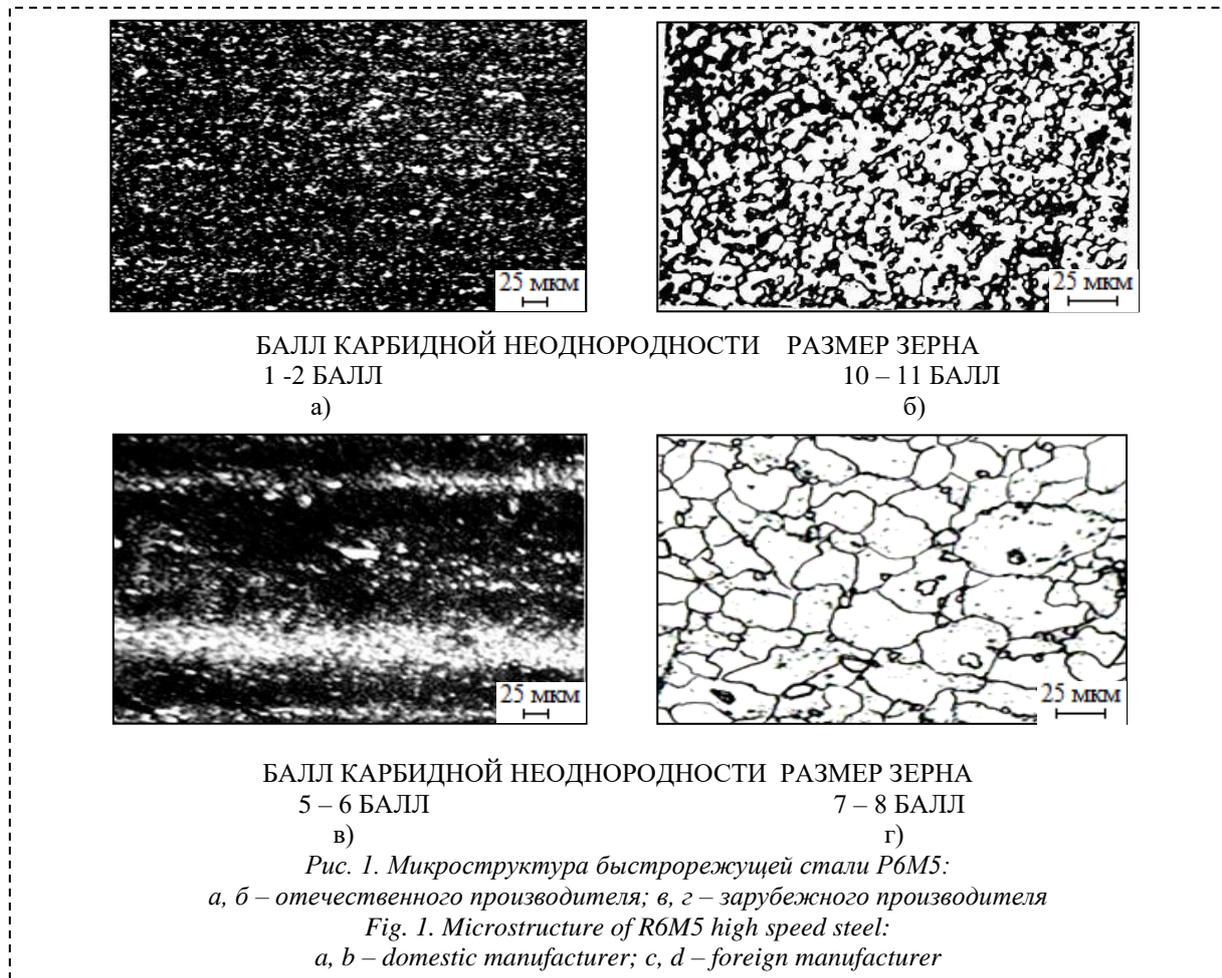
В ходе исследований проанализированы результаты контроля качества упрочняющей термической обработки инструментов (после закалки при 1220-1230 °С и трех-четырёхкратного отпуска при 560°С, по одному часу каждый), проводимых в условиях машиностроительного предприятия.

Заводская методика включала в себя:

- визуальный контроль на наличие трещин (на выборке в количестве 10% от партии инструментов);
- измерение твердости (по шкале HRC, 100% контроль);

- качественный контроль микроструктуры по размеру игл мартенсита, без определения балла карбидной неоднородности и размера зерна.

Отбраковка инструментов проводилась в случае присутствия закалочных трещин, крупногольчатого мартенсита, при наличии карбидной неоднородности, а также при пониженной твердости (ниже 62-63 HRC). В случае более высокой твердости для инструментов



проводился дополнительный отпуск при 620°C в течение одного часа.

Таким образом, контроль качества упрочняющей термической обработки быстрорежущих сталей в условиях машиностроительного предприятия не соответствует требованиям стандарта ГОСТ 19265. А именно:

- не осуществляется количественный контроль параметров микроструктуры – карбидной неоднородности и размера зерна;
- отсутствует контроль на теплостойкость (красностойкость).

Дополнительный 4-й отпуск, в том числе при 620°C, для быстрорежущих сталей выполнять не рекомендуется [7].

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

3.4. Результаты исследования инструмента из отечественной быстрорежущей стали Р6М5

Исследования показали, что после упрочняющей термической обработки твердость инструмента соответствовала требованиям стандарта и находилась в интервале значений 63-65 HRC. Исследования микроструктуры на карбидную неоднородность и на наличие неметаллических включений были проведены в соответствии со стандартом ГОСТ 19265 в осевой плоскости инструментов при увеличении 100^x. Распределение карбидной фазы в инструменте, изготовленном из отечественной стали, соответствует допустимому 1-2 баллу карбидной неоднородности, в структуре не обнаружены отдельные угловатые крупные карбиды, балл зерна соответствовал допустимому 10-11 (Рис. 1 а, б). Неметаллические включения

(оксидные) не превышают 1-2 балл и практически отсутствуют поры. Таким образом, качество сталей отечественных производителей соответствует требованиям стандарта.

В ходе исследований установлена взаимосвязь между показателями теплостойкости и химическим составом стали. Более стабильные результаты по теплостойкости отмечены у инструмента с карбидным эквивалентом, превышающим 12,5%. Это вполне закономерно, так как от количества карбидообразующих элементов зависит объем карбидной фазы и, следовательно, степень легированности мартенсита.

Испытания различного инструмента на теплостойкость показали ее нестабильность. Теплостойкость (после четырехчасового нагрева при 620 °С) распределялась в интервале от 54 HRC до 60 HRC, что не соответствует требованиям стандарта (59-60 HRC).

Теплостойкость быстрорежущих сталей определяется химическим составом и качеством упрочняющей обработки. Как известно, от температуры закалки зависит степень и скорость растворения вторичных карбидов, а от температуры отпуска и его кратности – степень дисперсионного твердения и размер вторичных карбидов [7, 9, 10].

В настоящей работе было установлено, что основной причиной нестабильной теплостойкости являются отклонения в режимах упрочняющей термической обработки. Нестабильность по теплостойкости, а именно ее пониженные значения послужили основной причиной интенсивного износа инструмента (сверла) и преждевременного выхода его из строя.

3.5. Результаты исследования инструмента из зарубежной быстрорежущей стали типа P6M5

Визуально-измерительный контроль метчика перед началом эксплуатации подтвердил соответствие заявленным требованиям. Дефектов в виде трещин обнаружено не было.

После упрочняющей термической обработки твердость инструмента соответствовала требованиям стандарта и находилась в интервале значений 62-63HRC, что ниже по сравнению со сталями отечественного производителя. Это объясняется пониженным карбидным эквивалентом, достигающим в некоторых партиях до 10% вместо требуемых 12-13%.

Металлографические исследования стали включали в себя оценку размера зерна и карбидной неоднородности [3, 4].

Для оценки карбидной неоднородности быстрорежущей стали методом сравнения использовалась шкала №2 ГОСТ 19265. В структуре выявлена карбидная неоднородность в виде сетки и обособленные крупные карбидные включения с размером 15-25 мкм. Балл карбидной неоднородности соответствовал 5-6 баллу (Рис. 1, в) вместо допустимого 1-2 балла.

Величину зерна аустенита определяли по ГОСТ 5639. Контроль проводился в плоскости шлифа, перпендикулярной к направлению вытяжки при увеличении 200^x. Была выявлена разнотернистость. Величина зерна аустенита соответствовала 7-9 баллу. Наличие балла зерна ниже допустимого (допустимо не ниже 10 балла по ГОСТ 19265), а также его разнотернистость свидетельствуют о перегреве стали в процессе закалки (Рис. 1, г).

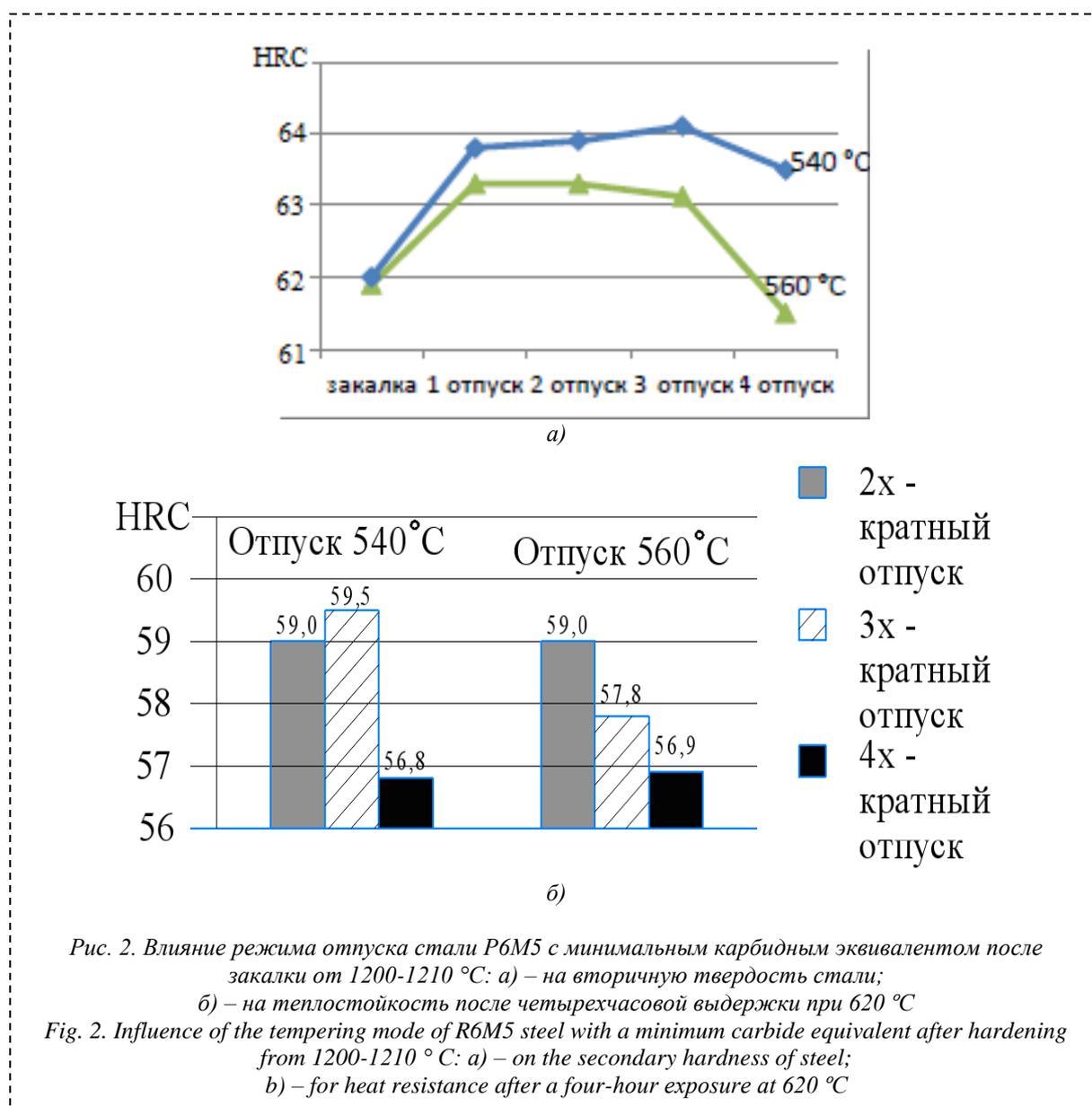
Теплостойкость после четырехчасового нагрева при 620°С не превышала 59 HRC.

Таким образом, исследования показали, что основной причиной разрушения метчика по хрупкому механизму является неудовлетворительное состояние микроструктуры, а именно высокий балл карбидной неоднородности и наличие крупного зерна.

3.6. Разработка рекомендаций по совершенствованию технологического процесса упрочняющей термической обработки инструмента

Осуществлялась в соответствии с качеством поставляемого металла и его химического состава по вольфрамовому эквиваленту с учетом условий эксплуатации инструмента.

В результате проведенных исследований в зарубежной стали типа P6M5 выявлено пониженное количество основных карбидообразующих элементов – вольфрама и молибдена. У отечественных производителей оно находится на уровне предельно допустимых (ближе к 12% по вольфрамовому эквиваленту), а у зарубежных – ниже допустимых стандарта (10-11% по вольфрамовому эквиваленту).



Анализ показал, что у сверл, изготовленных из стали Р6М5 с карбидным эквивалентом 13-14%, проблем со стойкостью не возникало. Пониженный карбидный эквивалент в зарубежных сталях является дефектом и отрицательно сказывается прежде всего на теплостойкости стали, а следовательно, на стойкости инструмента при эксплуатации.

В задачи настоящей работы входил подбор режима упрочняющей термической обработки, который позволил бы обеспечить оптимальное соотношение между твердостью и теплостойкостью в быстрорежущих сталях с различным карбидным эквивалентом, а также обеспечить ударную вязкость.

Причиной пониженной теплостойкости исследуемого инструмента является не только химический состав, который характеризуется пониженным вольфрамовым эквивалентом стали, но и режимы упрочняющей термической обработки. На теплостойкость, как известно, влияет температура закалки, так как она обеспечивает интенсивность растворения вторичных карбидов, а температура и кратность отпуска определяют степень дисперсионного твердения [7, 9, 15, 16]. Наличие перечисленных факторов влияет неоднозначно на вторичную твердость и теплостойкость сталей. Так, пониженное содержание вольфрама и молибдена сказывается не только на объеме карбидной фазы, но и на температурах фазовых превращений, которые, как правило, понижаются. Поэтому при выборе температуры закалки этот фактор необходимо учитывать и корректировать ее в сторону уменьшения. Исследования показали, что температура закалки может быть выбрана по минимальным рекомендуемым значениям и находится в

интервале 1200-1210°C с целью получения мелкого зерна и, как следствие, максимальной ударной вязкости. В противном случае повышение температуры до 1220-1230°C приведет, как показали исследования, к росту зерна до 7 балла.

Отпуск для быстрорежущих сталей проводится для обеспечения дисперсионного твердения (в процессе выдержки) и с целью снижения доли остаточного аустенита за счет превращения его в мартенсит (в процессе охлаждения от температуры отпуска). Отпуск для стали Р6М5 рекомендуется проводить в интервале от 540-560°C, а его кратность зависит от выбранной температуры отпуска [7, 9, 10].

Для рассматриваемых сталей с минимальным карбидным эквивалентом проведены исследования по влиянию параметров отпуска на их свойства. На Рис. 2 (а) показано влияние температуры отпуска и его кратность на вторичную твердость, а на Рис. 2 (б) – на теплостойкость после закалки от 1200-1210°C.

Видно, что повышение температуры отпуска должно повлечь за собой снижение его кратности. В противном случае произойдет коагуляция (укрупнение) карбидов и, следовательно, снижение вторичной твердости (Рис. 2,а). Кратность отпуска аналогично влияет на теплостойкость сталей. Показано, что четырехкратный отпуск недопустим, так как он приводит к резкой порче теплостойкости (Рис. 2,б).

Таким образом, в результате проведенных исследований для быстрорежущей стали марки Р6М5 с пониженным вольфрамовым эквивалентом (10-11%) рекомендуется снизить температуру закалки до 1200-1210°C и проводить двукратный отпуск при 560°C или трехкратный при 540°C, а 4-х кратный отпуск не допустим. Рекомендуемый режим упрочняющей термической обработки позволит обеспечить оптимальное соотношение между основными свойствами, а именно твердостью, прочностью, ударной вязкостью и теплостойкостью. Это позволит обеспечить повышение стойкости металлорежущему инструменту, работающему в сложнапряженных условиях, сочетающих интенсивный износ и ударные нагрузки.

Обсуждение результатов

В итоге проведенных исследований показано, что с целью повышения стойкости металлорежущих инструментов при их производстве в условиях машиностроительного предприятия необходимо использовать следующий методологический подход:

1. совершенствовать контроль качества быстрорежущих сталей в состоянии поставки и после упрочняющей термической обработки;
2. повысить качество упрочняющей термической обработки;
3. целесообразно корректировать режим упрочняющей термической обработки быстрорежущих сталей в зависимости от их химического состава, с учетом вольфрамового эквивалента.

Выводы

Для повышения работоспособности металлорежущих инструментов, изготавливаемых в условиях машиностроительных предприятий из сталей Р6М5 отечественного и зарубежного производства, проведены комплексные исследования, которые позволяют сделать следующие выводы:

1. Причиной пониженной стойкости металлорежущих инструментов часто является неудовлетворительное качество стали Р6М5 в состоянии поставки, связанное с несбалансированностью химического состава, в том числе с пониженным содержанием основных карбидообразующих элементов – вольфрама и молибдена (вольфрамовый эквивалент), наличием дефектов микроструктуры, а также с неудовлетворительным качеством упрочняющей термической обработки, выполняемой в условиях машиностроительного предприятия.

2. Установлены основные механизмы разрушения металлорежущих инструментов из стали Р6М5: интенсивный износ по режущей кромке и разрушение по хрупкому механизму. При этом отклонения по геометрии инструментов и режимов резания от нормативной документации не установлены.

3. Необходимо повышать культуру контроля качества быстрорежущей стали и привести ее в соответствие с ГОСТ 19265, расширив номенклатуру контролируемых параметров микроструктуры и свойств как в состоянии поставки, так и после упрочняющей термической обработки. Это позволит проводить отбраковку некачественных сталей и исключить в дальнейшем брак производства металлорежущих инструментов.

4. На основе проведенных исследований быстрорежущих сталей с пониженным вольфрамовым эквивалентом рекомендуется снижать температуру закалки до 1200-1210°C, температуру отпуска до 540°C (3 раза) и кратность отпуска до двух при 560°C. Это позволит повысить ударную вязкость, предотвратить «порчу теплостойкости» и, как следствие, повысить стойкость инструментов, работающих в условиях динамических нагрузок и интенсивного износа.

5. Доказано, что марки быстрорежущих сталей Р6М5 отечественного производителя по качеству микроструктуры (по неметаллическим включениям, баллу зерна, баллу карбидной неоднородности) и по сбалансированности химического состава (вольфрамовый эквивалент более 12-13%) превосходят исследованные аналоги сталей зарубежного производителя типа Р6М5 (вольфрамовый эквивалент 10-11%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новости инструментального производства. Главный механик. 2018. № 8. С. 49–51.
2. Черкашин С. О., Видин Д. В., Лещина С. В., Короткова Л. П. Современное состояние рынка режущего инструмента из быстрорежущих сталей // XI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 16-19 апреля 2019 г. Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2019/RM19/pages/Articles/40103.pdf> [10.02.2022].
3. 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/> [10.02.2022].
4. Короткова Л. П., Шатко Д. Б. Контроль качества инструментальных материалов (в машиностроительном производстве). Кемерово : ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», 2010. 163 с.
5. Ryanov A. I., Anikin V. N., Ryanov A. A. Investigating the opportunities for defining the fatigue characteristics of tools with a nanolayer coating during cutting // International Journal of Nanomechanics Science and Technology. 2014. Vol. 5. No 3. P. 239–248. DOI: 10.1615/NanomechanicsSciTechnolIntJ.v5.i3.80.
6. Верещака А. С., Кушнер В. С. Резание материалов: учебник для вузов по направлениям: «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств». М. : Высшая школа, 2009. 535 с.: ил.
7. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М. : Металлургия, 1983. 526 с.
8. Korotkova L. P., Vidin D. V. Quality assurance for the production of metal-cutting tools from high-speed steels // IOP Conference series: materials science and engineering International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTMTE 2019.: Institute of Physics Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022022
9. Адашкин А. М. Технологические возможности использования быстрорежущей стали Р6М5. СТИН. № 11. 2009. С. 29–34.
10. Гуляев А. П. Инструментальные стали: справочник. М. : Машиностроение, 1975. 270 с.
11. Методика и практика металлографического исследования инструментальной стали: Сборник работ по металлографической лаборатории ВНИИ. Под ред. Е. И. Малинкиной. М. : МАШГИЗ, 1961. 155 с.
12. Tikhonov A. K., Sardaev N. I. Organization of quality control and its specific features in mass production // Металловедение и термическая обработка металлов. 1996. No 10. P. 2–5.
13. Berghof-Hasselbacher E. Atlas of Microstructures. Berlin : DGRT, 2013. 318 S.
14. Hiorns A. H. Metallography: An Introduction to the Study of the Structure of Metals, Chiefly by the Aid of the Microscope. Berlin : DGRT, 2009. 242 p.
15. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка: справочник. М. : Металлургия, 1982. 312 с.
16. Космынин А. В., Чернобай С. П., Виноградов С. В. Повышение теплостойкости и износостойкости режущего инструмента для высокоскоростной обработки деталей // Успехи современного естествознания. 2007. № 12. С. 129–130.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Коротков Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты», Кузбасский государственный технический университет имени

Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: korotkov.a.n@mail.ru

Короткова Лидия Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: techmet@list.ru

Видин Денис Владимирович, старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), преподаватель ГПОУ «Кемеровский коммунально-строительный техникум» имени В.И. Заузелкова, e-mail: dionis.vidin@gmail.com

Лашинина Светлана Викторовна, старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: atevs73@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Коротков А.Н. – постановка целей и алгоритм проведения исследований, финальный анализ результатов работы и корректировка текста статьи, общий менеджмент.

Короткова Л.П. – разработка методики контроля качества инструментальных сталей и режимов термической обработки, обработка данных.

Видин Д.В. – проведение эксперимента по определению твердости, теплостойкости, химического состава сталей в состоянии поставки, выполнение термообработки.

Лашинина С.В. – подготовка шлифов, исследование микроструктуры, металлографические исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

METHODOLOGICAL APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF THE STRENGTHENING HEAT TREATMENT MODE FOR HIGH-SPEED STEELS WITH LOW TUNGSTEN EQUIVALENT

Alexander N. Korotkov ¹, Lidia P. Korotkova ¹,
Denis V. Vidin ², Svetlana V. Lashchinina ¹

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² V.I. Zauzelkova Kemerovo Municipal Construction College

*for correspondence: korotkov.a.n@mail.ru



Article info

Received:

25 May 2023

Accepted for publication:

15 June 2023

Accepted:

20 June 2023

Published:

30 June 2023

Keywords: high-speed steel, tungsten equivalent, metal-cutting tool, microstructure, quality control, heat treatment technology, basic and

Abstract.

This work is aimed at increasing the durability of metal-cutting tools made of R6M5 high-speed steel with moderate heat resistance, manufactured in machine-building enterprises. A comparative analysis of the quality of high-speed steels of domestic and foreign manufacturers in terms of chemical composition and microstructure parameters in the state of delivery has been carried out. A methodological approach has been developed to solve the problem of improving the quality of metal-cutting tools from high-speed steels of the traditional production method by adjusting the modes of hardening heat treatment, taking into account the quality of steels in the state of delivery, as well as their operating conditions. Based on the studies carried out, typical deviations in the chemical composition and structure of steels from various manufacturers were revealed. A methodological approach has been developed to solve the problem of improving the quality of metal-cutting tools made of high-speed steels of the traditional production method through the introduction of a full-scale quality control technique, adjusting the hardening heat treatment modes, taking into account the chemical composition of the steels in the state of delivery, as well as the operating conditions of the tool. It is proposed to correct the hardening heat treatment - the temperature of hardening and tempering, to assign the frequency of tempering, taking into

technological properties, tool life, operating conditions

account the content of carbon and carbide-forming elements in accordance with the tungsten equivalent. It is shown that the grades of high-speed steels of Russian production in terms of the quality of the microstructure (in terms of non-metallic inclusions, grain score, carbide inhomogeneity score) and in the balance of the chemical composition are superior to analogues of foreign firms.

For citation: Korotkov A.N., Korotkova L.P., Vidin D.V., Lashchinina S.V. Methodological approach in the development of the strengthening heat treatment mode for high-speed steels with low tungsten equivalent. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 3(157):13-25. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-13-25, EDN: XVEHDI

REFERENCES

1. News of tool production. Chief mechanical engineer. 2018; 8:49–51.
2. Cherkashin S.O., Vidin D.V., Lashchinina S.V., Korotkova L.P. Current state of the market for cutting tools made of high-speed steels. "RUSSIA YOUNG". April 16-19. 2019. Access mode: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2019/RM19/pages/Articles/40103.pdf> [10.02.2022] .
3. GOST 19265-73. Bars and strips made of high-speed steel. Specifications: interstate standard of the Russian Federation: official edition; entered into force on 01.01.1975. Moscow: Standards Publishing House; 2019. 21 p. Access mode: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/8322/> [10.02.2022].
4. Korotkova L.P., Shatko D.B. Quality control of tool materials (in machine-building production). Kemerovo: Kuzbass State Technical University. T.F. Gorbachev, 2010. 163 p.
5. Pyanov A.I., Anikin V.N., Pyanov A.A. Investigating the opportunities for defining the fatigue characteristics of tools with a nanolayer coating during cutting. *International Journal of Nanomechanics Science and Technology*. 2014; 5(3):239-248. 10.1615/NanomechanicsSciTechnolIntJ.v5.i3.80.
6. Vereshchaka A.S., Kushner V.S. Cutting materials: a textbook for universities in the areas: "Technology, equipment and automation of machine-building industries". M.: Higher school; 2009. 535 p.: ill.
7. Geller Yu.A. Tool steels M.: Metallurgy; 1983, 526 p.
8. Korotkova L.P., Vidin D.V. Quality assurance for the production of metal-cutting tools from high-speed steels. *IOP Conference series: materials science and engineering International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTMTE 2019*. Institute of Physics Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022022
9. Adaskin A.M. Technological possibilities of using high-speed steel R6M5. *STIN*. 2009; 11:29–34.
10. Gulyaev A.P. Tool steels: reference book. M.: Mashinostroenie; 1975. 270 p.
11. Methods and practice of metallographic study of tool steel: Collection of works on the metallographic laboratory of the All-Russian Research Institute. Ed. E.I. Malinkina. M.: MASHGIZ; 1961. 155 p.
12. Tikhonov A.K., Sardaev N.I. Organization of quality control and its specific features in mass production. *Metal Science and Heat Treatment of Metals*. 1996: 10:2–5.
13. Berghof-Hasselbacher E. Atlas of Microstructures. Berlin: DGRT; 2013. 318 p.
14. Hiorns A. H., Metallography: An Introduction to the Study of the Structure of Metals, Chiefly by the Aid of the Microscope. Berlin: DGRT; 2009. 242 p.
15. Artinger I. Tool steels and their heat treatment: a reference book. M.: Metallurgy; 1982. 312 p.
16. Kosmynin A.V., Chernobay S.P., Vinogradov S.V. Improving the heat resistance and wear resistance of the cutting tool for high-speed processing of parts // *Successes of modern natural sciences*. 2007; 12:129–130.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Alexander N. Korotkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Cutting Machines and Tools, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: korotkov.a.n@mail.ru

Lidiya P. Korotkova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal Cutting Machines and Tools, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: techmet@list.ru

Denis V. Vidin, senior lecturer of the department "Metal-cutting machines and tools", T.F. Gorbacheva Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), lecturer of the Kemerovo Communal Construction College named after V.I. Zauzelkova, e-mail: dionis.vidin@gmail.com

Svetlana V. Lashchinina, senior lecturer of the department "Metal-cutting machines and tools", T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyaya st., 28), e-mail: atevs73@mail.ru

Contribution of the authors:

Alexander N. Korotkov – setting goals and algorithm for conducting research, final analysis of the results of the work and correction of the text of the article, general management.

Lidiya P. Korotkova – development of methods for quality control of tool steels and heat treatment modes, data processing.

Denis V. Vidin – conducting an experiment to determine the hardness, heat resistance, chemical composition of steels in the state of delivery, performing heat treatment.

Svetlana V. Lashchinina – preparation of thin sections, microstructure study, metallographic studies.

All authors have read and approved the final manuscript.

