

УДК 620.18

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ
БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5**

Маевская В.Е.¹, магистр гр. МСм–251, I курс, Гореликов И.С.², магистр гр.
МСм–251, I курс

Научный руководитель: Короткова Л.П.¹, кандидат техн. наук, доцент каф.
«МСиИ», Видин Д. В.², ст. преп. каф. «МСиИ»,

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

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.

При производстве металлорежущего инструмента широкое применение находят быстрорежущие стали как отечественных, так и зарубежных производителей. Качество формируется на всех основных стадиях производства, начиная с металлургического и завершая упрочняющей термической обработкой. Работа посвящена выявлению причин пониженной стойкости инструмента на примере дискового фасонного резца стали Р6М5 и разработки мероприятий по их устранению на основе комплексных исследований методики контроля качества и корректировки режимов упрочняющей термической обработки [1,2].

Целью настоящей работы являлось установление причин пониженной стойкости дисковых фасонных резцов из стали Р6М5 на операции точения (рис. 1), вызванного интенсивным износом режущей кромки в процессе точения.

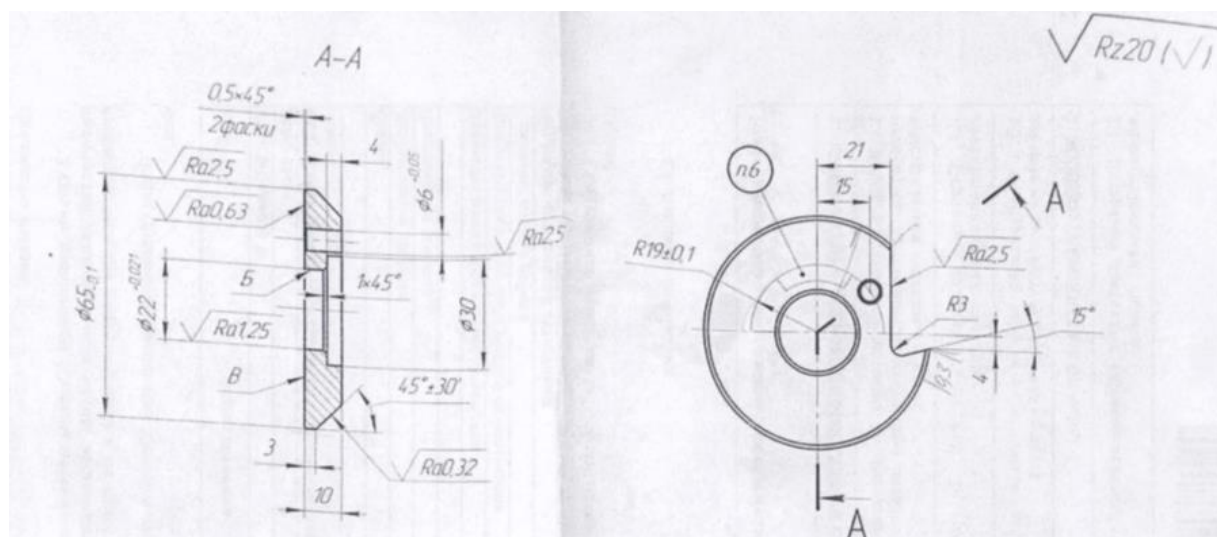


Рисунок 1 – Резец дисковый фасонный.

Были проведены исследования стали с целью выявления отклонений и обнаружения дефектов микроструктуры, возникающих на различных стадиях производства, влияющих на эксплуатационные свойства металлорежущего инструмента. В результате были разработаны рекомендации по входному контролю и контролю качества упрочняющей термической обработки, разработаны рекомендации по корректировке режимов с целью устранения или предупреждения выявленных отклонений в структуре и свойствах.

Методика исследований. В условиях лаборатории кафедры «Металло-режущие станки и инструменты» использована методика контроля качества, которая соответствует требованиям стандарта на быстрорежущие стали [3].

С целью установления причин пониженной стойкости дисковых фасонных резцов из быстрорежущих сталей поставлены следующие задачи:

- использование методологического подхода, базирующегося на комплексном контроле структуры и свойств сталей на различных стадиях производства, начиная от входного контроля качества, в процессе производства и завершая контролем качества после упрочняющей термообработки;
- анализ полученных данных с точки зрения влияния их на основные свойства, включая стойкость инструмента;
- разработка рекомендаций по обнаружению и устранению дефектов микроструктуры за счёт исследований различных параметров структуры и анализа режимов упрочняющей термической обработки.

Методика контроля качества стали включала в себя:

- контроль химического состава;
- исследования макроструктуры;
- исследования микроструктуры (обезуглероженный слой, балл карбидной неоднородности, размер карбидной фазы, балл зерна);
- испытания по основным свойствам (твёрдость в состоянии поставки, после упрочняющей термической обработки, теплостойкость)[1,2,3,4].

Основным документом для стали Р6М5, по которому производится приёмка сталей на предприятии является «Паспорт-сопроводитель». Существующая методика была дополнена, и она отличается от заводской дополнительными исследованиями микроструктуры и свойств в соответствии с требованиями стандарта. Учтено то, что на предприятии не проводится контроль количественных показателей микроструктуры (величины зерна, карбидной неоднородности, размер карбидной фазы); оценка качества термической обработки производится только по вторичной твёрдости, теплостойкость при выборе режимов термической обработки не учитывается.

Результаты исследований. Основные свойства быстрорежущих сталей формируются на всех технологических этапах производства [4]:

- на этапе металлургического производства, за счёт обеспечения химического состава с заданным карбидным эквивалентом;
- на этапе последующей механической обработке с целью обеспечения заданной точности и чистоты обработанной поверхности;

– на этапе упрочняющей термической обработки, которая обеспечивает заданную твёрдость, прочность, ударную вязкости и теплостойкость.

Поступающие на предприятие стали сопровождаются сертификатами качества. Задачей заводской лаборатории является проверка соответствия сталей сертификату качества. С этой целью должен быть выполнен входной контроль качества быстрорежущих сталей в соответствии с требованиями ГОСТ 19265.

В данной работе проведен полный контроль исследуемых сталей в соответствии с требованиями стандарта, как в состоянии поставки, так и качество термической обработки.

Быстрорежущая сталь марки Р6М5 относится к группе сталей умеренной теплостойкости. Подтверждено, что 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. Химический состав стали сбалансирован так, чтобы в отожженном состоянии объем карбидной фазы M_6C , $M_{23}C_6$ и MC был не менее 22% [4,5]. Это, при условии грамотно выполненной упрочняющей обработки, обеспечивает вторичную твердость (не менее 62-63 HRC) и теплостойкость не менее 59-60 HRC (после четырехчасового нагрева при 620 °C).

Важной составляющей в химическом составе быстрорежущих сталей является объем карбидообразующих элементов, особенно вольфрама и молибдена. Существует требование к химическому составу, в соответствии с которым обеспечиваются основные свойства быстрорежущих сталей – вторичная твердость и теплостойкость. Оно заключается в соблюдении условия по вольфрамовому эквиваленту. Эквивалент по вольфраму (Ξ) не должен быть ниже 12-13% [4]. Этот эквивалент рассчитывается из соотношения:

$$\Xi = W + Mo \times (1,4 \div 1,5) = 5,5 + 4,8 \times 1,4 = 14,42; \quad (1)$$

Таким образом, проведенный анализ химического состава подтвердил исследуемых сталей марки Р6М5 отечественного производителя (табл. 1) подтвердил соответствие требованиям стандарта и свидетельствует о достаточном карбидном эквиваленте.

Параметры микроструктуры стали Р6М5 для заготовок с размером менее 60 мм допускается не выше 3 балла карбидной неоднородности и размер зерна не менее 9 балла. На предприятии эти показатели не контролируются.

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 превращением остаточного аустенита (в процессе охлаждения от температуры отпуска) [4].

Основным документом на проведение термической обработки на предприятии является «Комплект документов термической обработки». В соот-

ветствии с этим документом резец дисковый фасонный из стали Р6М5 подвергается термической обработке по режиму: закалка в масло от температуры 1220 °С с последующим 4-х кратным отпуском по 1-1,5 часу каждый от температуры 540-560 °С. Отбраковка инструментов проводится в случае наличия закалочных трещин, крупно-иглового мартенсита и наличия карбидной сетки, а также при пониженной твердости (ниже 62 HRC). При получении вторичной твердости более 64 HRC инструмент подвергается дополнительному пятому отпуску при 620 °С в течение одного часа.

Оценка на балл карбидной неоднородности, на размер зерна, а так же, проверка теплостойкости не производится. Оценивается только размер карбидной фазы без учёта балла карбидной неоднородности, что не соответствует требованиям стандарта ГОСТ 19265.

В настоящей работе были проведены дополнительные исследования количественных параметров микроструктуры на размер зерна и балл карбидной неоднородности, а также испытания инструмента на теплостойкость. Результаты металлографических исследований представлены на рис. 2.

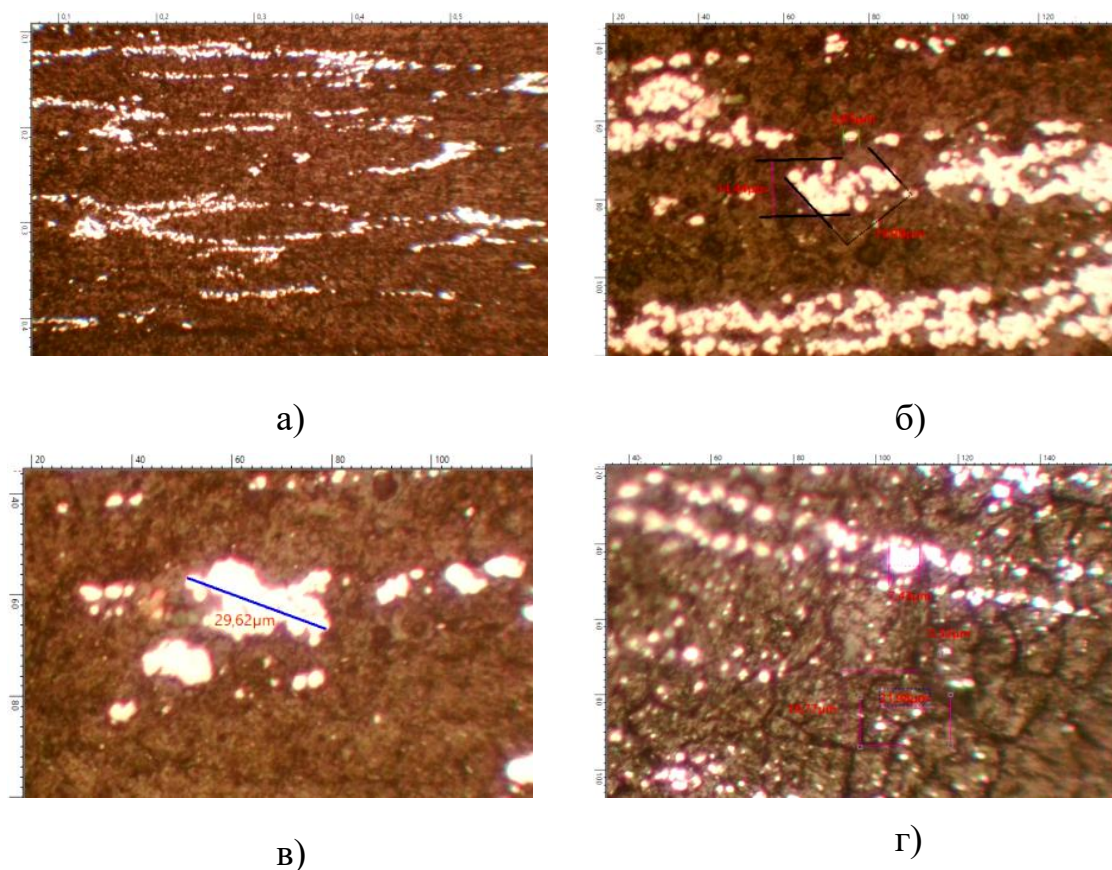


Рисунок 2 – Микроструктура стали Р6М5
а, б, в) – распределение и размер карбидов;
г) – размер исходного зерна аустенита

Исследования показали:

1. После упрочняющей термической обработки твердость инструмента из стали Р6М5 соответствовала требованиям стандарта и находилась в интервале 62-65 HRC.

2. Теплостойкость инструмента после упрочняющей термической обработки по заводскому режиму составляла 59-60 HRC после четырехчасового нагрева при 620 °С, что соответствует требованиям стандарта.

В результате проведенного анализа установлена взаимосвязь между показателями теплостойкости и химическим составом и режимами термической обработки стали. Эти показатели взаимосвязаны и находятся в рамках допустимых значений стандарта.

3. Металлографические исследования микроструктуры термически обработанного инструмента из стали Р6М5 (рис. 2) позволили выявить дефекты микроструктуры:

- был обнаружен высокий балл (4-6 балл) карбидной неоднородности, превышающий допустимые значения по стандарту (3 балл для сечения заготовки менее 60 мм) с отдельными включениями карбидов по размерам 20 мкм и выше (рис. 2 а, б, в);

- размер исходного зерна аустенита (рис. 2 б) соответствовал 7 баллу (с размером зерна выше 20 мкм в поперечном сечении) вместо допустимого 9-10 балла (с размером менее 10 мкм).

Таким образом, как показали исследования, основным недостатком исследованных сталей является высокий балл карбидной неоднородности и крупный размер карбидов выше допустимого стандартом. Наличие крупных карбидов в микроструктуре вызывает их выкрашивание при резании и таким образом является основной причиной интенсивного износа инструмента [6].

Причиной крупного зерна в микроструктуре является перегрев стали при закалке. Рекомендуется снизить режим закалки до 1200-1210 °С для стали Р6М5, что обеспечит получение размера зерна 10-11 балла и, как следствие, –максимальную ударную вязкость. Превышение температуры закалки до 1220-1230 °С приводит к росту зерна до 7-8 балла и снижению ударной вязкости стали.

Как показали исследования, использование на предприятии четырехкратного отпуска при 560 °С, а тем более пятого отпуска при 620 °С, вызывает снижение вторичной твердости и «порчу теплостойкости» [4,5]. В результате это приводит к интенсивному износу инструмента. Поэтому отпуск для фасонного инструмента из стали Р6М5 рекомендуется проводить в интервале от 540-560 °С, а его кратность должна быть снижена до двух-, трёх- раз в зависимости от выбранной температуры отпуска [7].

Закключение. На основе проведенных комплексных исследований дискового фасонного резца из быстрорежущей стали Р6М5 с целью повышения его износостойкости разработаны следующие рекомендации:

1. Внесение в технологическую инструкцию обязательный контроль балла карбидной неоднородности сталей в состоянии поставки. Это позволит отбраковывать и исключить использование быстрорежущих сталей с металлургическим дефектом – высоким баллом карбидной неоднородности.

2. Рекомендуется вносить корректировку в режим упрочняющей термической обработки дискового фасонного резца из стали Р6М5:

– с целью повышения ударной вязкости снижать температуру закалки до минимального рекомендуемого стандартом значения 1200-1210 °С и тем самым обеспечить мелкое зерно не ниже 9 балла;

– с целью предотвращения порчи теплостойкости и обеспечения максимальной вторичной твердости скорректировать режим отпуска: до температур от 540-560 °С с кратностью 2-3 раза в зависимости от выбранной температуры.

Комплекс изложенных рекомендаций позволит повысить износостойкость, а значит стойкость дискового фасонного резца из стали Р6М5.

Список литературы:

1. Коротков, А. Н. Инструментальные материалы : учебник / А. Н. Коротков, Л. П. Короткова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 188 с.

2. Контроль качества при производстве металлорежущего инструмента из быстрорежущих сталей. Коротков А.Н, Короткова Л.П, Видин Д., В сборнике: Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия. Международная конференция о современных тенденциях в производственных технологиях и оборудовании, 2019, ISMTME 2019. 2020. с. 022022.

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/> [10.03.2022].

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

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

6. Космынин, А. В. Повышение теплостойкости и износостойкости режущего инструмента для высокоскоростной обработки деталей / А. В. Космынин, С. П. Чернобай, С. В. Виноградов // Успехи современного естествознания.–2007.– № 12. – С. 129-130.

7. Коротков А.Н., Методологический подход при разработке режима упрочняющей термической обработки для быстрорежущих сталей с пониженным вольфрамовым эквивалентом / Видин Д.В., Лацинина С.В.// Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2023. № 3 (157). – С. 13-25. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54036011>.

