Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты). 2019 Том 21 № 1 с. 6–15
ISSN: 1994-6309 (print) / 2541-819X (online)
DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-6-15

Обработка металлов
(технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Исследование качества поверхности инструмента из быстрорежущей стали после комбинированной электроалмазной обработки

Вячеслав Попов [a, *], ***Даниил Рычков*** [b], ***Павел Архипов*** [c], ***Алексей Кузнецов*** [d], ***Егор Лосев*** [e], ***Николай Селин*** [f]

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, г. Братск, 665709, Россия

[a] http://orcid.org/0000-0001-6299-9161, berkutoff@rambler.ru, [b] http://orcid.org/0000-0002-9323-7693, dielektrik84@mail.ru,
[c] http://orcid.org/0000-0003-0390-8367, pavded@yandex.ru, [d] http://orcid.org/0000-0001-7095-3075, predalex@yandex.ru,
[e] http://orcid.org/ 0000-0002-1530-3739, _elk_@mail.ru, [f] http://orcid.org/0000-0001-5041-826X, selin138@yandex.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.923.6

История статьи:
Поступила: 13 сентября 2018
Рецензирование: 28 ноября 2018
Принята к печати: 10 декабря 2018
Доступно онлайн: 15 марта 2019

Ключевые слова:
Р6М5
Быстрорежущая сталь
Металлорежущий инструмент
Качество поверхности
Алмазный шлифовальный круг
Комбинированная электроалмазная обработка

АННОТАЦИЯ

Введение. Применение алмазных шлифовальных кругов на металлической связке для шлифования быстрорежущих сталей большинством литературных источников рекомендовано с помощью электрофизических, электрохимических или комбинированных методов обработки. Одновременно рекомендуется ограничить область применения окончательным круглым шлифованием в силу появления на обработанной поверхности дефектного слоя либо снизить технологические режимы обработки. К его сигнальным признакам относятся систематические сколы вдоль режущей кромки и микросколы на передней поверхности образцов, размеры карбидных частиц, отдельные кратеры или лунки на передней поверхности, снижение твердости, увеличение высоты микронеровностей профиля. Статья посвящена определению таких технологических режимов комбинированной электроалмазной обработки инструмента из быстрорежущей стали Р6М5, при шлифовании на которых отсутствовали бы сигнальные признаки дефектного слоя. Если решить эту задачу, то возможно расширить область применения алмазных шлифовальных кругов на металлической связке при обработке инструментальных сталей. Предмет исследования: пластины из быстрорежущей стали для металлорежущего инструмента; объект исследования: технологический процесс комбинированной электроалмазной обработки. **Цель работы:** изучение влияния технологических режимов комбинированной электроалмазной обработки на качество поверхностного слоя инструмента из быстрорежущей стали. **Методы исследования.** Операция шлифования проводилась на универсально-заточном станке модели 3Д642Е, модернизированном под технологию комбинированной электроалмазной обработки. Применялся шлифовальный алмазный чашечный круг на металлической связке: АС6 80/63 М1 100 %. Электрические параметры исследовались в диапазоне: $i_{пр}$ = 0,17…0,25 А/см^2; $i_{тр}$ = 3,125…9,375 А/см^2 соответственно. Механические параметры исследовались в диапазоне: V = 17...35 м/с; t = 0,01...0,03 мм/дв.ход; S = 1,5 м/мин. Шлифование велось с применением электролита: $NaNO_3$ – 3 %, $NaNO_2$ – 1 %, Na_2CO_3 – 0,5 %, остальное вода. Микроструктурные исследования проводили на микрошлифах образцов после травления. Качество поверхности оценивали с помощью растровой электронной микроскопии (Carl Zeiss EVO50 XVP); методом световой микроскопии (МЕТАМ ЛВ-42); шероховатость определялась с помощью профилограф-профилометра (Абрис-ПМ7); твердость *HRC* определялась с помощью твердомера Роквелла (600 MRD). **Результаты и обсуждение.** Установлено, что наилучшим сочетанием технологических режимов, при обработке на которых отсутствуют признаки дефектного слоя и сохраняется высокое качество металлорежущего инструмента из быстрорежущей стали, следует считать следующие: V = 35 м/с; S = 1,5 м/мин; t = 0,02 мм/дв.ход; $i_{пр}$ = 0,25 А/см^2; $i_{тр}$ = 6,25 А/см^2. Выявлено, что при обработке на рекомендуемых режимах режущая кромка ровная, с неглубокими зазубринами, размер карбидных частиц составляет в среднем 2…5 мкм. Установленные режимы позволяют получить шероховатость передней поверхности R_a = 0,070 мкм. Обнаружено, что полученная твердость на 6 % превышает исходную твердость и составляет 67…70 *HRC*.

Для цитирования: Исследование качества поверхности инструмента из быстрорежущей стали после комбинированной электроалмазной обработки / В.Ю. Попов, Д.А. Рычков, П.В. Архипов, А.М. Кузнецов, Е.Д. Лосев, Н.В. Селин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 6–15. doi: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-6-15.

***Адрес для переписки**
Попов Вячеслав Юрьевич, к.т.н., доцент
Братский государственный университет
ул. Макаренко, 40,
665702, г. Братск, Россия
Тел.: 8 (950) 107-20-16, **e-mail:** berkutoff@rambler.ru

Введение

Качество обработанной поверхности металлорежущего инструмента включает в себя целый комплекс совокупных характеристик, к которым

относятся физико-механические свойства материала, макро- и микрогеометрия поверхности, состояние режущих кромок и поверхностей инструмента. Наличие любых дефектов, макро- и микронеровностей, микротрещин, растравливания химических элементов под действием электролитов приводит к снижению работоспособности металлорежущего инструмента, снижению периода его стойкости и возникновению брака в ответственных изделиях машиностроения. Технология комбинированной электроалмазной обработки основана на совмещении процессов электрохимического растворения обрабатываемой заготовки под воздействием электрического тока в среде электролита и механического съема припуска алмазным кругом на металлической связке. При прохождении постоянного электрического тока через раствор электролита в результате окислительно-восстановительной реакции происходит растворение анода. Дополнительно в технологии реализована активная правка круга, которую выполняет правящий катод, способствующий его работе в режиме самозатачивания [1].

Алмазные шлифовальные круги на металлической связке в процессе работы интенсивно засаливаются, поэтому в литературе их рекомендуется применять для комбинированных методов обработки с использованием непрерывной электрохимической правки круга. Засаливание – это непрерывный процесс адгезионно-диффузионного засорения абразивного слоя шлифовального инструмента элементами обрабатываемого материала, влекущий за собой потерю его производительности и режущей способности [2, 3]. Поэтому область применения алмазных кругов на металлической связке ограничена финишным шлифованием [1, 4].

В современной промышленности весьма широко применяются быстрорежущие стали. Это объясняется тем, что изготовление мелкого сложнопрофильного инструмента – сверла, метчики, концевые фрезы из твердых и сверхтвердых инструментальных материалов – экономически нецелесообразно [4]. На сегодняшний день его изготавливают из быстрорежущей стали.

При затачивании металлорежущего инструмента для исключения появления на его поверхности дефектного слоя необходимо стремиться к минимизации развития такого процесса, как засаливание. В связи с этим вопрос качественного затачивания режущего инструмента является актуальным.

В работах [5–11], посвященных изучению возникновения дефектного слоя после обработки быстрорежущих сталей, не наблюдается единого мнения исследователей по поводу его структуры. Одни исследователи считают, что он состоит из безыгольчатого мартенсита, другие склоняются к тому, что он состоит из аустенита, третьи полагают, что это структура, обогащенная кислородом или азотом. Но все подтверждают, чтобы такой слой возник, необходимо одновременное воздействие высокой температуры и давления в зоне контакта. В монографии [1], имеющей более глубокую структуру исследований в области обработки материалов, А.С. Янюшкин показал, что в результате подбора механических и электрохимических режимов обработки возможно минимизировать величину дефектного слоя на обработанной поверхности.

К сигнальным признакам дефектов относятся: следы пластической деформации, характерные для адгезионного взаимодействия, – систематические сколы вдоль режущей кромки и микросколы на передней поверхности образцов [1, 2]; следы рекристаллизации элементов, входящих в состав быстрорежущей стали, характерные при росте контактной температуры в результате адгезионно-диффузионного взаимодействия – размеры карбидных частиц [1, 2, 9, 11–14]; следы воздействия локальных эрозионных процессов, характерные для электроэрозионной обработки – отдельные кратеры или лунки на передней поверхности образцов; следы воздействия электрохимических процессов, характерные для электрохимической обработки – снижение твердости передней поверхности образцов [1, 2, 15] в результате электрохимического растворения припуска; увеличение высоты микронеровностей профиля передней поверхности образцов в результате увеличения электрических и механических значений технологических режимов обработки [1, 2, 12, 16].

Следует признать, если решить задачу обеспечения качества поверхности инструмента из быстрорежущей стали после комбинированной электроалмазной обработки, то станет возможным расширить применяемость алмазных шлифовальных кругов на металлической связке при обработке инструментальных сталей. Такое

решение позволит в полной мере реализовать потенциал алмазных кругов и найдет эффективное и экономически выгодное внедрение в производстве.

Предмет исследования представляют пластины из быстрорежущей стали для металлорежущего инструмента, объект исследования – технологический процесс комбинированной электроалмазной обработки.

Целью данной работы является изучение влияния технологических режимов комбинированной электроалмазной обработки на качество поверхностного слоя инструмента из быстрорежущей стали.

Методика исследований

В качестве объекта исследования выбрана закаленная быстрорежущая сталь Р6М5, использованы образцы с размерами поверхности шлифования 8 × 26 мм, площадь поверхности, по которой проводилось шлифование $F = 2{,}08$ см^2.

Микроструктурные исследования проводили на микрошлифах образцов после травления. Перед травлением образцы полировались по передней поверхности с использованием алмазных паст разной дисперсности. Чтобы удалить частицы предыдущего абразивного материала при переходе с большой дисперсности на мелкую, образец тщательно промывался водой и слабым раствором спирта. После полирования исследуемая поверхность, как правило, имела зеркальный блеск без визуального подтверждения абразивных царапин.

Состав реактива для травления образцов: соляная кислота – 100 мл; сернокислая медь – 20 г; вода 100 мл. Травление проводилось с погружением образца в реактив на 1–2 мин с последующей его промывкой теплой водой и спиртом. В некоторых случаях применялось многократное травление с промежуточной полировкой.

Операция шлифования проводилась на универсально-заточном станке, модели 3Д642Е, модернизированном под технологию комбинированной электроалмазной обработки – разновидности электрохимического шлифования с одновременной активной правкой алмазного круга. Применялся шлифовальный алмазный чашечный круг на металлической связке: АС6 80/63 М1 100 %, $D = 125$ мм, $b = 15$ мм.

Основное внимание при обработке уделялось поиску технологических режимов, позволяющих минимизировать дефекты на режущей кромке и на поверхности инструмента из быстрорежущей стали, поскольку в зависимости от режимов обработки доля анодного растворения в общем съеме припуска может находиться в пределах от 25 до 90 %.

С этой целью варьировались следующие параметры комбинированной электроалмазной обработки:

– электрические параметры, состоящие из плотности тока правки круга и плотности тока растравливания обрабатываемой поверхности, исследовались в диапазоне $i_{пр} = 0{,}17…0{,}25$ А/см^2; $i_{тр} = 3{,}125…9{,}375$ А/см^2 соответственно. Диапазоны варьирования выбраны исходя из того, что если плотность тока правки круга ниже 0,17 А/см^2, то не удается блокировать процесс его засаливания. Низкая плотность тока в цепи травления является нецелесообразной, поскольку фактически шлифование происходит без разупрочнения. В то же время с увеличением плотностей тока ($i_{пр} > 0{,}322$ А/см^2; $i_{тр} > 9{,}375$ А/см^2) возникают предпосылки для развития электроэрозионного процесса, вызывающего увеличение удельного расхода алмазов;

– механические параметры, состоящие из скорости вращения круга, продольной и поперечной подач, исследовались в диапазоне $V = 17–35$ м/с; $t = 0{,}01…0{,}03$ мм/дв. ход; $S = 1{,}5$ м/мин. С увеличением значений механических параметров ($V > 51$ м/с; $t > 0{,}03$ мм/дв. ход; $S > 2$ м/мин) на обработанной поверхности появляются макродефекты, снижается работоспособность металлорежущего инструмента, снижается период его стойкости [1–5, 16–19]. Варьирование продольной подачи в настоящей работе не исследовалось, поскольку ранее установлено рациональное ее значение для быстрорежущей стали [1, 2, 21].

Шлифование велось с применением электролита следующего состава: азотнокислый натрий $NaNO_3$ – 3 %; азотистокислый натрий $NaNO_2$ – 1 %; углекислый натрий Na_2CO_3 – 0,5 %, остальное – вода.

Качество поверхности инструмента из быстрорежущей стали после комбинированной электроалмазной обработки оценивали с помощью растровой электронной микроскопии (Carl

Zeiss EVO50 XVP) и методом световой микроскопии (МЕТАМ ЛВ-42); шероховатость R_a определялась с помощью профилограф-профилометра (Абрис-ПМ7), ее средняя величина указана в соответствующих подрисуночных подписях; твердость *HRC* определялась с помощью твердомера Роквелла (600 MRD), ее величина также указана в подрисуночных подписях.

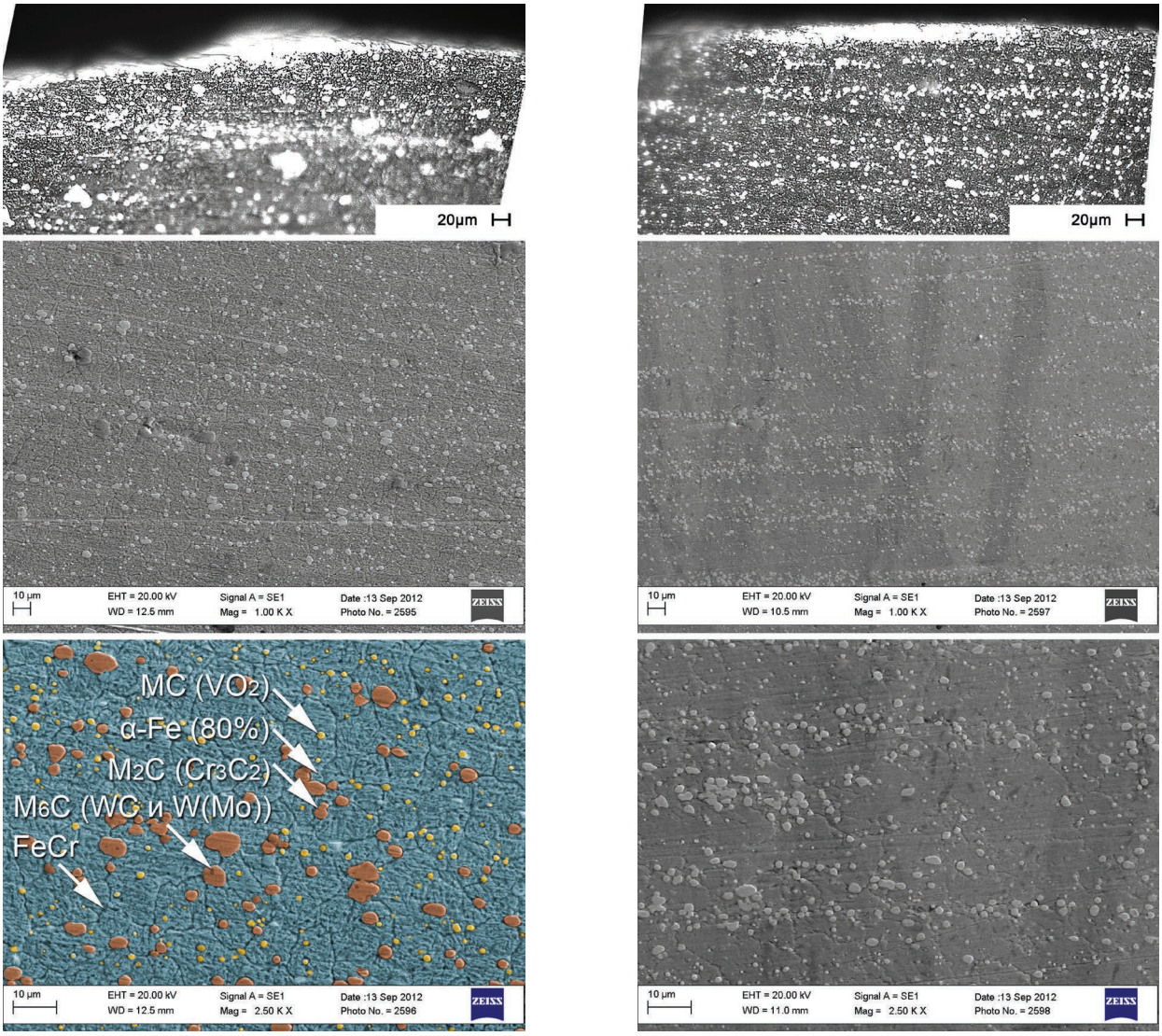
Результаты и их обсуждение

В соответствии с целью данного исследования необходимо определить технологические режимы комбинированной электроалмазной обработки инструмента из быстрорежущей стали Р6М5, при шлифовании на которых отсутствовали бы признаки дефектного слоя. К ним относятся: следы пластической деформации, характерные для адгезионного взаимодействия, – систематические сколы вдоль режущей кромки и микросколы на передней поверхности образцов; следы рекристаллизации элементов, входящих в состав быстрорежущей стали, характерные при росте контактной температуры в результате адгезионно-диффузионного взаимодействия, – размеры карбидных частиц; следы воздействия локальных эрозионных процессов, характерные для электроэрозионной обработки, – отдельные кратеры или лунки на передней поверхности образцов; следы воздействия электрохимических процессов, характерные для электрохимической обработки, – снижение твердости передней поверхности образцов в результате электрохимического растворения припуска; увеличение высоты микронеровностей профиля передней поверхности образцов в результате увеличения электрических и механических значений технологических режимов обработки.

Анализ результатов исследований показал, что при плотности тока правки, равной 0,17 А/см^2 (рис. 1, *а*), шероховатость обработанной поверхности составляет 0,097 мкм при твердости 58…60 *HRC*, в то время как быстрорежущая сталь в закаленном состоянии имеет твердость 63…66 *HRC*. Выявлено [2, 20], что ее снижение на 12 % вызвано постепенным засаливанием режущей поверхности круга. Это связано с тем, что образование площадок засаливания на режущей поверхности круга приводит к увеличению силы резания и температуры в зоне обработки, оказывающих влияние на твердость быстрорежущей стали. Состояние режущей кромки по внешнему виду дефектно – она неровная. На передней поверхности наблюдается рост первичных карбидов M_6C, вызванный ростом температуры в зоне резания [20] из-за трения частично засаленной поверхности круга. Их размер составляет в среднем 2…8 мкм, в то время как изначальный размер карбидных частиц до обработки составляет, в среднем 2…5 мкм.

При плотности тока растравливания, равной 9,375 А/см^2 (рис. 1, *б*), шероховатость обработанной поверхности составляет 0,136 мкм, при твердости 54…56 *HRC*. Выявлено [21], что ее снижение на 18 % от исходной твердости происходит в результате электрохимического разупрочнения обрабатываемой поверхности при прохождении электрического тока через электролит. Такое снижение объясняется ослаблением связи химических элементов поверхности в результате растравливания. Поэтому мы считаем значение $i_{тр}$ = 9,375 А/см^2 высоким, максимально допустимым электрическим параметром при комбинированной электроалмазной обработке. Здесь размеры карбидных частиц составляют в среднем 2…5 мкм. Несмотря на то что рост отдельных частиц не зафиксирован, они скапливаются в виде белой полосы вдоль режущей кромки (рис. 1–3). Это является дефектом, поскольку приводит к структурной неоднородности поверхностного слоя.

С увеличением глубины резания от 0,01 мм/дв. ход (рис. 2, *а*) до 0,03 мм/дв.ход (рис. 2, *б*) увеличивается глубина внедрения алмазных зерен в поверхность, что приводит к росту высоты микронеровностей профиля передней поверхности образцов от 0,061 до 0,175 мкм. Зафиксирован рост твердости с 56 до 65 *HRC*. Выявлено, что при малом значении глубины резания, равным 0,01 мм/дв.ход, растравленный слой глубиной порядка 0,02…0,025 мм не успевает полностью сошлифоваться. В микроструктуре передней поверхности инструмента из быстрорежущей стали видны карбидные частицы, вытянутые в овалы (показаны стрелками). Их размер составляет в среднем 3…4 мкм. С увеличением глубины резания до 0,03 мм/дв.ход дефектная поверхность полностью удаляется в результате электрохимического растворения, однако происходит рост суммарной силы резания, что приводит к сколам режущей кромки.



а *б*

Рис. 1. Состояние поверхности после комбинированной электроалмазной обработки:

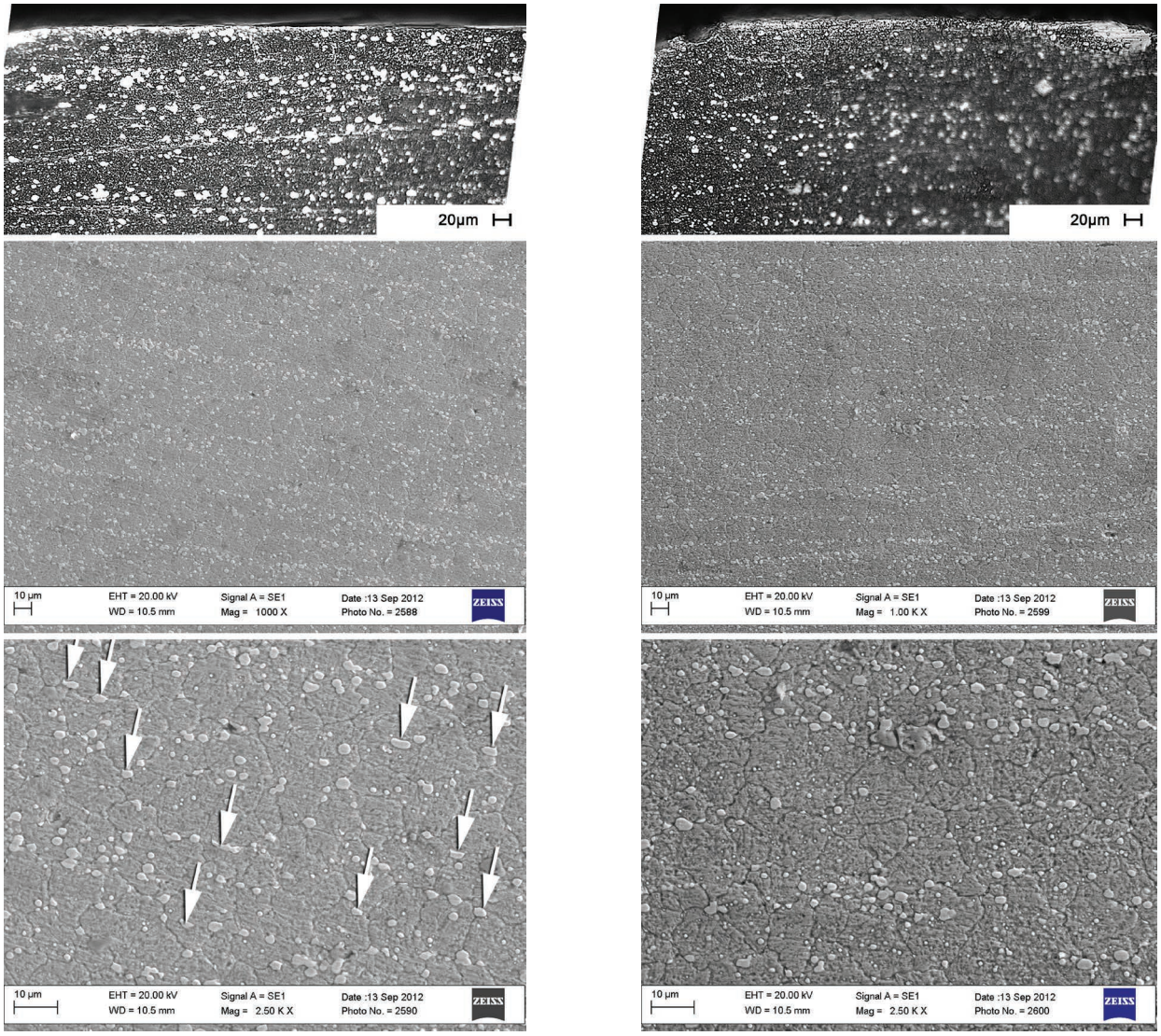
а – V = 35 м/с; S = 1,5 м/мин; t = 0,02 мм/дв. ход; $i_{пр}$ = 0,17 А/см^2; $i_{тр}$ = 3,125 А/см^2; R_a = 0,097 мкм; 58…60 *HRC*;
б – V = 35 м/с; S = 1,5 м/мин; t = 0,02 мм/дв. ход; $i_{пр}$ = 0,25 А/см^2; $i_{тр}$ = 9,375 А/см^2; R_a = 0,136 мкм; 54…56 *HRC*

Fig. 1. Microstructure of the sample surface after combined electric diamond grinding:

а – V = 35 m/s; S = 1.5 m/min; t = 0.02 mm/doub. st; i_{ed} = 0.17 A/cm^2; i_{et} = 3.125 A/cm^2; R_a = 0.097 μm; 58…60 *HRC*;
б – V = 35 m/s; S = 1.5 m/min; t = 0.02 mm/doub. st; i_{ed} = 0.25 A/cm^2; i_{et} = 9.375 A/cm^2; R_a = 0.136 μm; 54…56 *HRC*

При малой скорости вращения шлифовального круга, равной 17 м/с (рис. 3, *а*), шероховатость обработанной поверхности составляет 0,141 мкм при твердости 60…63 *HRC*. Так как на малой скорости увеличивается время воздействия алмазных зерен круга на шлифуемую поверхность, увеличивается и ее шероховатость. В микроструктуре передней поверхности инструмента из быстрорежущей стали выявлены увеличенные в среднем на 40 % отдельные карбидные частицы, режущая кромка неровная, с вырывами.

Уменьшение мгновенного сечения среза на скорости круга, равной 35 м/с (рис. 3, *б*), снижает шероховатость поверхности до 0,070 мкм. При возросшей скорости уменьшается мгновенное сечение среза, снижается вероятность появления прижогов. В совокупности с небольшой величиной тока правки, равной 0,17 А/см^2, это позволит уменьшить шероховатость обработанной поверхности в среднем на 30…40 % и повысить ее твердость до 67…70 *HRC* без ущерба для режущей кромки, что предотвратит появление дефектного слоя.



а *б*

Рис. 2. Состояние поверхности после комбинированной электроалмазной обработки:

а – V = 35 м/с; S = 1,5 м/мин; t = 0,01 мм/дв. ход; $i_{пр}$ = 0,25 А/см^2; $i_{тр}$ = 6,25 А/см^2; R_a = 0,061 мкм; 56…58 *HRC*;
б – V = 35 м/с; S = 1,5 м/мин; t = 0,03 мм/дв. ход; $i_{пр}$ = 0,25 А/см^2; $i_{тр}$ = 6,25 А/см^2; R_a = 0,175 мкм; 65 *HRC*

Fig. 2. Microstructure of the sample surface after combined electric diamond grinding:

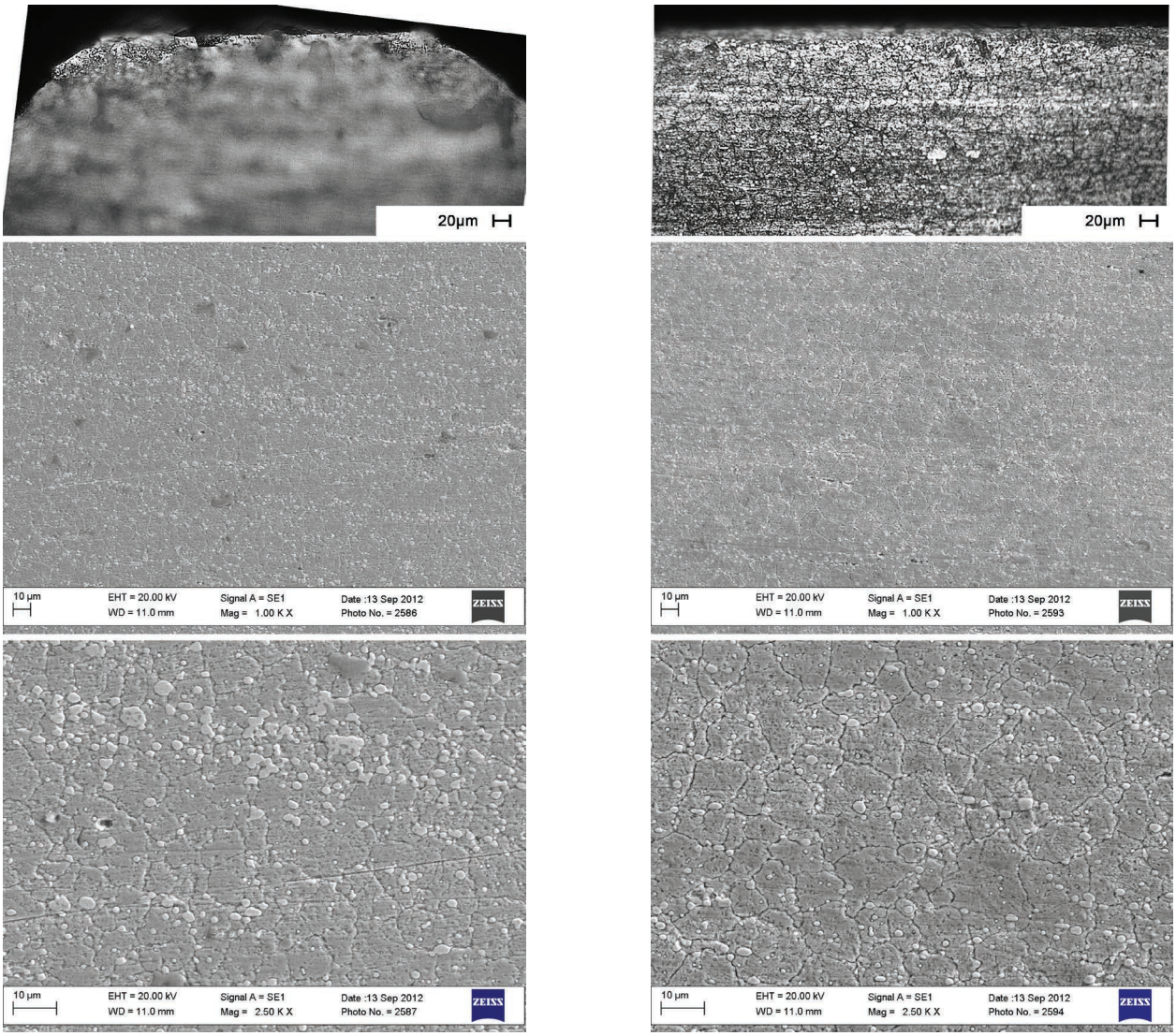
а – V = 35 m/s; S = 1.5 m/min; t = 0.01 mm/doub. st; i_{ed} = 0.25 A/cm^2; i_{et} = 6.25 A/cm^2; R_a = 0.061 µm; 56…58 *HRC*;
б – V = 35 m/s; S = 1.5 m/min; t = 0.03 mm/doub. st; i_{ed} = 0.25 A/cm^2; i_{et} = 6.25 A/cm^2; R_a = 0.175 µm; 65 *HRC*

Заключение

Исследование влияния технологических режимов комбинированной электроалмазной обработки на характер изменений поверхностного слоя инструмента из быстрорежущей стали позволило сформулировать следующие выводы.

1. Наилучшим сочетанием режимов, при обработке на которых отсутствуют сигнальные признаки дефектного слоя и сохраняется высокое качество металлорежущего инструмента из быстрорежущей стали, следует считать: V = 35 м/с; S = 1,5 м/мин; t = 0,02 мм/дв. ход; $i_{пр}$ = 0,25 А/см^2; $i_{тр}$ = 6,25 А/см^2.

2. Отмечено, что при обработке на рекомендуемых нами рациональных режимах дефекты на обработанной поверхности минимальны, режущая кромка имеет сколы порядка 3...5 мкм, размер карбидных частиц составляет, в среднем 2...5 мкм. Шероховатость передней поверхности в среднем на 30...40 % меньше и составляет 0,070 мкм. Достигаемая при этом твердость 67…70 *HRC* на 6 % превышает исходную, так как обрабатываемая поверхность ослабляется



а *б*

Рис. 3. Состояние поверхности после комбинированной электроалмазной обработки:

а – V = 17 м/с; S = 1,5 м/мин; t = 0,02 мм/дв. ход; $i_{пр}$ = 0,25 А/см^2; $i_{тр}$ = 6,25 А/см^2; R_a = 0,141 мкм; 60…63 *HRC*;
б – V = 35 м/с; S = 1,5 м/мин; t = 0,02 мм/дв. ход; $i_{пр}$ = 0,17 А/см^2; $i_{тр}$ = 6,25 А/см^2; R_a = 0,070 мкм; 67…70 *HRC*

Fig. 3. Microstructure of the sample surface after combined electric diamond grinding:

а – V = 17 m/s; S = 1.5 m/min; t = 0.02 mm/doub.st; i_{ed} = 0.25 A/cm^2; i_{et} = 6.25 A/cm^2; R_a = 0.141 μm; 60…63 *HRC*;
б – V = 35 m/s; S = 1.5 m/min; t = 0.02 mm/doub.st; i_{ed} = 0.17 A/cm^2; i_{et} = 6.25 A/cm^2; R_a = 0.070 μm; 67…70 *HRC*

электрохимическим процессом и без усилий срезается самозатачиваемыми в результате непрерывной правки круга алмазными зернами, которые вызывают напряжения сжатия в поверхностном слое.

Список литературы

1. *Янюшкин А.С., Шоркин В.С.* Контактные процессы при электроалмазном шлифовании. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 230 с. – ISBN 5-94275-092-0.

2. *Popov V.Y., Yanyushkin A.S.* Adhesion-diffusion interaction of contact surfaces with the treatment diamond grinding wheels // Eastern European Scientific Journal. – 2014. – N 2. – P. 301–310. – doi: 10.12851/EESJ201404ART46.

3. *Badger J., Murphy S., O'Donnell G.E.* Loading in grinding: chemical reactions in steels and stainless steels // Advanced Materials Research. – 2010. – Vol. 126–128. – P. 597–602. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.126-128.597.

4. Handbook of machining with grinding wheels / I.D. Marinescu, M.P. Hitchiner, E. Uhlmann, W.B. Rowe, I. Inasaki. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 724 p. – ISBN: 978-1482206685.

5. *Grzesik W., Kruszynski B., Ruszaj A.* Surface integrity of machined surfaces // Surface integrity in machining / ed. by J. Davim. – London: Springer, 2010. – P. 143–179.

6. The impact of grinding on surface integrity of powder-metallurgy high-speed steel (S390) / S.H. Mu, S.L. Cao, X.L. Zhang, Z. Xiang, X. Mao // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 442. – P. 52–57. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.442.52.

7. Influence of pulsed magnetic treatment on microstructures and mechanical properties of M42 high speed steel tool / L. Ma, Z. Liang, X. Wang, W. Zhao, L. Jiao, Z. Liu // Acta Metall. – 2015. – Vol. 51 (3). – P. 307–314. – doi: 10.11900/0412.1961.2014.00295.

8. *Chaus A.S.* Structural and phase changes in carbides of the high-speed steel upon heat treatment // The Physics of Metals and Metallography. – 2016. – Vol. 117 (7). – P. 684–692. – doi: 10.1134/S0031918X16070048.

9. Morphology and microstructure of M_2C carbide formed at different cooling rates in AISI M2 high speed steel / X.F. Zhou, F. Fang, F. Li, J.Q. Jiang // Journal of Materials Science. – 2011. – Vol. 46 (5). – P. 1196–1202. – doi: 10.1007/s10853-010-4895-4.

10. Microstructural characterization of carbides in a cast high-speed steel using different metallographic techniques / S. Gümüş, S.H. Atapek, S. Polat, E. Erisir, A. Alkan // Praktische Metallographie. – 2012. – Vol. 49 (12). – P. 767–781. – doi: 10.3139/147.110202.

11. Particularities of grinding high speed steel punching tools / P. Krajnik, R. Drazumeric, J. Badger, J. Kopac, C. Nicolescu // Advanced Materials Research. – 2011. – Vol. 325. – P. 177–182. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.325.177.

12. *Lao Q.C., Shang Z.Y.* Experimental study on cooling-air grinding of high speed steel // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 288. – P. 308–312. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.288.308.

13. Morphology, microstructure and decomposition behavior of M_2C carbides in high speed steel / X. Zhou, D. Liu, W.-l. Zhu, F. Fang, Y.-y. Tu, J.-g. Jiang // Journal of Iron and Steel Research. – 2017. – Vol. 24 (1). – P. 43–49. – doi: 10.1016/S1006-706X(17)30007-9.

14. Phase transformation study of a high speed steel powder by high temperature X-ray diffraction / M. Wiessner, M. Leisch, H. Emminger, A. Kulmburg // Materials Characterization. – 2008. – Vol. 59 (7). – P. 937–943. – doi: 10.1016/j.matchar.2007.08.002.

15. *Bosheh S.S., Mativenga P.* White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speeds using CBN tooling // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2006. – Vol. 46 (2). – P. 225–233. – doi: 10.1016/j.ijmachtools.2005.04.009.

16. Simulation study on high-speed grinding with single CBN grain / J. Zhang, Q. Wang, J. Guo, Y. Wang // Diamond and Abrasives Engineering. – 2017. – Vool. 37 (4). – P. 1–5. – doi: 10.13394/j.cnki.jgszz.2017.4.0001.

17. *Ungureanu C., Ibănescu R.* Experimental investigation on AECM of high speed steel // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 657. – P. 221–225. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.657.221.

18. *Vijayan K., Gouthaman N., Rathinam T.* A study on the parameters in hard turning of high speed steel // International Journal of Materials Forming and Machining Processes. – 2018. – Vol. 5 (2). – P. 1–12. – doi: 10.4018/IJMFMP.2018070101.

19. Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов / А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, В.Ю. Скиба, В.А. Гартфельдер, Л.С. Секлетина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2017. – № 3 (76). – С. 17–27. – doi: 10.17212/1994-6309-2017-3-17-27.

20. *Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A.* Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – P. 01002. – doi: 10.1051/matecconf/201712901002.

21. *Медведева О.И., Янюшкин А.С., Попов В.Ю.* Влияние параметров электроалмазного шлифования твердых сплавов на величину растворенного слоя // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 3 (64). – С. 68–75.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2019 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science. 2019 vol. 21 no. 1 pp. 6–15
ISSN: 1994-6309 (print) / 2541-819X (online)
DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-6-15

Obrabotka metallov -
Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

The Study of the Surface Quality of High-Speed Steel Tool after the Combined Electric Diamond Grinding

Vyacheslav Popov [a, *], *Daniil Rychkov* [b], *Pavel Arkhipov* [c], *Alexey Kuznetsov* [d], *Egor Losev* [e], *Nikolay Selin* [f]

Bratsk State University, 40 Makarenko st, Bratsk, 665709, Russian Federation

[a] http://orcid.org/0000-0001-6299-9161, berkutoff@rambler.ru, [b] http://orcid.org/0000-0002-9323-7693, dielektrik84@mail.ru,
[c] http://orcid.org/0000-0003-0390-8367, pavded@yandex.ru, [d] http://orcid.org/0000-0001-7095-3075, predalex@yandex.ru,
[e] http://orcid.org/ 0000-0002-1530-3739, _elk_@mail.ru, [f] http://orcid.org/0000-0001-5041-826X, selin138@yandex.ru

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 13 September 2018
Revised: 28 November 2018
Accepted: 10 December 2018
Available online: 15 March 2019

Keywords:
M2
High-speed steel
Metal cutting tools
Surface quality
Diamond grinding wheels
Combined electric diamond grinding

ABSTRACT

Purpose. The use of diamond grinding wheels on a metal bond for grinding high-speed steels is recommended by most literature sources using electrophysical, electrochemical, or combined processing methods. At the same time, it is recommended to limit the field of application to the final circular grinding, due to the appearance of a defective layer on the processed surface. Its signal features include systematic chips along the cutting edge and microchips on the front surface of the samples, the size of carbide particles, individual craters or holes in the front surface, a decrease in hardness and an increase in the height of asperity profile. This paper is devoted to the determination of such technological regimes of the combined electric diamond processing of tools made of high-speed steel M2, when grinding, on which there would be no signal signs of the defect layer. The solution to this problem will allow expanding the scope of application of diamond grinding wheels on a metal bond when processing tool steels. The subject of research is the condition of the surface and cutting edge of high-speed plates of metal-cutting tools, depending on the technological modes of the combined electric diamond grinding (CEDG). The purpose of the work is to study the influence of the technological modes of CEDG on the nature of changes to the surface layer of high-speed steel tools. **Materials and methods.** The grinding operation is carried out on a universal sharpening machine, model 3D642E, modernized under the technology of CEDG. The following grinding diamond cup on a metal bond is used: AC6 80/63 M1 100%. The electrical parameters, studied in this range, are: i_{pr} = 0.17…0.25 A/cm^2; i_{tr} = 3.125…9.375 A/cm^2, respectively. Mechanical parameters, studied in this range, are: V = 17…35 m/s; t = 0.01…0.03 mm/doub.st; S = 1.5 m/min. Grinding is performed using standard electrolyte: $NaNO_3$ – 3 %, $NaNO_2$ – 1 %, Na_2CO_3 – 0.5 %, and the rest is water. Microstructural studies are performed on microsections of the samples after etching. The surface quality is studied using scanning electron microscopy (Carl Zeiss EVO50 XVP); light microscopy (METAM LV-42); roughness is determined using a profilograph-profilometer (Abris-PM7); HRC hardness is determined using a hardness tester (600 MRD). **Results and discussion.** It has been established that the best combination of technological modes, which guarantee the absence of signal signs of a defective layer and the high quality of metal-cutting tools made of high-speed steel is maintained, are the following: V = 35 m/s; S = 1.5 m/min; t = 0.02 mm/doub.st; i_{pr} = 0.25 A/cm^2; i_{tr} = 6.25 A/cm^2. It is found that when processing in the recommended modes, the cutting edge is even with shallow notches, the size of carbide particles is, on average, 2…5 μm. The established modes make it possible to obtain a roughness of the front surface R_a = 0.070 μm. It is found that the obtained hardness is 6 % higher than the initial hardness and is 67…70 *HRC*.

For citation: Popov V.Yu., Rychkov D.A., Arkhipov P.V., Kuznetsov A.M., Losev E.D., Selin N.V. The study of the surface quality of high-speed steel tool after the combined electric diamond grinding. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 6–15. doi: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-6-15. (In Russian).

References

1. Yanyushkin A.S., Shorkin V.S. *Kontaktnye protsessy pri elektroalmaznom shlifovanii* [Contact processes in electro-diamond grinding]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2004. 230 c. ISBN 5-94275-092-0.

*** Corresponding author**
Popov Vyacheslav Yu., Ph.D. (Engineering), Associate Professor
Bratsk State University,
40 Makarenko st.,
665709, Bratsk, Russian Federation
Tel.: 8 (950) 107-20-16, **e-mail:** berkutoff@rambler.ru

2. Popov V.Y., Yanyushkin A.S. Adhesion-diffusion interaction of contact surfaces with the treatment diamond grinding wheels. *Eastern European Scientific Journal*, 2014, no. 2, pp. 301–310. doi: 10.12851/EESJ201404ART46.

3. Badger J., Murphy S., O'Donnell G.E. Loading in grinding: chemical reactions in steels and stainless steels. *Advanced Materials Research*, 2010, no. 126–128, pp. 597–602. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.126-128.597.

4. Marinescu I.D., Hitchiner M.P., Uhlmann E., Rowe W.B., Inasaki. *Handbook of machining with grinding wheels*. Boca Raton, CRC Press, 2016. 724 p. ISBN 978-1482206685.

5. Grzesik W., Kruszynski B., Ruszaj A. surface integrity of machined surfaces. *Surface integrity in machining*. Ed. by J. Davim. London, Springer, 2010, pp. 143–179.

6. Mu S.H., Cao S.L., Zhang X.L., Xiang Z., Mao X. The impact of grinding on surface integrity of powder-metallurgy high-speed steel (S390). *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 442, pp. 52–57. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.442.52.

7. Ma L., Liang Z., Wang X., Zhao W., Jiao L., Liu Z. Influence of pulsed magnetic treatment on microstructures and mechanical properties of M42 high speed steel tool. *Acta Metall*, 2015, vol. 51 (3), pp. 307–314. doi: 10.11900/0412.1961.2014.00295.

8. Chaus A.S. Structural and phase changes in carbides of the high-speed steel upon heat treatment. *The Physics of Metals and Metallography*, 2016, vol. 117 (7), pp. 684–692. doi: 10.1134/S0031918X16070048.

9. Zhou X.F., Fang F., Li F., Jiang J.Q. Morphology and microstructure of M_2C carbide formed at different cooling rates in AISI M2 high speed steel. *Journal of Materials Science*, 2011, vol. 46 (5), pp. 1196–1202. doi: 10.1007/s10853-010-4895-4.

10. Gümüş S., Atapek S.H., Polat S., Erisir E., Alkan A. Microstructural characterization of carbides in a cast high-speed steel using different metallographic techniques. *Praktische Metallographie*, 2012, vol. 49 (12), pp. 767–781. doi: 10.3139/147.110202.

11. Krajnik P., Drazumeric R., Badger J., Kopac J., Nicolescu C. Particularities of grinding high speed steel punching tools. *Advanced Materials Research*, 2011, vol. 325, pp. 177–182. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.325.177.

12. Lao Q.C., Shang Z.Y. Experimental study on cooling-air grinding of high speed steel. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 288, pp. 308–312. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.288.308.

13. Zhou X., Liu D., Zhu W.-l., Fang F., Tu Y.-y., Jiang J.-q. Morphology, microstructure and decomposition behavior of M_2C carbides in high speed steel. *Journal of Iron and Steel Research*, 2017, vol. 24 (1), pp. 43–49. doi: 10.1016/S1006-706X(17)30007-9.

14. Wiessner M., Leisch M., Emminger H., Kulmburg A. Phase transformation study of a high speed steel powder by high temperature X-ray diffraction. *Materials Characterization*, 2008, vol. 59 (7), pp. 937–943. doi: 10.1016/j.matchar.2007.08.002.

15. Bosheh S.S., Mativenga P. White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speeds using CBN tooling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006, vol. 46 (2), pp. 225–233. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2005.04.009.

16. Zhang J., Wang Q., Guo J., Wang Y. Simulation study on high-speed grinding with single CBN grain. *Diamond and Abrasives Engineering*, 2017, vol. 37 (4), pp. 1–5. doi: 10.13394/j.cnki.jgszz.2017.4.0001.

17. Ungureanu C., Ibănescu R. Experimental investigation on AECM of high speed steel. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 657, pp. 221–225. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.657.221.

18. Vijayan K., Gouthaman N., Rathinam T. A study on the parameters in hard turning of high speed steel. *International Journal of Materials Forming and Machining Processes*, 2018, vol. 5 (2), pp. 1–12. doi: 10.4018/IJMFMP.2018070101.

19. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Skeeba V.Yu., Gartfelder V.A., Sekletina L.S. Povyshenie effektivnosti almaznogo instrumenta na metallicheskoi svyazke pri shlifovanii vysokoprochnykh materialov [Enhancing the effectiveness of the diamond metal bond instrument when grinding high-strength materials]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2017, no. 3 (76), pp. 17–27. doi: 10.17212/1994-6309-2017-3-17-27.

20. Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A. Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, p. 01002. doi: 10.1051/matecconf/201712901002.

21. Medvedeva O.I., Yanyushkin A.S., Popov V.Yu. Vliyanie parametrov elektroalmaznogo shlifovaniya tverdykh splavov na velichinu rastvorennogo sloya [An influence of hard alloys electro-diamond grinding parameters on the amount of dissolved material]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2014, no. 3 (64), pp. 68–75.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2019 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).