

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ ДИСКРЕТНОГО ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Е.А. Чекалова, А.В. Журавлев

*В настоящей работе проведены сравнительные исследования производительности переточенных вороненых метчиков из быстрорежущей стали Р6М5К5 с последующим диффузионным дискретным упрочнением в сравнении с переточенными воронеными метчиками из быстрорежущей стали Р6М5К5 с последующим нанесением воронения. Установлено, что технология дискретного оксидирования позволяет повысить производительность сложнопрофильного режущего инструмента на 80–85 % по сравнению с технологией воронения. Применяются и другие способы нанесения износостойких покрытий различного химического состава, в том числе на основе оксидов металлов.*

**Ключевые слова:** сложнопрофильный инструмент, быстрорежущие стали, оксидирование, микроструктура, производительность, воронение.

## INCREASING THE PRODUCTIVITY OF A COMPLEX PROFILE TOOL FROM HIGH-SPEED STEELS DUE TO DISCRETE DIFFUSION HARDENING

E.A. Chekalova, A.V. Zhuravlev

*Comparative studies were carried out on the performance of regrind burnished taps from R6M5K5 high-speed steel followed by discrete diffusion hardening in comparison with regrind burned taps from R6M5K5 high-speed steel followed by application of burnishing. It has been established that the discrete oxidation technology allows to increase the productivity of a sophisticated cutting tool by 80–85 % compared to the burnishing technology.*

**Keywords:** complex-profile tool, high-speed steels, oxidation, microstructure, productivity, wear resistance.

### Введение

Работоспособность сложнопрофильного инструмента определяется сложными, стохастично протекающими процессами контактного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов и может быть повышена за счет изменения поверхностных свойств инструментального материала, при которых контактные площадки инструментального материала будут наиболее эффективно сопротивляться адгезионно-усталостному изнашиванию. При этом инструмент должен обладать достаточным запасом прочности при сжатии и твердостью [1–4].

Тенденция совершенствования режущего инструмента, изготовленного традиционными методами нанесения покрытий, позволяет

утверждать, что эти методы в значительной степени уже исчерпаны, особенно в связи с невозможностью сбалансировать свойства, связанные с твердостью и теплостойкостью с одной стороны, и вязкостью и прочностью – с другой, поскольку причинами разрушения являются высокие контактные силовые и температурные нагрузки. Одной из причин преждевременного разрушения покрытия является возникновение критических напряжений на границе раздела «покрытие – основной материал» при термомеханическом нагружении контактных площадок инструмента. Эти напряжения зависят от разницы теплофизических и физико-механических свойств материалов износостойкого покрытия и инструмента, а также собственных микронапряжений в инструментальном материале [5–8].

В ходе механической обработки на начальной стадии происходит накопление упругих искажений кристаллической решетки, которые приводят к разрушению покрытия в микроскопическом объеме, т.е. происходит квазихрупкое разрушение материала с образованием микротрещин, которое далее развивается до макротрещин, приводя к разрушению материала, характерному для циклического нагружения.

Одной из мотиваций создания дискретных покрытий является возможность использования эффекта торможения и даже остановки образовавшейся в процессе эксплуатации локальной трещины. Сетчатая структура препятствует распространению трещин, снижает концентрацию напряжений на границе «покрытие – инструментальный материал», компенсируя разницу коэффициентов термического расширения и снижая модули упругости покрытия и материала инструмента [9, 10].

Таким образом, режущий инструмент с дискретным диффузионным сетчатым покрытием характеризуется увеличением запаса пластичности при сохранении прочности и твердости, что снижает склонность к потере формоустойчивости и упругим прогибам при приложении термомеханических нагрузок.

Целью работы является повышение производительности метчика из быстрорежущей стали Р6М5К5 за счет дискретного диффузионного упрочнения.

### Методика проведения исследований

Дискретное диффузионное упрочнение осуществляли на оборудовании, которое состоит из устройства ионизированного воздуха «УИВ-1» с униполярной положительной короной, рабочей станины, крепежных элементов, электромеханических узлов, электропроводки, воздухопровода, а также регулятора давления и гибких подводок (рис. 1). Дополнительно к оборудованию подключались монитор, компьютер, блок драйверов и системное обеспечение.

Устройство «УИВ-1» – это сопло-ионизатор, совмещающее в себе функции направления воздушного потока и его активации положительными ионами.

Инструмент закрепляют в патрон шагового двигателя 2 с блоком управления шагового двигателя (см. рис. 1). Затем выставляют заданную частоту его вращения и заданную подачу линейного перемещения, согласно компьютерной программе. Обрабатываемый инструмент может совершать как вращательное, так и возвратно-поступательное движение.

Технологический процесс воронения или химического оксидирования осуществлялся на предприятии по стандартной технологии. Определение механических свойств покрытия выполнялось кинетическим индентированием, согласно ГОСТ 9450-76, на микротвердомере

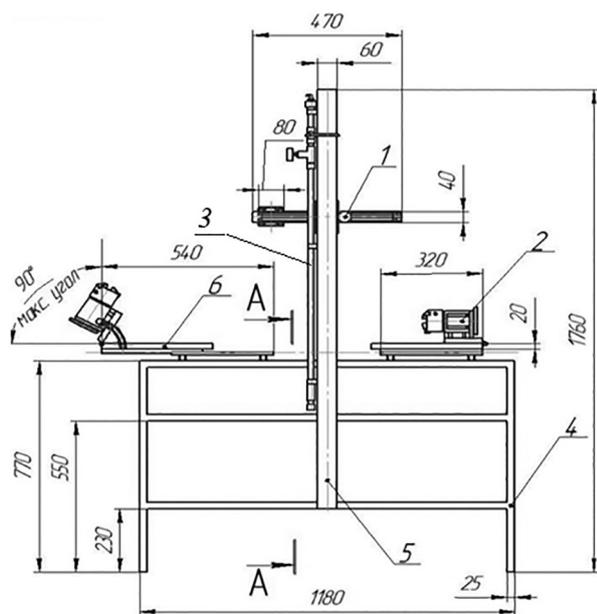


Рис. 1. Схема и фото оборудования с механизмом крепления режущего инструмента для его упрочнения установкой «УИВ»:

- 1 – модуль линейного перемещения; 2 – шаговый двигатель; 3 – воздуховод;  
4 – корпус; 5 – крепежная стойка; 6 – направляющая

ПМТ-3М. Исследования проводились на прутковом токарном автомате Ray Feng RC-32G.

Объектами исследований служили переточенные вороненые метчики из быстрорежущей стали Р6М5К5 с последующим нанесением воронения и переточенные вороненые метчики из быстрорежущей стали Р6М5К5 с последующим дискретным диффузионным оксидированием (рис. 2). В качестве обрабатываемой детали использовалась гайка из стали 38ХГС. Критерием затупления служил износ по задней поверхности зуба инструмента.

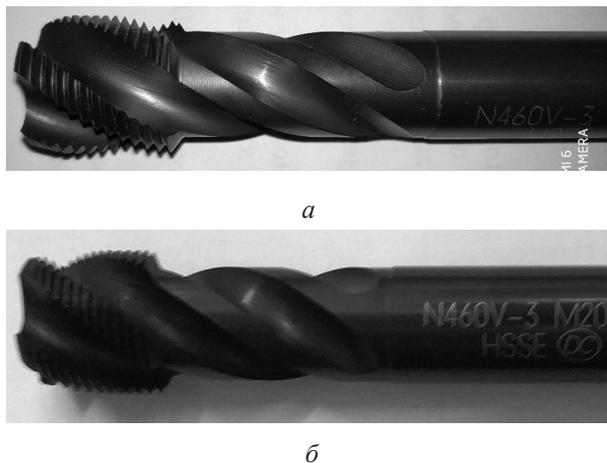


Рис. 2. Метчик из стали Р6М5К5:

а – после воронения; б – после дискретного диффузионного оксидирования

### Результаты исследования

Дискретное оксидирование позволяет получить нестехиометрическую структуру, которая в дальнейшем переходит в стехиометрическую, создавая на поверхности тонкую оксидную пленку [3, 4]. Во время обработки поверхности положительным коронным разрядом электроны вызывают разрушение длинных цепей, приводящее к увеличению свободных связей в структуре металла. Свободные связи образуют карбонильные группы с высокой поверхностной энергией, создаваемые электрическим разрядом. За счет своей дискретности на поверхности формируется тонкий слой с переменным напряженным состоянием. Кислород, внедряясь в кристаллическую решетку металла, образует твердые растворы, повышая твердость и прочность инструментального материала, но при этом не изменяя структуру субстрата. В результате дискретного оксидирования быстрорежущей стали на поверхности формируется тонкая оксидная пленка поликристаллической структуры с размером зерна 4 мкм (рис. 3).

Металлографические исследования показали, что упрочненный слой после дискретного оксидирования имеет поликристаллическую структуру с размером зерна 4 мкм. Микрорентгеноспектральным анализом установлено существенное уменьшение содержания Fe в поверхностном слое, что обусловлено протеканием процесса окисления и образования оксидов FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Для исследования кинетики изнашивания переточенных вороненых метчиков из быстрорежущей стали Р6М5К5 с последующим диффузионным дискретным упрочнением были проведены производственные испытания в сравнении с переточенными воронеными метчиками из быстрорежущей стали Р6М5К5 с последующим нанесением воронения при нарезании внутренней резьбы гайки из стали 38ХГС.

Сравнительный анализ результатов испытаний метчиков показал, что метчики с дискретным упрочнением имеют минимальную износостойкость, что позволяет обрабатывать в 1,9 раза больше деталей по сравнению с коли-

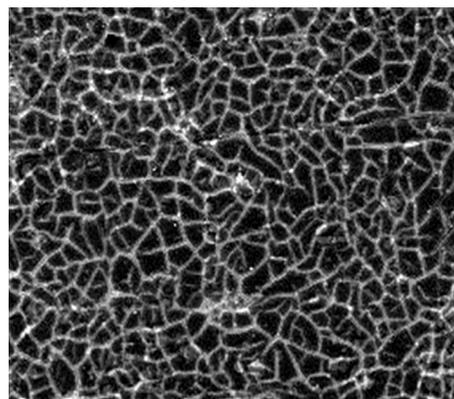


Рис. 3. Макроструктура поверхности образца из стали Р6М5К5 после дискретного оксидирования

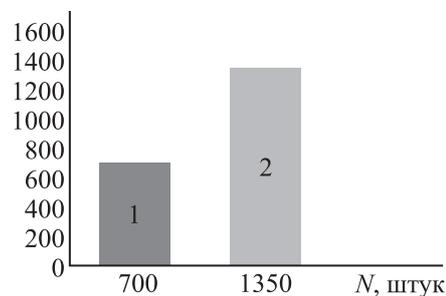


Рис. 4. Работоспособность быстрорежущих переточенных метчиков при нарезании внутренней резьбы гайки из стали 38ХГС при скорости обработки  $v = 125$  м/мин с шагом резьбы  $P = 1,75$  мм:  
1 – метчик с воронением; 2 – метчик с дискретным упрочнением

чеством деталей  $N$ , обработанных с помощью вороненых метчиков (рис. 4). Твердость после дискретного упрочнения HRC 63-65, что на 32 % больше, чем после воронения HRC 60-62.

### Выводы

1. В результате исследований установлено, что дискретное диффузионное покрытие снижает термомеханические нагрузки на контактные площадки инструмента, что чрезвычайно эффективно тормозит изнашивание режущего инструмента.

2. Установлено, что технология дискретного оксидирования позволяет повысить производительность изготовления деталей режущим инструментом на 80–85 % по сравнению с технологией воронения.

### Заключение

Таким образом, режущий инструмент с диффузионным дискретным покрытием позволяет увеличить производительность обработки деталей.

Кроме того, структура дискретного диффузионного упрочнения служит интегральной характеристикой, способной препятствовать распространению трещины в процессе эксплуатации на границе раздела «инструментальный материал – покрытие».

### Список литературы

1. *Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н.* Химико-термическая обработка металлов: учеб. пособ. для вузов. М.: Высшая школа, 1985. – 256 с.
2. *Верещака А.С.* Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. – 330 с.
3. Ионная химико-термическая обработка сплавов / *Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин,*

*Ю.С. Елисеев, Т.А. Панайоти.* М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400 с.

4. *Табаков В.П.* Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.
5. *Чекалова Е.А., Абраимов Н.В.* Повышение износостойкости быстрорежущего инструмента путем нанесения локального диффузионного сетчатого покрытия // *Электроталлургия.* 2015. № 8. С. 36–42.
6. О возможности получения наноструктурированных покрытий на стальных изделиях модифицированием поверхности / *Л.Г. Петрова, И.С. Белашова, В.А. Александров, П.Е. Демин, А.А. Брежнев* // *Вестник московского авиационного института.* 2014. Т. 21. № 2. С. 75–82.
7. *Чудина О.В., Брежнев А.А.* Поверхностное легирование углеродистых инструментальных сталей с использованием лазерного нагрева // *Технология металлов.* 2014. № 2. С. 19–24.
8. *Белашова И.С., Шаишков Д.П.* Изменение механических и тепловых характеристик инструментальных сталей при лазерном легировании // *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2007. № 4. С. 39–43.
9. *Чекалова Е.А.* Повышение долговечности режущего инструмента и тяжело нагруженных деталей методом нанесения диффузионного сетчатого покрытия: монография. М.: Изд-во Университета машиностроения, 2014. – 127 п.с.
10. Патент 2548835 РФ на изобретение. МПК С23С8/36. *Чекалова Е.А., Чекалов П.Д., Соломатина Р.Д.* Способ формирования износостойкого покрытия на поверхности металлической детали: опубл. 20.04.2015 г.

#### ЧЕКАЛОВА Елена Анатольевна

E-mail: [alenka.2019@inbox.ru](mailto:alenka.2019@inbox.ru)  
Тел.: (916) 102-22-94

Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» Московского политехнического университета. Сфера научных интересов: теоретические и экспериментальные исследования технологии упрочнения инструментальных и конструкционных материалов. Автор 57 публикаций.

#### ЖУРАВЛЕВ Андрей Вячеславович

E-mail: [andrei-3x@mail.ru](mailto:andrei-3x@mail.ru)  
Тел.: (903) 576-81-73

Инженер кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» Московского политехнического университета. Сфера научных интересов: экспериментальные исследования технологии упрочнения инструментальных и конструкционных материалов, исследования автоматизации технологических процессов упрочнения. Автор двух научных публикаций.