

УДК 621.793.7

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ

<sup>1</sup>Пронин А.И., <sup>2</sup>Романов А.Д., <sup>2</sup>Мыльников В.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»,  
Комсомольск-на-Амуре, e-mail: alex.pronin2011@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
Нижегород, e-mail: mrmynikov@mail.ru

В статье рассматриваются технологические принципы повышения работоспособности концевых фрез выполненных из быстрорежущей стали Р6М5К5 путем упрочнения режущей части концевых фрез ионным азотированием. Для оптимизации режимов азотирования было произведено испытание на стойкость партии фрез. Выбран оптимальный режим упрочнения, обеспечивающий наибольшую стойкость концевых фрез при обработке титанового сплава VT20. Изложен теоретический анализ результатов испытаний работоспособности упрочненного режущего инструмента.

**Ключевые слова:** быстрорежущая сталь, титановый сплав, упрочнение инструмента, износ, стойкость, ионное азотирование, оптимальная скорость резания, концевая фреза, износостойкое покрытие, дислокации, микротрещины

## INFLUENCE OF THE MODE OF IONIC NITRIDING ON OPERABILITY OF TRAILER MILLS

<sup>1</sup>Pronin A.I., <sup>2</sup>Romanov A.D., <sup>2</sup>Mylnikov V.V.

<sup>1</sup>Komsomolsk-on-Amur state technical University, Komsomolsk-on-Amur,  
e-mail: alex.pronin2011@mail.ru;

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod,  
e-mail: mrmynikov@mail.ru

In the article the technological principles improve performance end mills made of high speed steel R6M5K5 by hardening of the cutting end mills ion nitriding. For optimization of nitriding was then tested for resistance party cutters. The optimum hardening mode that provides the greatest resistance of end mills in the processing of titanium alloy VT20. Theoretical analysis of the test results reinforced cutting tool performance.

**Keywords:** fast-cutting steel, titanic alloy, hardening of the tool, wearing, resistance, ionic nitriding, optimum speed of cutting, end milling cutter, wear-resistant covering, dislocation, microcracks

Проблеме повышения производительности процессов чистовой и отделочной обработки заготовок лезвийными инструментами посвящено большое количество исследований. В этой связи к режущему инструменту предъявляются высокие требования по прочности, безотказности его работы в течение заданного периода времени. Повышение производительности труда и качества изготавливаемых изделий остается не решенной национальной и международной научно-технической проблемой. Большая роль в решении этой проблемы отводится авиастроению, машиностроению и металлообработке [7–8, 11].

Проблема обрабатываемости титановых сплавов привлекла внимание достаточно большого количества исследователей, как в нашей стране, так и за рубежом. Достаточно сказать, что широкое применение сплавов титана вместо алюминиевых и магниевых сплавов привело в авиационной промышленности к увеличению трудоемкости механической обработки в настоящее время примерно в 10 раз, а потребность в режущем

инструменте возросла в 10...15 раз. Проблема обрабатываемости титановых сплавов встает еще более остро в связи с широким применением для их обработки станков с числовым программным управлением.

Наибольшей сложностью отличается черновая обработка заготовок покрытых окалиной или коркой, обработка отверстий малого диаметра, нарезание резьбы и финишная обработка [9]. Трудности финишных операций заключаются в обеспечении производительной обработки наряду с достижением необходимого качества поверхностного слоя деталей, при котором не снижалась бы прочность и эксплуатационные характеристики [12–13].

Однако до настоящего времени причины низкой обрабатываемости сплавов на основе титана продолжают оставаться мало изученными. Исследования ряда авторов установили, что в зоне резания титановых сплавов возникают высокие температуры резания, значительно выше температуры, возникающей при обработке сталей [3, 10].

Характерной особенностью для титановых сплавов является исключительно малая величина коэффициента усадки стружки. Многие исследователи в своих работах отмечают и “отрицательную усадку” стружки, объясняя это явление либо газонасыщением, либо малой пластичностью титановых сплавов, приводящей к резко сегментной стружке. В зоне резания титановых сплавов из-за низкой их теплопроводности возникает высокая температура. Это обстоятельство усугубляется наличием малой усадки стружки, это ведет к увеличению скорости движения стружки по передней поверхности инструмента, росту работы трения, а вместе с тем к увеличению количества тепла, выделяющегося на поверхности контакта [6].

Среди основных причин низкой обрабатываемости сплавов титана следует отметить повышенную тенденцию свариваемости стружки с режущим инструментом. Схватывание стружки с инструментом приводит к тому, что при повторном врезании режущего инструмента от него отделяются частицы инструментального материала [4-5].

Отметим еще одну характерную особенность титановых сплавов – исключительно высокую активность при повышенных температурах к кислороду и азоту воздуха. Взаимодействие титана в процессе резания с кислородом и азотом воздуха приводит к охрупчиванию срезаемого и остающегося слоев материала. Упрочнение слоев приводит к более интенсивному износу режущего инструмента.

Механизм влияния газов в титановых сплавах на их обрабатываемость и усиленный износ инструмента рассматривался в ряде работ [6, 2, 14]. Повышение содержания газов приводит к понижению пластичности сплава и за счет этого к повышению силы резания и давления на переднюю поверхность режущего инструмента, возникновению вибрации.

Все выше сказанное вызывает необходимость исследования методов упрочнения режущей части инструмента, что позволило бы повысить стойкость инструмента.

Перспективными направлениями повышения износостойкости инструментальных материалов являются освоение и разработка новых технологических методов упрочнения его рабочих поверхностей с помощью нанесения износостойких покрытий. Эти покрытия, образуя износостойкую композицию и обладая высокой твердостью, износостойкостью, энергоемкостью, химической стабильностью, малой теплопроводностью, способствуют повышению работоспособности режущего инструмента [4, 1].

При оптимизации режимов резания задачами исследований было выявление составляющих режимов резания на стойкость инструмента – целесообразность повышения режимов резания.

Для проведения испытаний на стойкость была использована партия концевых фрез из быстрорежущей стали Р6М5К5 (ГОСТ 23248-78, Тип 2, с крупным зубом, 14 x 132 x 53), применяемых для обработки деталей из высокопрочных сталей и титановых сплавов на станках с программным управлением.

Были произведены различные виды ионного азотирования с целью упрочнения режущей части фрез.

Для оптимизации режимов азотирования было произведено испытание партии фрез. Постоянными параметрами при ионном азотировании были: давление в рабочей камере установки – 0,13 Па; напряжение на подложке (инструменте) и аноде – 120 В; упрочнение производилось в режиме несамостоятельного разряда (переключающегося с помощью датчика с анода на подложку при достижении инструментом заданной температуры). Значение режимов ионного азотирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы ионного азотирования

Номер режима	Ток подаваемый на подложку $I_n$ , А	Ток подаваемый на анод $I_a$ , А	Температура нагрева инструмента $t$ , °С
1	80	100	450
2	60	80	450
3	50	70	450
4	70	90	300
5	70	90	400
6	70	90	500
7	70	90	550

Для выявления оптимальных режимов ионного азотирования проводились испытания на стойкость упрочненного режущего инструмента. Испытания проводились при фрезеровании титанового сплава BT20 на станке 6M13ГН-1Н (вертикально-фрезерный с ЧПУ). Режимы резания: скорость – 27,7 м/мин, подача – 0,05 мм/зуб, глубина – 3 мм, ширина фрезерования – 20 мм, СОТС: P3-СОЖ8 ТУ 38-101258-74. Критерием работоспособности было время работы инструмента до износа по задней поверхности – 0,3 мм. Результаты испытания на стойкость приведены в табл. 2.

создания энергоемких структур на поверхности инструмента.

Азотирование инструмента улучшает поверхностный слой инструмента, повышая его сопротивляемость пластическим деформациям, развитию трещин и рекристаллизационных процессов. Ионное азотирование металлорежущего инструмента позволяет повысить его износостойкость практически не ухудшая прочностных свойств.

Работоспособность инструмента из быстрорежущих сталей при достаточно высоких скоростях резания определяется способностью быстрорежущей стали со-

Таблица 2

Влияние режима ионного азотирования на работоспособность инструмента

№ п/п	Инструментальный материал	Режим упрочнения	Стойкость инструмента T, мин	Коэффициент повышения стойкости
1	P6M5K5	базовый	36	1
2	P6M5K5	1	46	1,3
3	P6M5K5	2	55	1,5
4	P6M5K5	3	38	1,05
5	P6M5K5	4	24	0,66
6	P6M5K5	5	46	1,3
7	P6M5K5	6	67	1,86
8	P6M5K5	7	45	1,25

Результаты испытаний показали, что самым оптимальным при обработке титанового сплава BT20, является режим упрочнения инструмента ионным азотированием №6.

Анализ результатов испытаний работоспособности режущего инструмента показывает, что механизм зарождения и роста трещин в покрытии и инструментальной матрице можно рассматривать с энергетических представлений разрушения материалов. При высоких скоростях резания вследствие больших тепловых и механических нагрузок реализуется упругопластическая деформация поверхностных слоев инструмента, которая при внешнем трении обусловлена образованием и перемещением дислокаций под воздействием касательных напряжений.

Для уменьшения интенсивности износа и повышения сопротивляемости инструмента срезу макрообъемов инструментального материала необходимо создание поверхностных слоев, которые бы имели лучшие диссипативные свойства, обладали большей энергоемкостью, повышенным сопротивлением пластическим деформациям и развитию трещин. Нанесение износостойких покрытий является одним из способов

противляться необратимым, динамически протекающим рекристаллизационным процессам вблизи задней поверхности. Азотированный слой тормозит движение дислокаций за счет взаимодействия последних с атомами азота, что связано с необходимостью дополнительной затратой энергии.

### Выводы

Повышение работоспособности инструмента после ионного азотирования обусловлено следующими основными причинами: повышение термодинамической стабильности и энергоемкости контактных поверхностных слоев инструмента; изменение кинематики разрушения поверхностных слоев инструмента; заземление рекристаллизационных процессов в быстрорежущей стали, что снижает преждевременное разупрочнение стали.

Результаты испытания на стойкость позволили установить, что самым оптимальным при обработке титанового сплава BT20, является режим упрочнения инструмента ионным азотированием проводимым на режимах:  $I_n = 70A$ ;  $I_a = 90A$ ;  $t = 500^\circ C$ .

Относительная стойкость инструмента по сравнению с базовым (в состоянии поставки) увеличилась в 1,86 раза.

**Список литературы**

1. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
2. Жучков Н.С., Беспяхотный П.Д. Повышение эффективности обработки резанием заготовок из титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1989. – 152 с.
3. Кабалдин Ю.Г. Повышение прочности и износостойкости режущего инструмента термодинамическим упрочнением. – Хабаровск: Краевое управление НТО МАШПРОМ, 1986. – 53 с.
4. Кабалдин Ю.Г. Исследование прочности сцепления стружки с инструментом // Станки и инструмент. – 1973. – № 4. – С. 35.
5. Кабалдин Ю.Г. Физико-химические основы нанесения высокопрочных покрытий на режущий инструмент / Ю.Г. Кабалдин, А.А. Бурков и др. // Информлисток, № 85-23. Хабаровское ЦНТИ – 4 с.
6. Кривоухов, В.А. Чубаров Л.Д. Обработка резанием титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 157 с.
7. Мыльников В.В., Пронин А.И., Чернышов Е.А. Исследование влияния керамических материалов на работоспособность режущего инструмента // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2011. № 1. – С. 227-232.
8. Мыльников В.В. Исследование стойкости режущей керамики при точении закаленных заготовок / В.В. Мыльников, А.И. Пронин, И.И. Рожков, Д.И. Шетулов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. № 10-2. – С. 229–230.
9. Мыльников В.В. Повышение эффективности обработки отверстий в заготовках выполненных из труднообрабатываемых материалов / В.В. Мыльников, А.И. Пронин, И.И. Рожков, Д.И. Шетулов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10-2. – С. 228.
10. Мыльников В.В., Пронин А.И., Чернышов Е.А. Повышение работоспособности концевых фрез // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. № 10-2. – С. 227.
11. Пронин А.И., Мыльников В.В., Рожков И.И. Повышение эффективности обработки за счет использования режущего инструмента, оснащенного упрочненными пластинами из сверхтвердых материалов и режущей керамики // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10-3. – С. 377-380.
12. Пронин А.И., Мыльников В.В., Чернышов Е.А. Причины низкой работоспособности пластин из режущей керамики при твердом точении // Материаловедение. – 2014. – № 5. – С. 13-15.
13. Пронин А.И., Мыльников В.В. Влияние различных методов упрочнения на работоспособность режущих пластин из поликристаллических сверхтвердых материалов и минералокерамики при обработке труднообрабатываемых материалов // Технология металлов. – 2011. – № 9. – С. 36–40.
14. Сато Х. Механическая обработка сплавов титана // Киндзоку. – 1982. – Т. 52, №3. – С. 58–66.