

УДК 621.9.025.7

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ, ГЕОМЕТРИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ

© 2013 Д.Л. Скуратов, А.Н. Жидяев, В.М. Опарин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 02.12.2013

Проведены исследования стойкости разработанных в ОНИЛ-3 СГАУ твердосплавных концевых фрез с нормальным и усиленным зубом.

Ключевые слова: фреза концевая твердосплавная, покрытие износостойкое, стойкость, износ.

Одной из основных характеристик режущего инструмента, определяющих его работоспособность, является период стойкости, который должен определяться как для вновь создаваемых, так и доработанных инструментов, в том числе с нанесенным износостойким покрытием.

В процессе проведения опытно-конструкторских и исследовательских работ в ОНИЛ-3 СГАУ была создана конструкция концевой твердосплавной четырехзубой фрезы с радиусной переходной кромкой диаметром 12 мм [1]. Данные фрезы предназначены для использования в производстве и замены дорогостоящих фрез фирмы «Seco» серии JHR780 с покрытием MEGA-64. Для определения режущих свойств опытных фрез был проведен комплекс стойкостных испытаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ ОПЫТНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ С НОРМАЛЬНЫМ ЗУБОМ

По рабочему чертежу первого варианта конструкции концевой фрезы с нормальным зубом были изготовлены опытные фрезы из цилиндрических заготовок длиной 100 мм и диаметром 12 мм. Фрезы выполнялись из субмикронных твердых сплавов, а именно: из сплава А04 производства Кировградского завода твердых сплавов (КЗТС), Россия, и сплава IC08 производства фирмы Iscar, Израиль.

Часть фрез из изготовленного комплекта, предназначенных для проведения стойкостных

испытаний, показана на рис. 1. Слева три фрезы из сплава А04, справа три фрезы из сплава IC08.

В основе проведения полноценных стойкостных испытаний лежит нахождение зависимости влияния скорости резания (v) на период стойкости (T), которая имеет вид

$$v = \frac{A}{T^m},$$

где A – постоянный коэффициент; m – показатель относительной стойкости.

Для сравнения фрез проводились ускоренные стойкостные испытания. Это обусловлено тем, что проведение полноценных испытаний требует значительных материальных и временных затрат. Достаточно сказать, что стоимость одного килограмма титанового сплава BT9, из которого изготавливались заготовки для исследований, составляет порядка 2 000 рублей.

При ускоренных испытаниях инструмент сопоставляется на одном, двух режимах.

В сравнительных испытаниях были задействованы как базовые фрезы фирмы «Seco», так и опытные фрезы производства СГАУ, без покры-



Рис. 1. Твердосплавные концевые фрезы с нормальным зубом

Скуратов Дмитрий Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механической обработки материалов. E-mail: skuratov.sd156@yandex.ru

Жидяев Алексей Николаевич, инженер кафедры производства двигателей летательных аппаратов. E-mail: a.n.zhidyayev@gmail.com

Опарин Владимир Михайлович, заведующий учебной лабораторией кафедры механической обработки материалов. E-mail: fdla@ssau.ru

тия и с покрытием. Условия обработки были одинаковы для всех фрез, процесс резания производился до разрушения первого зуба фрезы.

Закрепление образцов на столе станка осуществлялось с помощью прижимов. Процесс фрезерования образцов из титанового сплава BT9 выполнялся на режимах, выбранных на основе нормативов НИИ технологии и организации производства, в составлении которых активное участие принимала ОНИЛ-3 Куйбышевского авиационного института (Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва).

Процесс концевой фрезерования выполнялся на следующих режимах:

скорость резания – $v = 30$ м/мин;
 минутная подача – $S_{m1} = 160$ мм/мин,
 $S_{m2} = 250$ мм/мин;
 глубина фрезерования – $t = 5$ мм;
 ширина фрезерования – $B = 3$ мм;

смазывающе-охлаждающее технологическое средство – эмульсия марки Blasocut 4000 производства Blaser Swisslube AG с добавлением меди (6%) в качестве дополнительного смазывающего элемента.

На первом этапе обработки (в течении 45 мин) величина подачи составляла 160 мм/мин, однако в связи с незначительным износом инструмента с целью интенсификации проведения стойкостных исследований она была увеличена до 250 мм/мин.

Обработка титановых заготовок из сплава BT9 проводилась на станках фрезерной группы.

В качестве основного станка использовался горизонтальный консольно-фрезерный станок модели 6Т82Г-1.

Результаты стойкостных испытаний приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что период стойкости базовой концевой фрезы фирмы «Seco» с покрытием MEGA-64 составил 435 мин (7 часов 15 мин), а опытной фрезы СГАУ с нормальным зубом без покрытия из твердого сплава А04 (КЗТС) – 177 мин (2 часа 57 мин), т.е. 40,7% от стойкости базовой фрезы. Это является достаточно хорошим результатом, учитывая, что фреза не имела покрытия.

Исследование стойкости концевой фрезы, изготовленной из твёрдого сплава IC08 с покрытием (Ti, Cr)N, показало, что величина периода стойкости составила 175 мин (2 часа 55 мин), т.е. практически не отличается от периода стойкости концевой фрезы из твердого сплава А04 без покрытия. Полученные невысокие результаты по стойкости, по-видимому, связаны с тем, что у сплава IC08 твердость по Виккерсу несколько меньше, чем у сплава А04, поэтому износ режущих кромок и их разрушение происходит быстрее, чем у твердого сплава А04. Опытная концевая фреза из твердого сплава А04 с покрытием (Ti, Cr)N проработала 265 мин (4 часа 25 мин), что составляет 60,9% от времени работы базовой концевой фрезы «Seco».

Исходя из результатов проведенных исследований, был выполнен комплекс конструктивных мероприятий, направленных на повышение стойкости концевых фрез СГАУ.

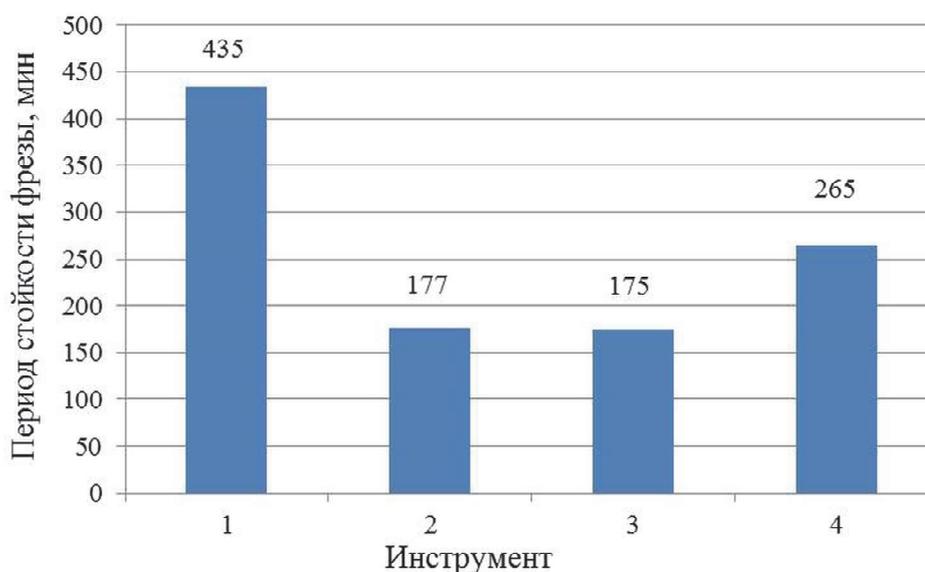


Рис. 2. Столбчатая диаграмма, характеризующая период стойкости концевых фрез до разрушения режущих кромок:

1 – фреза «Seco» с покрытием MEGA-64; 2 – опытная фреза СГАУ с нормальным зубом из твердого сплава А04 без покрытия; 3 – опытная фреза СГАУ с нормальным зубом из твердого сплава IC08 с покрытием (Ti,Cr)N; 4 – опытная фреза СГАУ с нормальным зубом из твердого сплава А04 с покрытием (Ti,Cr)N

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИИ ОПЫТНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ И ПРОЦЕСС ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Следует отметить, что первый вариант опытной фрезы, разработанной в СГАУ, имел слишком маленькую ширину задних поверхностей на цилиндре (рис. 3). Её наименьшее значение на одном из зубьев составило 0,86 мм. Это, как показали стойкостные испытания, приводит к большей нагрузке на зуб и, следовательно, к снижению стойкости фрезы. При изготовлении первой серии фрез СГАУ для увеличения наименьшего значения ширины задних поверхностей на цилиндре до 1,13 мм была уменьшена глубина канавки с 2,85 мм до 2,71 мм.

Увеличить общую ширину задних поверхностей на цилиндре возможно за счет:

- уменьшения глубины канавки, что снижает максимальный объем отводимой стружки;

- уменьшения переднего угла на цилиндре, что влияет на позиционирование шлифовального круга при обработке канавки. Уменьшение переднего угла может снизить режущие свойства инструмента;

- применения другого шлифовального круга, например, формы 1V1. Круг формы 1V1 имеет меньшую кромкостойкость, чем круг формы 1A1;
- увеличения угла наклона спиральной канавки.

Наибольшее влияние на формирование задней поверхности оказывает форма шлифовального круга, поэтому круг формы 1A1 был заменен кругом формы 1V1 с углом 15° . Это позволяет сохранить глубину канавки, равной 2,85 мм, и увеличить наименьшее значение общей ширины задних поверхностей на цилиндре до 2,58 мм.

Разработанная конструкция опытной фрезы с нормальным зубом имела одно ядро на стружечной канавке, т.е. форма стружечной канавки имела достаточно простую форму. Наличие двух ядер на стружечной канавке (канавка состоит из двух частей – первой, более широкой; второй, более углубленной) позволяет с одной стороны, увеличивается жесткость фрезы, а с другой стороны, усиливается зуб фрезы, что в целом ведет к увеличению стабильности обработки и повышению стойкости за счет улучшения теплоотвода из зоны резания. Вместе с тем это приводит к усложнению техпроцесса изготовления фрезы.

Для изготовления фрезы с двумя ядрами необходимо разделить операцию обработки канавки на два перехода: обработка канавки (на всю длину режущей части фрезы) и обработка спинки (на $2/3$ длины режущей части).

Для новой фрезы были выбраны новые ок-

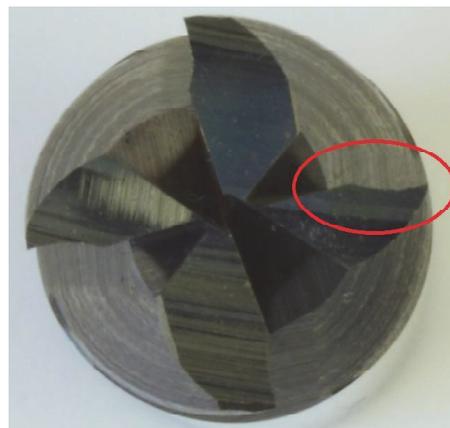


Рис. 3. Зуб с наименьшей шириной задних поверхностей на цилиндре

ружные шаги: 86° , 92° , 88° , 94° , что также привело к увеличению наименьшего значения общей ширины задних поверхностей на цилиндре.

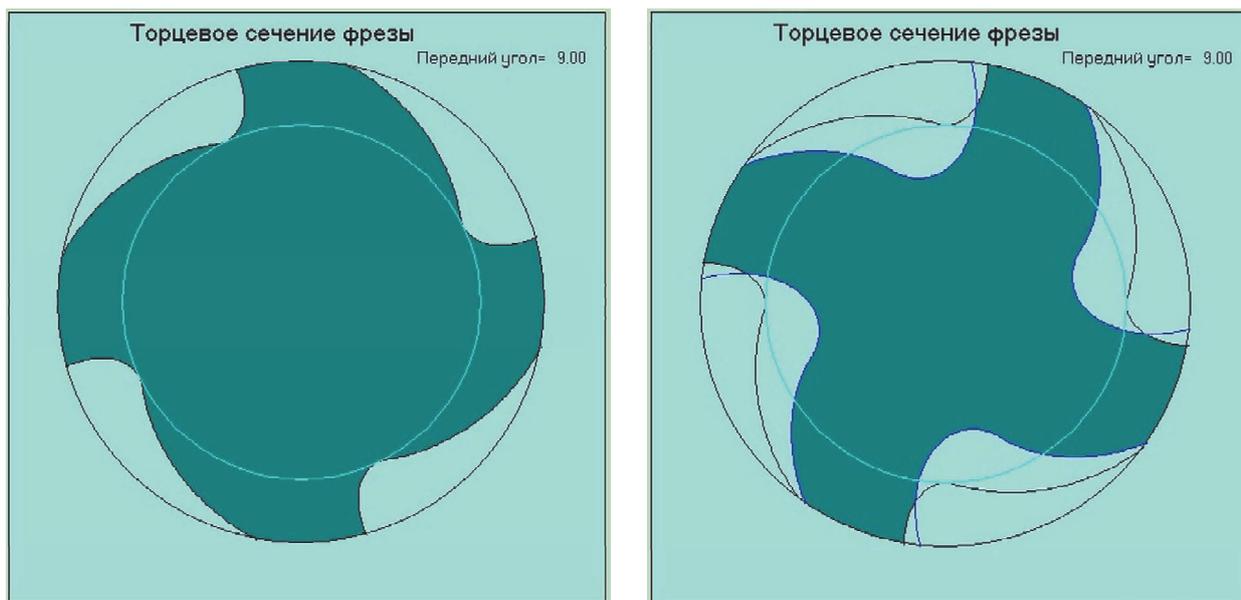
Кроме того, был уменьшен угол подъема винтовой канавки до 42° . При этом наименьшее значение общей ширины задних поверхностей на цилиндре снизилось до 2,18 мм, однако такой угол позволил получить более плавный переход между двумя ядрами канавки фрезы.

Результат моделирования сечения и общего вида фрезы второй серии представлен на рис. 4 и рис. 5 соответственно. На рис. 5 второе ядро фрезы показано на всю длину режущей части фрезы. Это связано с ограничениями при моделировании фрезы в системе подготовки управляющих программ. При шлифовании фрезы на станке второе ядро изготавливалось на длину 16 мм от торца фрезы.

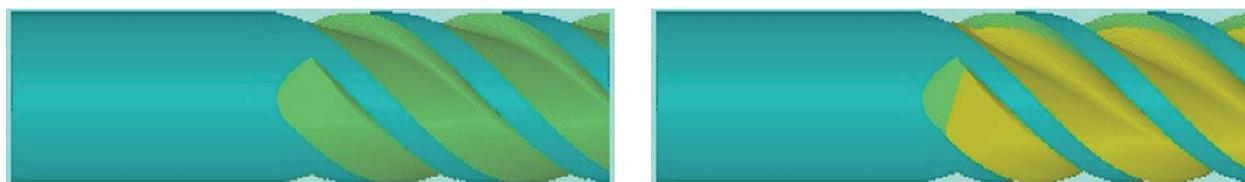
На основании проведенных мероприятий по доработке конструкции и геометрии фрезы была изготовлена фреза с усиленным зубом, т.е. второй вариант опытных фрез (вторая серия). Для этого была скорректирована управляющая программа, изменена наладка и форма шлифовальных кругов с последующим изготовлением партии опытных фрез.

После формирования УП и переноса её на стойку станка с ЧПУ, в частности шлифовально-заточного центра с ЧПУ ВЗ-630Ф4, осуществляется запуск УП и начинается изготовление фрезы. В качестве заготовки использовались цельные столбики с фаской с одной стороны и наружным диаметром, выполненным с полем допуска по h6.

Фреза первой серии с нормальным зубом изготавливалась за 2 часа 46 минут. При изготовлении комплекта твердосплавных фрез второй серии с усиленным зубом были изменены режимы резания (в основном скорость подачи шлифовального круга), что позволило изготавливать каждую из фрез второй серии за 1 час 5 минут. При этом шероховатость рабочих поверхностей осталась на прежнем уровне.



а) б)
Рис. 4. Сечения первого (а) и второго (б) ядер



а) б)
Рис. 5. Первое (а) и второе (б) ядра на общем виде фрезы

АНАЛИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, ИХ ВЫБОР И НАНЕСЕНИЕ НА ИССЛЕДУЕМЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Покрытия, наносимые на рабочие поверхности режущего инструмента, являются достаточно универсальным и надёжным средством, с помощью которого можно по-новому подойти к проблемам совершенствования свойств инструментальных материалов. Инструментальный материал с покрытием – новый материал композиционного типа, в котором можно оптимально сочетать свойства поверхностного слоя (покрытия): высокие значения микротвёрдости, пассивности по отношению к обрабатываемому материалу и др. и свойства сердцевины (инструментального материала): прочность, ударную вязкость, трещиностойкость и др.

Производственный опыт показывает, что наибольший интерес в качестве износостойких покрытий или их слоёв на сегодняшний день представляют:

- 1) карбиды, нитриды и другие соединения тугоплавких металлов (керамические покрытия): TiN, TiCN, (Ti,Cr)N, (Ti,Zr)N и др.;
- 2) тугоплавкие металлы (металлические покрытия): Ti, Cr, Zr и др.;

3) алмазоподобные соединения (углеродные покрытия): Me-C:N и др.

В последнее время повышенный практический интерес вызывают композиционные покрытия. Поэтому на фрезы второй серии, т. е. фрезы с усиленным зубом наносились следующие композиционные покрытия:

- первое покрытие – (Ti – Al – Si)N;
- второе покрытие – (Ti – Si – B)N.



Рис. 6. Опытные концевые фрезы СГАУ с усиленным зубом и износостойким покрытием (Ti – Al – Si)N



Рис. 7. Опытные концевые фрезы СГАУ с усиленным зубом и износостойким покрытием (Ti – Si – B)N

Работы по нанесению износостойких покрытий на концевые твердосплавные фрезы были выполнены на вакуумной ионно-плазменной установке ННВ6.6-И1.

Фотографии опытных концевых фрез с нанесёнными покрытиями представлены на рис. 6 и рис. 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ ОПЫТНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ С УСИЛЕННЫМ ЗУБОМ

Стойкостные испытания опытных фрез СГАУ с усиленным зубом (фрез второй серии)

выполнялись при обработке титановых ВТ9 и ВТ20 (предел прочности ВТ9 составляет 1030...1226 МПа, сплава ВТ20 – 1120...1200 МПа) на горизонтальном консольно-фрезерном станке модели 6Т82Г-1 с использованием СОЖ Blasocut 4000 производства Blaser Swisslube AG.

Режим обработки: $n = 800$ об/мин, $S_m = 250$ мм/мин, $t = 5$ мм, $B = 3$ мм.

Максимальные значения стойкости опытных фрез с усиленным зубом показаны на рис. 8.

Из рис. 8 видно, что доработка фрез, за счет усиления зуба, позволила значительно повысить уровень стойкости фрез как без покрытия, так и с покрытием (Ti – Al – Si)N и приблизиться, и даже превзойти стойкость базовой фрезы «Seco» с покрытием MEGA-64 на режиме: $n = 800$ об/мин; $S_m = 250$ мм/мин; $t = 5$ мм; $B = 3$ мм.

Опытная фреза без покрытия, изготовленная из твердого сплава IC08, показала значение стойкости, равное 372 минуты, и вплотную приблизилась к стойкости базовой фрезы «Seco», показавшей стойкость – 435 мин.

Опытные фрезы, изготовленные из твердого сплава A04 производства КЗТС, без покрытия и с покрытием (Ti – Al – Si)N по стойкости превзошли базовую фрезу «Seco» и показали соответственно результат в 451 и 541 минуту. Причем фреза с покрытием (Ti – Al – Si)N была снята с испытаний без поломок зубьев и ещё могла бы еще продолжить работу, что видно из графика износа, представленного на рис. 9. Снятие фрезы со станка было обусловлено некоторым ухудшением качества обработки (шероховатости поверхности) и экономией дорогостоящего материала заготовок из сплава ВТ20.

Разрушение одного из режущих зубьев фрезы «Seco» и опытной фрезы СГАУ с усиленным зу-

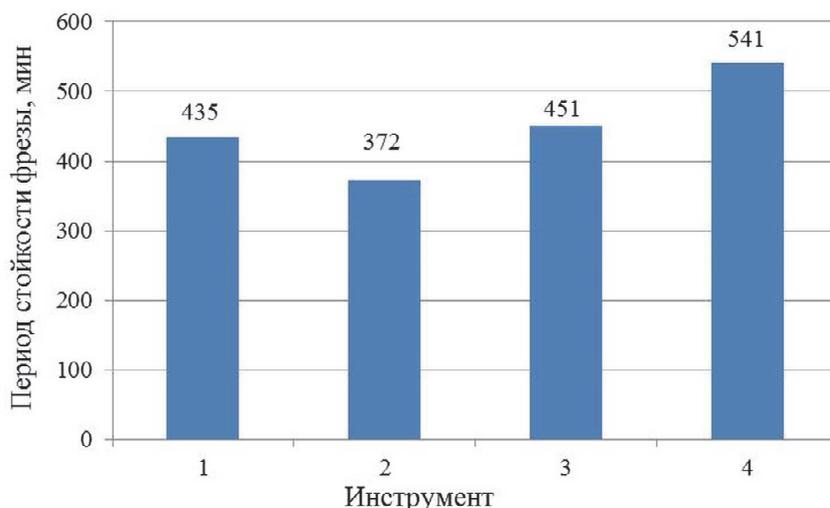


Рис. 8. Столбчатая диаграмма максимальных значений стойкости опытных фрез с усиленным зубом: 1 – фреза фирмы «Seco» с покрытием MEGA-64, материал ВТ9; 2 – опытная фреза СГАУ с усиленным зубом из твердого сплава IC08 без покрытия, материал ВТ20; 3 – опытная фреза СГАУ с усиленным зубом из твердого сплава A04 без покрытия, материал ВТ20; 4 – опытная фреза СГАУ с усиленным зубом из твердого сплава A04 с покрытием (Ti – Al – Si)N, материал ВТ20

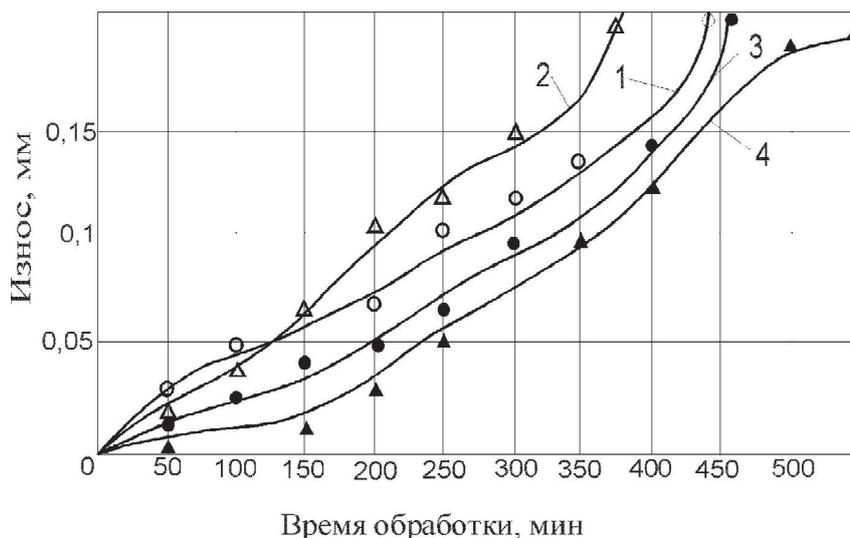


Рис. 9. Кривые зависимости износа фрез от времени работы:

1 – фреза фирмы «Seco» с покрытием MEGA-64, материал VT9; 2 – опытная фреза СГАУ с усиленным зубом из твердого сплава IC08 без покрытия, материал VT20; 3 – опытная фреза СГАУ с усиленным зубом из твердого сплава A04 без покрытия, материал VT20; 4 – опытная фреза СГАУ с усиленным зубом из твердого сплава A04 с покрытием (Ti – Al – Si)N, материал VT20

бом показаны на рис. 10 и рис. 11 соответственно. Характер разрушения фрез с усиленным зубом схож с характером разрушения фрез с нормальным зубом. Разрушения происходят, как правило, на цилиндрических зубьях вблизи радиусной кромки перехода с цилиндрических зубьев на торцевые. Как правило, фрезы с покрытием имеют меньшие разрушения зубьев, чем без покрытия.

Для интенсификации исследований стойкости, дальнейшие испытания было решено проводить на более жестких режимах резания: $n = 1000$ об/мин; $S_m = 315$ мм/мин; $t = 5$ мм, $B = 3$ мм. Сравнительные результаты стойкости концевых фрез из твердого сплава A04 (КЗТС) на новом режиме и ранее использованных режимах показаны на рис. 12.

Из рис. 12 видно, что стойкость фрез из твердого сплава A04 с напылением (Ti – Al – Si)N значительно меньше ранее полученных значений стойкости аналогичных фрез и составляет всего 33 минуты. Низкое значение стойкости можно объяснить более высокими скоростями резания и подачи, с достаточно большой глубиной резания ($t = 5$ мм), что в сочетании с мелкозернистой структурой твердого сплава при черновом фрезеровании не является оптимальным режимом обработки и отрицательно сказывается на стойкости инструмента.

ВЫВОДЫ

1. На основании представленных ранее результатов исследования стойкости можно рекомендовать для обработки титановых сплавов опытные фрезы СГАУ с усиленным зубом, изготовленные из твердого сплава A04 (КЗТС, Россия) без покрытия и с покрытием (Ti – Al – Si)N



Рис. 10. Разрушение зуба фрезы «Seco» с износостойким покрытием MEGA-64



Рис. 11. Разрушение зуба опытной фрезы СГАУ из твердого сплава A04 с покрытием (Ti – Al – Si)N

на режиме: $n = 800$ об/мин, $S_m = 250$ мм/мин, $t = 5$ мм, $B = 3$ мм. Данные фрезы по стойкости превосходят базовые фрезы фирмы «Seco» с покрытием MEGA-64.

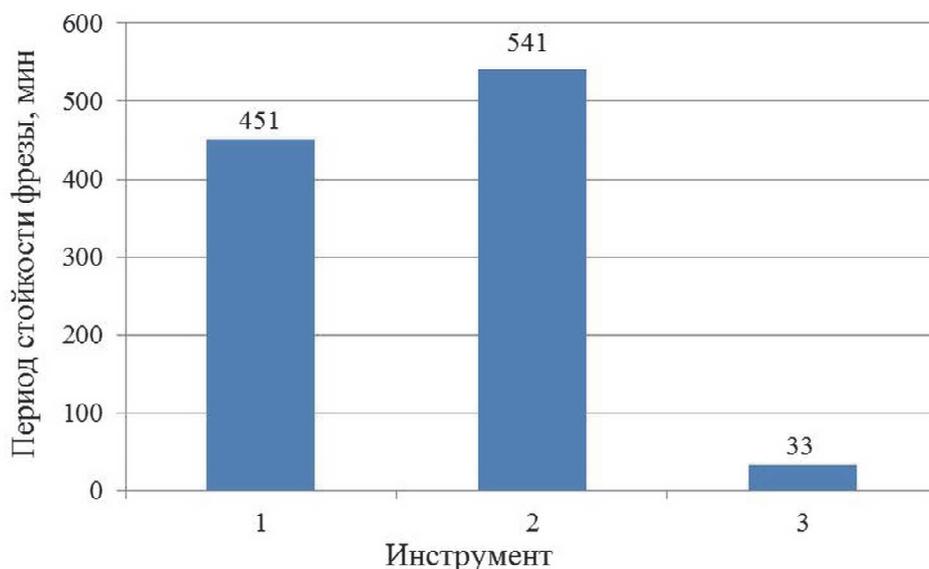


Рис. 12. Столбчатая диаграмма значений стойкости опытных фрез СГАУ из твердого сплава А04 (КЗТС) с усиленным зубом:

- 1 – фреза без покрытия, режим обработки: $n = 800$ об/мин;
 $S_m = 250$ мм/мин; 2 – фреза с покрытием (Ti – Al – Si)N, режим обработки: $n = 800$ об/мин;
 $S_m = 250$ мм/мин; 3 – фреза с покрытием (Ti – Al – Si)N, режим обработки: $n = 1000$ об/мин;
 $S_m = 315$ мм/мин

2. Себестоимость изготовления опытных фрез составляет 60...70% от стоимости фрез, изготавливаемых ведущими инструментальными фирмами.

3. Использование опытных фрез для обработки титановых сплавов на более жестких режимах не целесообразно ввиду значительного уменьшения их стойкости, что возможно объясняется мелкозернистой структурой данных фрез, не предназначенной для инструмента, используемого при черновой обработке труднообрабатываемых материалов. В связи с этим требуются дополнительные исследования по выбору конструкции, геометрии фрез, а также марки инструментального материала применительно к черновой обработке труднообрабатываемых

материалов, в частности титановых сплавов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации на основании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструирование и изготовление концевых фрез на современных многоосевых заточных станках / Д.Л. Скуратов, А.В. Кузнецов, В.М. Опарин, М.Б. Сазонов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета), 2013. №3(34). Ч.1. С. 77-86.

INCREASING CARBIDE END MILL WORKING CAPACITY BY IMPROVING DESIGN, GEOMETRY AND USING WEARPROOF NANOSTRUCTURED COATINGS

© 2013 D.L. Skuratov, A.N. Zhidyayev, V.M. Oparin

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

Tool life investigations of carbide end mills with normal and strengthen tooth designed in ONIL-3 of SSAU were accomplished.

Key words: carbide end mill, wearproof coating, tool life, wear.

Dmitry Skuratov, Doctor of Technics, Professor, Head at the Mechanical Processing of Materials Department.

E-mail: skuratov.sdl56@yandex.ru

Alexey Zhidyayev, Engineer at the Aircraft Engine Production Department. E-mail: a.n.zhidyayev@gmail.com

Vladimir Oparin, Head of the Training laboratory of Mechanical Processing of Materials Department. E-mail: fdla@ssau.ru