

ЭФФЕКТИВНАЯ РАБОТА ИНСТРУМЕНТА ИЗ КОМПОЗИТА ПРИ СКОРОСТНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ РЕЗЬБЫ

*Е.А. КУДРЯШОВ, доктор техн. наук, профессор
И.М. СМЕРНОВ, канд. техн. наук, доцент
(ЮЗГУ, г. Курск)*

Статья поступила 5 марта 2013 года

Кудряшов Е.А. – 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,
Юго-Западный государственный университет,
e-mail: Kea@swsu.ru

Высокая эффективность обработки трудоемких, металлоемких и дорогостоящих деталей достигается разработкой и внедрением специальных технологий, основанных на применении лезвийных инструментов из композита. Различные марки композитов широко применяются в металлообработке в качестве инструментального оснащения чистовых и отделочных операций. Приведены результаты исследования возможностей резцов из инструментального материала композита 10 на примере скоростного фрезерования резьбы (вихревой метод). Сравнение процесса вихревого нарезания резьб композиционными и твердосплавными инструментальными материалами подтверждает преимущество первых, обеспечивающих высокую точность обработки, шероховатость резьбовой поверхности не грубее 1,25 мкм и высокую производительность.

Ключевые слова: фрезерование композитом, параметры образования, условия контакта резец-заготовка, режимы резания, качество обработки.

Введение

В настоящее время производство резьбовых деталей как в России, так и за рубежом достигло больших размеров. Объясняется это высоким уровнем и темпами развития целого ряда отраслей машиностроения, таких как станкостроение, автомобилестроение, тракторное и сельскохозяйственное машиностроение, которые являются основными производителями и потребителями данного вида продукции.

Как показывает опыт работы машиностроительных предприятий, высокая эффективность обработки трудоемких, металлоемких и дорогостоящих деталей достигается разработкой и внедрением специальных технологий, основанных на применении лезвийных инструментов из композитов. Использование этих прогрессивных инструментальных материалов позволяет не только повысить эффективность процессов обработки резьбовых поверхностей, но также дает возможность выполнить высокопроизводительную обработку ряда деталей, технология изготовления

которых основана на традиционном сочетании черновой лезвийной и чистовой шлифовальной обработки [1–3].

Имеющиеся научные разработки и опыт промышленного использования резьбообразующих технологий свидетельствуют о том, что композиты практически малоизвестны в резьбообработке и их потенциальные возможности используются не в полной мере. Поэтому совершенствование технологии изготовления деталей с резьбовыми поверхностями является актуальной технологической и научной задачей, а применение композитов – эффективным и перспективным направлением.

Как показывает опыт исследования и практика промышленного использования, различные марки композитов широко применяются в металлообработке в качестве инструментального оснащения чистовых и отделочных операций. Эти прогрессивные инструментальные материалы обеспечивают высокую точность и качество. Оснащение композитами операций точения, растачивания и торцевого фрезерования дает возможность выполнить заданные технологиче-

ские показатели. Значительно в меньшей степени композиты известны при обработке резьбы, в том числе – при скоростном фрезеровании резьбы резцами из композитов [3,4].

Впервые описание скоростного фрезерования резьбы вращающимися резцами (вихревое нарезание резьбы) дано С.С. Черниковым в 1946 г.

Анализ литературных источников показывает, что несмотря на ряд достоинств этот один из самых производительных методов резьбообразования не получил в наше время широкого распространения. Известно, что для всех процессов резания прерывистых поверхностей характерно чередование рабочих ходов (снятие стружки) и холостых пробегов инструмента. В зависимости от конструктивных особенностей обрабатываемых поверхностей заготовки и способа резания соотношение рабочих и холостых ходов будет различным. Однако во всех случаях, в том числе и при скоростном фрезеровании резьбовых поверхностей, полный цикл (оборот заготовки) состоит из четырех этапов: 1) врезание; 2) рабочий ход; 3) выход режущей части инструмента из контакта с обрабатываемой поверхностью заготовки; 4) холостой пробег инструмента.

Особенность обработки резьбовых поверхностей вихревым методом заключается в том, что этот процесс также имеет прерывистый характер. Прерывистое резание, многократное чередование с большой частотой и скоростью врезания, резания и выхода резцов вихревой головки из контакта обрабатываемой поверхности заготовки являются признаками сколов и выкрашиваний режущей части твердосплавного инструмента. Низкая работоспособность твердосплавного инструмента объясняется как механическими ударами, так и резкими тепловыми колебаниями, являющимися следствием быстро чередующихся нагревов и охлаждений, соударений вершины инструмента и детали. Попытка замены твердосплавного инструмента на композиты путем простого переноса режимов резания и рекомендуемой геометрии режущей части также не обеспечивает удовлетворительной работоспособности инструмента.

Учитывая это обстоятельство, а также значительную хрупкость композитов становится проблематичным обеспечение не только заданного качества и точности обработки, но и работоспособности инструмента. Обычно традиционное

решение связано с применением у режущих композиционных элементов положительного угла наклона главной режущей кромки λ , поскольку при такой геометрии режущей части инструмента его врезание в прерывистую поверхность детали произойдет не хрупкой вершиной, а периферией режущей кромки. Однако эффект такого решения весьма мал, поскольку речь идет о переточке, ухудшении режущих свойств, ослаблении прочности композиционных элементов и постоянном контроле за состоянием режущей части инструмента.

В таких условиях проблема работоспособности инструмента может быть решена за счет создания особых условий контакта режущей части инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки [5, 7].

Первоначально Н.И. Резниковым, а затем Г.С. Андреевым, Н.Н. Зоревым, М. Кроненбергом, В.Н. Подураевым и другими учеными исследована и показана возможность повышения работоспособности инструмента за счет его оптимального расположения относительно обрабатываемой заготовки в процессах точения, растачивания, фрезерования и строгания прерывистых поверхностей деталей твердыми сплавами.

Исследования технологических особенностей процессов обработки прерывистых поверхностей современными инструментальными материалами за счет создания оптимальных контактных условий, проведенные Б.А. Кравченко, Е.А. Кудряшовым и их учениками, позволили более полно раскрыть свойства и использовать возможности композитов на чистовых операциях, осуществляемых в экстремальных условиях.

Задачей исследования является нахождение оптимального сочетания геометрии режущей части инструмента и угла наклона резбонарезного приспособления, при котором обеспечивается требуемое условие контакта передней поверхности резца с обрабатываемой поверхностью заготовки (контакт STUV, U-контакт).

1. Теория

На примере точения прерывистой поверхности заготовки, аналогично процессу скоростного фрезерования резьбы, в упрощенной форме рассмотрим положение передней по-

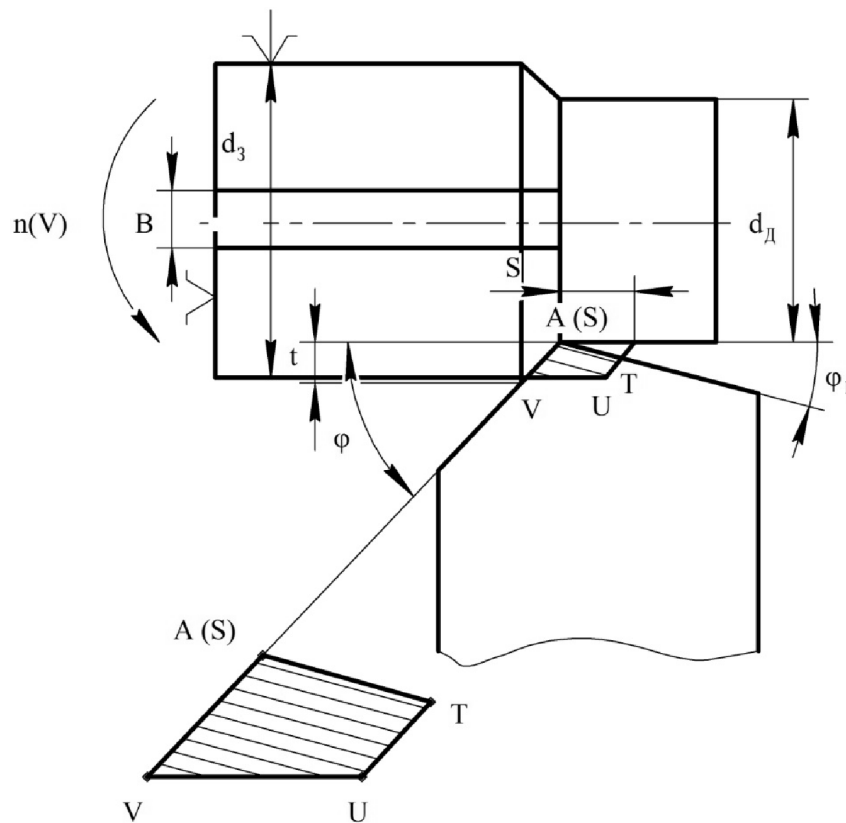


Рис. 1. Схема резания прерывистой поверхности заготовки

верхности инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки на всех трех этапах резбообразования: врезание, установившееся резание, выход инструмента из контакта с заготовкой (рис. 1). В зависимости от геометрии режущей части резца и его положения относительно обрабатываемой поверхности заготовки первоначальный контакт может произойти в одном из следующих положений: а) точечный контакт S, T, U, V; б) линейный контакт: ST, TU, UV, VS; в) плоскостной контакт STUV.

Из всех возможных девяти способов первоначального контакта самый неблагоприятный – контакт в точке S (A – вершина инструмента) и наиболее выгодный – контакт плоскостной STUV, когда нагрузка должна равномерно распределяться по всей передней поверхности инструмента. В этом положении моменту контакта передней поверхности инструмента с прерывистой поверхностью заготовки соответствует угол β – угол поворота заготовки до первого касания с поверхностью заготовки.

Аналитическое решение позволило получить условия контакта передней поверхности резца с обрабатываемой (резьбовой) поверхностью:

а) на входе и выходе инструмента из контакта с заготовкой

$$\frac{\frac{ar_0}{\operatorname{tg}\alpha} [\cos(\varphi + \varphi_1)] \sin(\varphi + \varphi_1)}{\operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \sin\varphi \left(\frac{d\sqrt{r_d^2 - b^2} - b\sqrt{r_d^2 - d^2}}{db + \sqrt{r_d^2 - d^2} \cdot \sqrt{r_d^2 - b^2}} \right) + \cos\varphi}; \quad (1)$$

б) установившееся резание (при максимальной толщине стружки)

$$\frac{\frac{ar_0}{\operatorname{tg}\alpha} [\cos(\varphi + \varphi_1)] \sin(\varphi + \varphi_1)}{\operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \sin\varphi \left(\frac{d\sqrt{(r_d + a)^2 - b_1^2} - b_1\sqrt{(r_d + a)^2 - d^2}}{db_1 + \sqrt{(r_d + a)^2 - d^2} \cdot \sqrt{(r_d + a)^2 - b_1^2}} \right) + \cos\varphi}, \quad (2)$$

где a – толщина стружки, мм; $r_0 = OB$ – наружный радиус резьбы, мм; α – угол наклона

на резцовой головки; φ и φ_1 – углы резца в плане; $d = O_1P$, мм; $b = AM$, мм; $b_1 = BN$, мм; $r_d = O_1A$, мм (рис. 2).

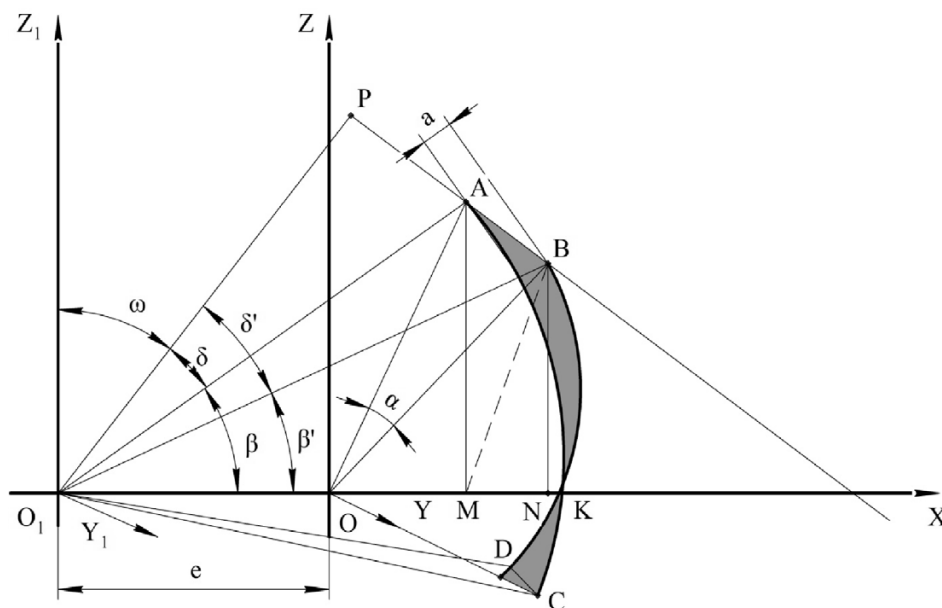


Рис. 2. Расчетная схема определения условий контактного взаимодействия

2. Результаты и обсуждение

С помощью ЭВМ, используя полученные расчетные зависимости (1) и (2), построим номограмму, характеризующую все возможные варианты контакта передней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки в зависимости от угла наклона резбонарезного приспособления (рис. 3).

Аналитическое решение, на базе которого построена номограмма, свидетельствует о том, что все сочетания углов наклона резбонарезной головки приспособления, переднего угла, угла контакта, лежащих между линиями TU и UV, приводят к первоначальному контакту передней поверхности резбового резца полного профиля с заготовкой в точке U. Между линиями UV и SV – в точке V, между линиями ST и SV – в точке S.

Результаты расчета подтверждают, что наиболее благоприятный контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки имеет место в точке U, затем в точках T и V, поскольку при

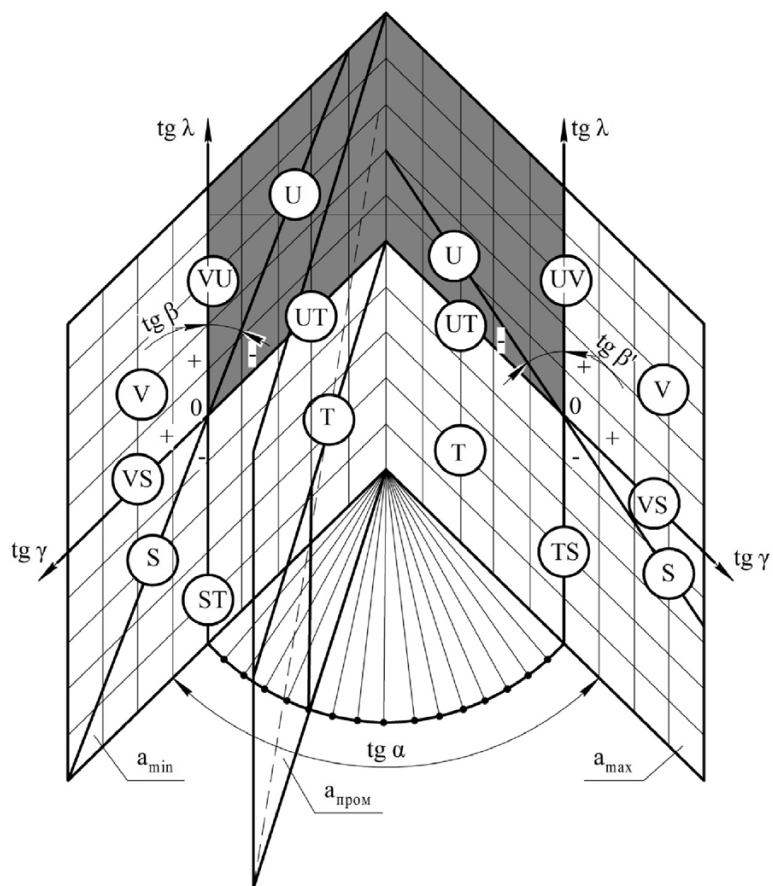


Рис. 3. Номограмма сочетаний различных условий контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки

оптимальном контакте (U-контакт) концентратор ударной нагрузки максимально удаляется от вершины инструмента.

Испытания показали, что выбор оптимального положения резца и геометрии позволяет увеличить стойкость инструментов из композитов более чем в два раза (табл. 1).

Таблица 1

Стойкость инструмента из композита 10 в зависимости от условий контакта с заготовкой (Тг 38х6)

Твердость обрабатываемой поверхности HRC _э	Вид контакта инструмента с заготовкой	Расчетные данные		Стойкость инструмента, мин
		γ°	λ°	
20	U	-3	3	52
40	U	-5	4	49
20	T	-3	-2	44
40	T	-5	-4	41
20	V	3	4	20
40	V	5	6	13
20	S	5	-5	4
40	S	8	-6	2
Режимы: $V = 6,5$ м/с; $S_z = 0,6$ мм/резец; $d_p/d = 1,30$. $\alpha = 10^\circ$				

При одних и тех же значениях скорости резания, подачи, отношения диаметра окружности вершин резцов к наружному диаметру резьбы падение стойкости инструмента в зависимости от наиболее благоприятных к экстремальным условиям контакта с заготовкой составляет соответственно до 85, 50 и 20 % стойкости инструмента из композита 10 при U-контакте (табл. 2).

Как следует из уравнения

$R_a = 1,46 + 0,25S_z + 0,228d_p/d - 0,174V + 0,281h_3 - 0,0203HRC_{\text{э}}$ и графиков, изображенных на рис. 4, в условиях наиболее благоприятного U-контакта режущей части инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки в исследуемом диапазоне режимов резания мини-

мально возможной шероховатости поверхности соответствует максимальная скорость резания, минимальные значения круговой подачи и отношения диаметра окружности вершин резцов к наружному диаметру резьбы, что справедливо при $h_3 \leq 0,40$ мм, принятому за технологический критерий.

С ростом значений S_z и d_p/d возрастает нагрузка на резец, интенсифицируется прерывистость процесса резания, появляются вибрации, ухудшается качество обработки, появляется огранка.

Однако условия U-контакта значительно улучшают условия врезания и выхода инструмента, уменьшают объем пластической деформации срезаемого металла, и при комплексном воздействии оптимальных факторов процесса резания обеспечивают стабильный уровень показателей точности и шероховатости обработанной поверхности резьбы.

Огранка резьбы (высота гребней на впадине резьбы) практически не зависит от режимов резания. Огранка очень мала (менее 1 мкм), что сопоставимо с высотой микронеровностей, характеризующих шероховатость резьбовой поверхности, и не снижает качества резьбы.

Контроль рассеивания размеров среднего диаметра резьбы $d_2(\Delta d_2)$ шага $S(\Delta S)$ и половины угла профиля $\alpha_p(\Delta \alpha_p)$ показывает, что для треугольных и трапецидальных резьб в исследуемом диапазоне значений S_z , d_p/d и V рассеивание размеров не превышает одной трети суммарного допуска номинального среднего диаметра резьб 7-го качества, что также хорошо согласуется и с теоретическими исследованиями и данными

Таблица 2

Стойкость инструмента в зависимости от условий контакта с заготовкой и режимов резания

Скорость резания V , м/с	Стойкость, мин				Круговая подача S_z , мм/резец	Стойкость, мин				$\frac{d_p}{d}$	Стойкость, мин			
	Условия контакта					Условия контакта					Условия контакта			
	U	T	V	S		U	T	V	S		U	T	V	S
2,5	63,5	54,0	38,1	8,0	0,47	55,3	47,2	33,2	6,6	1,10	52,5	44,6	31,5	8,7
3,5	58,1	49,4	34,8	7,4	0,63	53,1	45,1	31,8	5,9	1,20	51,8	44,0	31,1	8,5
4,5	54,2	46,1	32,5	6,2	0,79	51,5	43,8	30,9	5,4	1,30	51,4	43,7	30,8	7,4
5,5	51,4	43,7	30,8	5,4	0,95	50,5	42,9	30,3	5,1	1,40	51,0	43,4	30,6	6,3
6,5	49,1	41,7	29,4	4,7	1,11	49,0	41,6	29,4	4,1	1,50	50,4	42,8	30,2	3,1
7,5	47,3	40,2	28,4	4,2										
8,5	46,7	38,8	27,4	3,7										

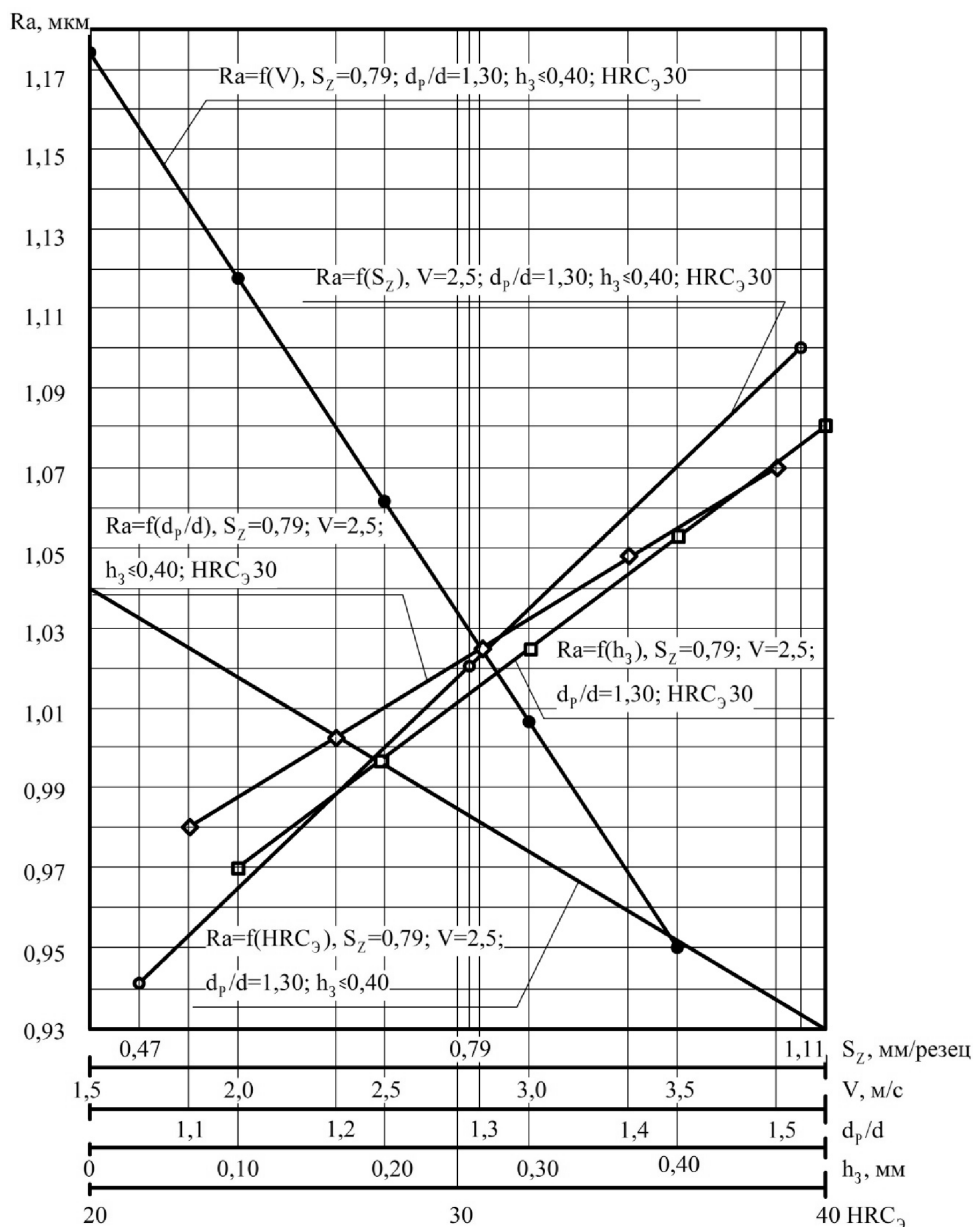


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности резцы от основных факторов процесса вихревого резания композитом 10

для аналогичных условий работы твердосплавным инструментом.

Сравнение процесса вихревого нарезания резцов композиционными инструментальными материалами с явлениями, соответствующими процессу резания твердосплавным инструментом, неоспоримо подтверждает преимущество первых, обеспечивающих не только высокую точность обработки (6...7 квалитет) и шероховатость резцовой поверхности не грубее 1,25 μm , но и на порядок выше производительность процесса, что позволяет обрабатывать значительные по протяженности и диаметральным размерам резцовые поверхности достаточно больших партий деталей.

Такие результаты не могут быть достигнуты твердосплавным инструментом даже в условиях наиболее благоприятного U -контакта режущей части инструмента и обрабатываемой поверхности заготовки, поскольку режущие свойства всех известных марок твердых сплавов не могут конкурировать с композитами [6, 8–10].

3. Общие выводы и рекомендации

1. Теоретически обоснованный, экспериментально подтвержденный и доведенный до промышленного использования способ резцообразования скоростным фрезерованием резцами из композитов показал, что проблема обеспечения



высокой работоспособности инструмента может быть решена путем применения более стойкого инструментального материала (композит) при обеспечении гарантируемого запаса прочности режущей части за счет создания оптимальных условий контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки.

2. Результатом аналитического исследования работоспособности резцов из композитов, применяемых для скоростного резбонарезания, является получение оптимальных условий для реализации процесса в виде математических моделей и номограммы условий контакта режущей части инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки (U-контакт).

3. Анализ работоспособности композиционных инструментов при вихревом нарезании метрических и трапецеидальных резьб позволил установить предельно допустимые границы износа по задней поверхности резцов $h_3 \leq 0,40$ мм и соответствующую этому значению величину шероховатости обработанной поверхности резьбы $R_a \leq 1,25$ мкм, принятых за технологический критерий.

4. Найденные значения геометрических углов резца и условия контакта режущей части с поверхностью заготовки позволяют увеличить стойкость инструментов из композитов при наличии оптимальных режимов обработки примерно в два раза.

5. Установлено влияние основных факторов процесса вихревого нарезания резьб на формирование точности и качества поверхности резьбы. Расчетным методом найдена и экспериментально подтверждена область оптимальных скоростей резания и круговой подачи для получения метрических и трапецеидальных резьб для широкого диапазона размеров.

6. В установленном диапазоне режимов резания исследуемых материалов заготовок и отношения d_p/d минимально возможной шероховатости поверхности соответствует максимальная скорость резания, минимальные значения круговой подачи и отношения диаметра окружности вершин резцов к наружному диаметру резьбы.

7. Оптимальное расположение резца и заготовки (U-контакт) позволяет уменьшить огранку резьбы до размеров, сопоставимых с высотой микронеровностей, характеризующих шерохо-

ватость резьбовой поверхности, и не снижает качество резьбы.

Список литературы

1. Алтухов А.Ю., Лунин Д.Ю., Фомичев Е.Н. Технологические преимущества инструментального материала композит при обработке конструктивно сложных поверхностей деталей // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. ст. № 12(72) ВолГТУ. – Волгоград, 2010. – С. 15–20.

2. Алтухов А. Ю., Лунин Д. Ю., Фомичев Е. Н. Количественная оценка процессов в обработанном композитом поверхностном слое деталей машин // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. ст. № 12(72). – Волгоград, 2010. – С. 10–15.

3. Павлов Е. В., Яцун Е. И. Технологические особенности лезвийной обработки режущими инструментами оснащенными композитами // Материалы Международного станкостроительного форума: Современные тенденции в технологиях и конструкциях металлообрабатывающего оборудования. – М.: ЦВК Экспоцентр, 2011. – С. 74–76.

4. Иванов В.И., Локтионова О.Г., Учаев П.Н. Преимущества высокоэффективной лезвийной технологии обработки деталей инструментов из композита // Известия ЮЗГУ. – 2011. – № 5(38). – С. 103 – 106.

5. Ставровский М.Е., Ушаков М.В., Яцун С.Ф. О создании благоприятных условий резания прерывистых поверхностей на примере точения деталей инструментом из композита // Известия ЮЗГУ. – 2011. – № 5(38). – С. 112–119.

6. Яцун Е.И., Павлов Е.В., Ремнев А.И., Швец С.В. Моделирование и расчет шероховатости поверхности при точении резцами со вставками из композитов // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара: Самарский научный центр РАН. – 2011. – Т. 13. № 4(40). – С. 975–979.

7. Алтухов А. Ю., Яцун Е. И. Эффективная работа инструмента из композита в условиях прерывистого резания // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: Госуниверситет. УНПК. – 2011. – № 6(290). – С. 79–84.

8. Павлов Е.В., Яцун Е.И. Модельный ряд энергосберегающих инструментов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – г. Сумы, Украина, 2011. – № 2(24). – С. 50–53.

9. Кудряшов Е.А. Точение конструктивно сложных поверхностей деталей инструментом из композита // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 2(55). – С. 50–55.

10. Павлов Е.В., Яцун Е.И. Повышение эффективности процессов механической обработки конструктивно-сложных деталей инструментами из сверхтвердых материалов // Models and methods of solving farmland and applied scientific issues in physico-mathematical, technical and chemical research. Ma-

terials digest of the XXXII International Research and Practice Conference and the II stage of the Championship in physico-mathematical and technical sciences, the III stage of the Championship in chemical sciences. (London, September 25, 2012). – London, UK, 2012. – P. 25–29.

Efficient tool of composite at high-speed thread milling

E.A. Kudryashov, I.M. Smirnov

Southwest State University, 50 let Oktyabrya st. 94,
Kursk, 305040, Russian Federation

Abstract

The high efficiency of processing time-consuming and expensive parts is achieved by the development and implementation of special technologies, based on the use of a composite blade tools. Various marks of composites are widely used in metalworking as tooling finishing and finishing operations. The research results of the capabilities of the tool cutting edge composite material 10 on the example of high-speed milling of the thread (the vortex method) are presented. Comparison of the milling of threads by composite and carbide tool confirms the advantage of the first ones, ensuring high accuracy, surface roughness is not coarse 1.25 micron and high performance.

Keywords: milling by composite, forming parameters, conditions of contact cutter-workpiece, cutting, processing quality.

References

1. Altuhov A.Ju., Lunin D.Ju., Fomichev E.N. *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta: mezhvuzovskij sbornik statej*, VSTU, Volgograd, 2010, no.12(72), pp. 15-20.
2. Altuhov A.Ju., Lunin D.Ju., Fomichev E.N. *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta: mezhvuzovskij sbornik statej*, VSTU, Volgograd, 2010, no.12(72), pp. 10-15.
3. Pavlov E. V., Jacun E. I. *Materialy Mezhdunarodnogo stankostroitel'nogo foruma: Sovremennye tendencii v tehnologijah i konstrukcijah metalloobrabatyvajushhego oborudovanija* (Proceedings of the International Machine Tool Forum: Current trends in the technology and design of metal-working equipment), Moscow, Expocentre, 2011, pp. 74-76.
4. Ivanov V.I., Loktionova O.G., Uchaev P.N. *Izvestija SWSU*, Kursk, 2011, no. 5(38), pp. 103-106.
5. Stavrovskij M.E., Ushakov M.V., Jacun S.F. *Izvestija SWSU*, Kursk, 2011, no. 5(38), pp. 112-119.
6. Jacun E.I., Pavlov E.V., Remnev A.I., Shvec S.V. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAS*, Samara, Samarskij nauchnyj centr RAS, 2011, Vol. 13, no. 4(40), pp. 975-979.
7. Altuhov A.Ju., Jacun E.I. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii*, Oryol, State University Education-Science-Production Complex, 2011, no. 6(290), pp. 79-84.
8. Pavlov E.V., Jacun E.I. *Kompressornoe i jenergetičeskoe mashinostroenie*, Sumy, no. 2(24), pp. 50-53.
9. Kudryashov E.A. *Obrabotka metallov (tehnologija, oborudovanie, instrumenty)*, Novosibirsk, 2012, no. 2(55), pp. 50-55.
10. Pavlov E. V., Jacun E. I. Models and methods of solving farmland and applied scientific issues in physico-mathematical, technical and chemical research. *Materials digest of the XXXII International Research and Practice Conference and the II stage of the Championship in physico-mathematical and technical sciences, the III stage of the Championship in chemical sciences*. London, September 25, 2012. London, UK, 2012, pp. 25-29.