

**Key words:** *silicon carbide green, crushed particles, abrasive filler, flat-top honing, optimal surface layer structure, oil content, support surface, optimum microprofile surface.*

### Литература

1. Стрижаков В. Л., Чалый В. Т., Шило А. Е. Инструмент для платовершинного хонингования, соответствующий требованиям ведущих зарубежных моторостроительных фирм / Инструмент. світ. – 2008. – № 1 (37). – С. 45–48.
2. Чеповецкий И. Х., Безолюк Ю. В., Стрижаков В. Л. Формирование оптимального микропрофиля поверхности методом плосковершинного алмазного хонингования // Синтетические алмазы. – 1977. – № 1. – С. 2–24.
3. Стандарт DIN 4768. Производственная норма DV 31007 (1983).
4. Стандарт DIN 4762/E.
5. Янченко А. В., Стрижаков В. Л., Чалый В. Т. Высокоэффективный абразивный инструмент в технологии платовершинного хонингования гильз цилиндров ДВС // Инструмент. світ. – 2003. – № 1(17). – С. 31–33.
6. ТУ У 28.5-05417377-069-2002. Блок-бруски хонинговальные абразивные.
7. Патент № 61024 Украины, МПК В24D 3/14. Абразивная масса / В. Т. Чалый, В. М. Фоменко, Л. В. Пантелейчук и др. – Заявл. 27.12.2002; Опубл. 15.09.2005; Бюл. № 9.

*Поступила 13.06.17*

УДК 621.91:678.5

**Л. Н. Девин**, д-р техн. наук, **А. И. Гречук**<sup>1</sup>, **М. Л. Гаевский**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

<sup>2</sup>*Национальный технический университет Украины «КПИ» им. Сикорского, г. Киев*

### **АНАЛИЗ ИЗНОСА РЕЖУЩИХ КРОМОК СВЕРЛ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА**

*В данной работе описаны результаты экспериментальных исследований по сверлению заготовок из углепластика с измерением режущих кромок сверл. Приведены результаты анализа режущих кромок сверл из различных материалов.*

**Ключевые слова:** *композиционные материалы, углепластик, сверление, износ.*

Процесс сверления волокнистых полимерных композиционных материалов (ВПКМ) сопровождается интенсивным износом режущих кромок (РК) сверла [1] по причине упругих свойств ВПКМ и как следствие – увеличение зон контакта на задних поверхностях сверла, высокой прочности волокон композита (9,5 ГПа) [2] и необходимости применения специфических режимов резания.

Одним из ключевых показателей эффективности сверления отверстий в изделиях из ВПКМ является качество просверленных отверстий. Качество определяется такими дефектами, как деламинация, несрезанные волокна, выкрашивание матрицы с поверхности отверстия, термодеструкция [3].

Деламинация, т.е. отделение слоев композита со стороны входа и выхода сверла – один из наиболее распространенных дефектов [4]. Для предотвращения деламинации обычно применяют скорость резания 50–250 м/мин и относительно малую подачу (10–150 мкм/об) [5–6]. Увеличение скорости резания приводит к увеличению крутящего момента, а также износу [7] и деламинации [8]. Со снижением подачи уменьшается величина срезаемого материала, что, в свою очередь, увеличивает путь, который проходят РК сверла при сверлении, что также увеличивает износ. Величина износа РК сверл является ключевым фактором, влияющим на качество обработки отверстий в ВПКМ [4], в том числе увеличения деламинации [7].

Данное исследование заключалось в сверлении заготовок из углепластика сверлами из различных материалов, анализе и сравнении изношенных РК сверл с помощью разных методик.

В качестве обрабатываемого материала использовался углепластик со схемой армирования [0/90/45/-45/90/0..], который содержал 70% волокон и 30% матрицы, диаметр волокна составлял 7 мкм.

Сверление осуществляли на станке *SAJO HMC 40* (Швеция) с частотой вращения шпинделя 2000 об/мин и подачей 20 мкм/об.

Использовали сверла диаметром 8 мм из быстрорежущей стали (*HSS-G*), твердого сплава, а также сверла со вставками из алмазно-твердосплавных пластин (АТП) [9].

Геометрические параметры сверл измеряли с помощью 3D микроскопа *Alicona Infinite Focus* в Лундском университете (Швеция). Профили режущих кромок сверл определяли используя стандартную утилиту *Alicona – IF-Edge Master Module*, в соответствии с актуальными международными стандартами [5–13]. Геометрические параметры сверл приведены в табл. 1.

Таблица 1. Геометрические параметры сверл

№	Материал режущей части сверла	Угол, град.					Радиус закругления РК, мкм
		задний	задний вспомогательный	передний	наклона стружечной канавки	в плане	
1	Быстрорежущая сталь	20	30	-10..20	29	120	18
2	Твердый сплав		45		20		24
3	АТП		35	1	0		11

Определение профилей осуществлялось путем построения 50 сечений на периферическом участке режущей кромки длиной 1,5 мм. На рис. 1 изображены измеренные изношенные и неизношенные профили режущих кромок сверл. Общий путь сверления для каждого сверла составлял 240 мм.

Используя методику анализа режущей кромки сверла, разработанную Робертом Воссом [1] для сверления углепластиков, был рассчитан комплексный критерий ( $Q_{crit}$ ) оценки качества режущей кромки по формуле:

$$Q_{crit} = \omega_1 v_1 l_\gamma + \omega_2 v_2 \frac{1}{r_{sg}} + \omega_3 v_3 r_{peak} ,$$

где,  $l_\gamma$  – длина износа по передней поверхности режущей кромки, мкм, (рис.1);  $r_{sg}$  – радиус окружности проведенной через точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , которые лежат на задней поверхности изношенной РК, где  $a$  – точка контакта между плоскостью резания и задней поверхностью,  $c$

– точка контакта между задней поверхностью и плоскостью параллельной плоскости резания на расстоянии  $\theta$  от нее,  $c$  – произвольная точка части задней поверхности  $ab$ , лежащая между точками  $a$  и  $b$ ;  $\theta$  – диаметр волокна углепластика,  $r_{peak}$  – радиус режущей кромки, мкм,  $\omega_{1-3}$  и  $\nu_{1-3}$  – безразмерные весовые коэффициенты, где  $\omega_1 = 0.45$ ,  $\omega_2 = 0.2$ ,  $\omega_3 = 0.35$ ,  $\nu_1 = 0.05$ ,  $\nu_2 = 10$ ,  $\nu_3 = 0.09$  [1].

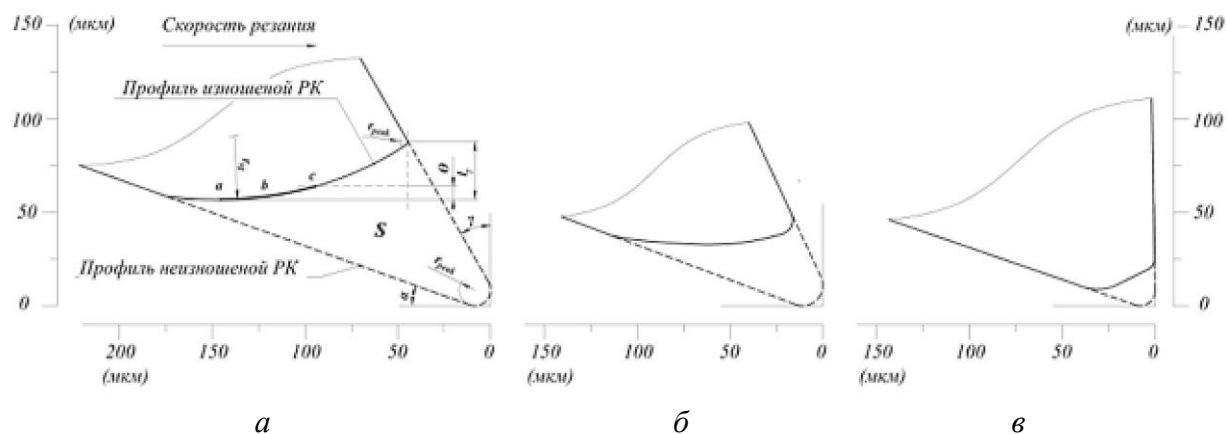


Рис. 1. Профили режущих кромок сверл: а – из быстрорежущей стали; б – из твердого сплава; в – со вставками из АТП

Все перечисленные параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2. Измеряемые величины РК

Материал режущей части сверла	$l_\gamma$	$r_{peak}$	$r_{sg}$	$Q_{crit}$	$VB$	$S \times 10^3$
	(мкм)					( $\text{мкм}^2$ )
Быстрорежущая сталь	32.5	4.8	398	0.89	136.1	5.7
Твердый сплав	21.3	7.8	230	0.73	85.3	1.96
АТП	10.1	7	164	0.5	35.6	0.35

В соответствии с методикой Р. Восса, работоспособность инструмента обеспечивается при условии  $\theta < Q_{crit} < 1$ . При  $Q_{crit}$ , близком нулю, исследуемая РК обеспечивает лучшие условия резания углепластика [1]. В соответствии с расчётами, РК сверла со вставками из АТП имеет наименьший критерий  $Q_{crit}$ , равный 0.5, который на 42% ниже чем у РК сверла из твердого сплава и на 78%, чем у быстрорежущей стали. Величина износа по задней поверхности  $VB$  [11] и площадь износа  $S$  (табл.2, рис. 1) также значительно ниже для РК сверла с АТП, по сравнению с РК сверлами из твердого сплава и быстрорежущей стали.

Критический износ РК сверла  $VB$  для сверления волокнистых композиционных материалов в соответствии с исследованиями А. Степанова [2, и др. 6–8] составляет 200 мкм. График зависимости соотношения  $VB$  и  $Q_{crit}$  к их критическим величинам от материала режущей части сверла, показаны на рис. 2.

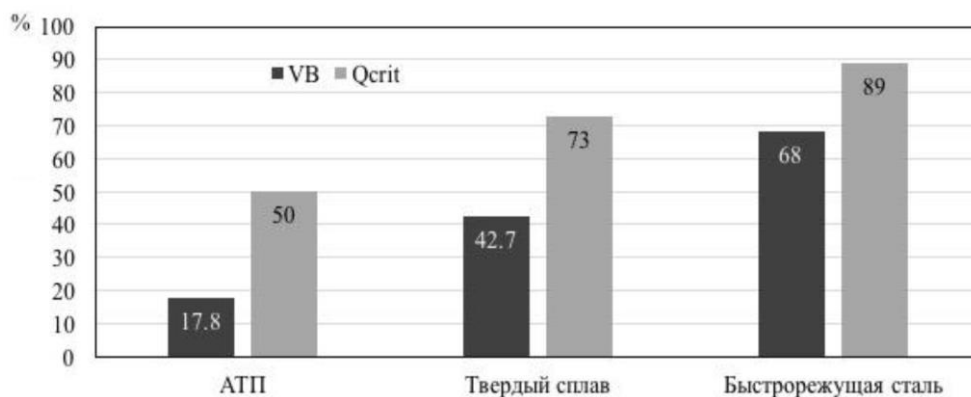


Рис. 2. График зависимости соотношения износа  $VB$  и критерия качества  $Q_{crit}$  к их критическим значениям от материала режущей части сверла

Износ  $VB$  РК сверла со вставками из АТП составляет 17,8% критического износа, в то время как сверл из быстрорежущей стали и твердого сплава – соответственно 42,7 и 68%.

Из полученных результатов определения величины износа режущих кромок сверл следует, что использование АТП в сверлах для обработки углепластиков является эффективнее, по сравнению с твердым сплавом и быстрорежущей сталью.

Величины рассчитанного критерия работоспособности РК сверл  $Q_{crit}$  продемонстрировали близкие результаты к традиционному методу оценки износа инструмента  $VB$ . Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,99. Критерий  $VB$  является классическим показателем меры износа РК инструмента, который является проекцией задней поверхности РК на плоскость резания. Таким образом,  $VB$  зависит от заднего угла, в отличие от  $Q_{crit}$ .

Методика Р. Восса для анализа режущих кромок сверла, которая основывается на графоаналитическом вычислении критерия работоспособности, является более эффективным и универсальным способом оценки состояния РК сверл для процессов сверления ВПКМ, так как она учитывает особенности сверления ВПКМ, такие как: диаметр волокна композита, величину участка изношенной РК, радиусы изношенной и новой РК, а также является независимой от величины заднего угла.

*В даній роботі описано результати експериментальних досліджень зі свердління заготовок з вуглепластику та вимірюванню різальних кромок свердел. Наведено результати аналізу різальних кромок свердел з різних матеріалів.*

**Ключові слова:** композиційні матеріали, вуглепластик, свердління, знос.

#### ANALYSIS OF CUTTING EDGE WEAR DURING DRILLING COMPOSITE MATERIALS

*In this article is focused on results of drilling carbon fiber reinforcement composites with the measurement cutting edges of drill bits. That includes the results of analysis of cutting edges from different kind of materials.*

**Key words:** composite materials, CFRP, drilling, tool wear.

#### Литература

1. Optimised approach for characterisation of cutting edge micro-geometry in drilling carbon fibre reinforced plastics (CFRP) / R. Voss et al. //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – P. 1–16.

2. Степанов А. А. Обработка резанием высокопрочных композиционных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1987. – 176 с.
3. Lazar M., Xirouchakis, P., Experimental analysis of drilling fiber reinforced composites. International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2011. – 51 – P. 937–946.
4. Faraz A., Biermann D., Weinert K. Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2009. – 49. – N 15. – P. 1185–1196.
5. Effect of workpiece stiffness on thrust force and delamination in drilling thin composite laminates / B. Luo, Y. Li, K. Zhang, et al // J. of Composite Mater.– 2016. – 50(5). – P. 617–625.
6. Lissek, F., Tegas, J., Kaufeld, M. Damage Quantification for the Machining of CFRP: An Introduction about Characteristic Values Considering Shape and Orientation of Drilling-induced Delamination // Procedia Eng. – 2016. – 149. – P. 2–16.
7. Romoli L., Dini G., Experimental study on the influence of drill wear in CFRP drilling process // Proceedings of the Sixth CIRP International Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Naples – Italy, 2008.
8. Chen W. C., Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates // International Journal of Machine Tools & Manufacture.–1997.– N 37 (8). – P. 1097–1108.
9. Пат. України № 112821. МПК В23В 51/08. Свердло для обробки полімерних композиційних матеріалів / Л. Н. Девін, А. І. Гречук, В.М. Боженко. – Опубл. 26.12.16, Бюл. № 24.
10. ISO 3002/2, Basic quantities in cutting and grinding — Part 2: Geometry of the active part of cutting tools — General conversion formulae to relate tool and working angles.
11. DIN 6581:1985-10 Terminology of chip removing; reference systems and angles on the cutting part of the tool.
12. DIN 6582:1988-02 Terminology of cutting; additional terms for the tool, wedge and the cutting edge.
13. ISO 3685:1993(E), Tool-life testing with single-point turning tools

*Поступила 12.06.17*

УДК 621.921.34-492.2:620.22-419

**В. С. Гаврилова<sup>1</sup>; С. В. Жильцова**, канд. хим. наук<sup>2</sup>; **Н. В. Бабкина**, канд. хим. наук<sup>3</sup>;  
**Е. А. Пашенко**, д-р техн. наук<sup>1</sup>; **И. Ю. Росточкий**, канд. техн. наук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

<sup>2</sup>*Донецкий национальный университет имени Василя Стуса, г. Винница, Украина*

<sup>3</sup>*Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, г. Киев*

## **ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННОЙ ТВЕРДОЙ СМАЗКИ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

*Приведены результаты исследований методом динамического механического анализа вязкоупругих свойств эпоксидно-полисилоксанового нанокомпозита с повышенной адгезией к*