

УДК 621.95

Г.Л. ХАВИН

## ИЗНАШИВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА И КРИТЕРИИ ЗАТУПЛЕНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ КОМПОЗИТОВ

Надано аналіз процесу зношування і формулювання критерію затуплення для свердел з конфігурацією відмінною від традиційного спірального свердла. Розглянуто вплив технологічних факторів, марки і типу переплетення композиту, об'ємного вмісту наповнювача на інтенсивність зношування і розшарування в отворах під час свердління багатослойних композиційних матеріалів. Представлено аналіз експериментальних і теоретичних досліджень якості роботи спеціальних свердел. Проаналізовано вплив різних технологічних факторів на зменшення величини дефектів.

**Ключові слова:** критерій затуплення, зношування спеціальних свердел, дефекти свердління.

Представлен анализ процесса изнашивания и формулировка критерия затупления для сверл с конфигурацией отличной от традиционного спирального сверла. Рассмотрено влияние технологических факторов, марки и типа переплетения композита, объемного содержания наполнителя на интенсивность изнашивания и расслоение в отверстиях при сверлении многослойных композиционных материалов. Представлен анализ экспериментальных и теоретических исследований качества работы специальных сверл. Проанализировано влияние различных технологических факторов на уменьшение величины дефектов.

**Ключевые слова:** затупления, изнашивание специальных сверл, дефекты сверления.

The analysis of the wear process and the formulation of criteria for tool dulling's for drills with a configuration different from the conventional spiral drill is presented. The influence of process factors, and the composite mark and his weave type, the volume content of the filler on the wear and delamination in the holes for drilling multilayer composite materials are considered. The analysis of experimental and theoretical studies of the quality of special drills operation is presented. So, affecting of different process factors on the reduction in the amount of defects is analyzed.

**Keywords:** dulling tools criterion, special drills wear, drilling defects.

**Введение.** В большинстве приложений главным требованием к сверлению отверстий в композитах является его высокое качество. Большинство отверстий в композитах — это крепежные отверстия под заклепки или болтовые соединения различной степени точности. Во многих случаях качество этих соединений определяет прочность или усталостную прочность всего изделия в целом. Поэтому операция сверления композитов должна сопровождаться минимальным появлением различных дефектов с минимальной величиной и безопасной ориентацией.

Интенсивность воздействия различных композитов и влияние армирования на износ инструмента изучены достаточно мало. Имеются частные экспериментальные исследования, которые пока не позволяют сделать какие-либо однозначные выводы и получить обобщающие закономерности. Из природы свойств наполнителя и связующего можно предположить, что влияние физико-механических характеристик наполнителя на изнашивание инструмента, будет более значительным, чем связующего. Поэтому в исследованиях по этому вопросу уделяется больше внимания влиянию армирования и количества наполнителя на интенсивность износа, чем связующего.

**Анализ последних исследований и литературы.** Считается, что воздействие композита на материал сверла подобно действию шлифовального круга. В результате имеет место один из классических случаев абразивного износа в виде царапания. Интенсивность этого воздействия зависит от материала наполнителя и его процентного содержания. Кроме того, вид армирования композита может привести к большей интенсификации изнашивания инструмента, чем даже тип наполнителя.

В [1] приведены данные, характеризующие интенсивность износа сверл при обработке различных типов стеклопластиков. Сравнивалась интенсивность

величины износа сверл по задней грани заборного конуса при постоянном значении стойкости (износ при обработке стеклотекстолита СТЭФ принимался за единицу).

Таблица 1 – Сравнительная интенсивность воздействия стеклопластиков на материал инструмента

P18			BK8		
СТЭФ	АГ- 4С	СВАМ	СТЭФ	АГ- 4С	СВАМ
1	0,65	0,85	1	1,35	1,30

Данные в табл.1 не являются характеристикой их относительной истирающей способности, так как интенсивность затупления инструмента является результатом совместного воздействия истирающей способности и температуры в зоне резания.

Характерные зависимости влияния количества наполнителя на износ инструмента получены в [2], где исследовалось влияние количества просверленных отверстий и количества наполнителя на износ сверл и качество просверленных отверстий. Было изучен процесс сверления 8 мм эпоксидного перекрестноточного стеклопластика сверлами диаметром 8 мм из быстрорежущей стали с углом при вершине 118° и углом наклона винтовой канавки 30°. Содержание стеклянных волокон принималось равным 30, 40, 50, 60 и 70%, частота вращения шпинделя – 470 об/мин; подача – 0,076 мм/об. Износ контролировался по мере сверления 10, 20, 40 и 55 отверстий. Полученные экспериментальные результаты представлены на рис. 1.

Анализ полученных результатов позволил авторам сделать вывод о том, что существенная интенсификация износа инструмента начинается с увеличением содержания наполнителя порядка 50%. Было получено линейное уравнение регрессии вида

$$\Delta h_z = 0,005 + 0,05 \cdot N + 0,12 \cdot V ,$$

© Г.Л. Хавин, 2016

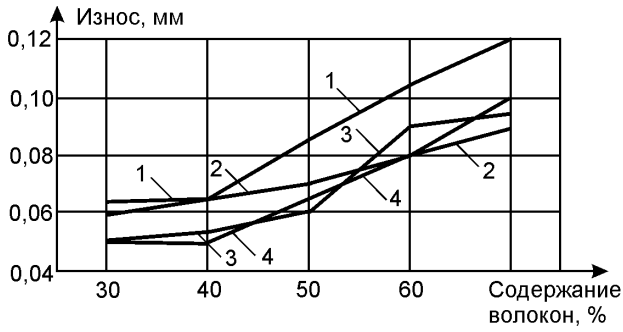


Рис. 1 – Влияние содержания стеклянных волокон и числа просверленных отверстий на износ инструмента: 1 – 55 отверстий; 2 – 40 отверстий; 3 – 20 отверстий; 4 – 10 отверстий

где  $\Delta h_z$  – величина износа по задней поверхности, мм;  $N$  – число просверленных отверстий;  $V$  – содержание наполнителя, %. Рост износа для композитов с большим содержанием наполнителя, как правило, объясняют увеличением числа контактных взаимодействий режущей кромки с волокнами. Вместе с тем увеличение числа взаимодействий также приводит к росту температуры в контакте и изменению условий резания волокон. Повышение температуры режущих кромок способствует усилению износа режущих кромок. Усиление износа режущих кромок по мере увеличения содержания наполнителя отмечено также в работе [3]. Представленные на рис. 1 результаты также хорошо согласуются с данными из [4], полученными при изучении изнашивания 6 стеклопластиков на основе нейлона.

Влияние ориентации армирующих волокон наполнителя на интенсивность изнашивания при сверлении практически не изучалась. Этот фактор иногда учитывался при комплексном экспериментальном исследовании износа инструмента вместе с другими параметрами процесса сверления. Это связано с тем, что в отличие от, например, токарной обработки влияние ориентации армирующего материала не играет существенной роли. Большинство армированных композитов по типу ориентации наполнителя подразделяют на:

- композиционные пластики с направленным расположением волокон на основе ровницы, обладающие ярко выраженной анизотропией свойств;
- композиты с взаимно перпендикулярным расположением волокон на основе тканей, такие как текстолиты;
- пластики с неориентированным расположением волокон или жгутов, имеющие хаотическое или случайное наполнение и, поэтому их считают условно изотропными.

В большинстве практических приложений влияние армирования в эмпирических законах для определения величины изнашивания сверл и их стойкости не учитывается. Так в [5] обработка экспериментальных данных по выяснению влияния на износ сверл из быстрорежущей стали подачи, частоты вращения шпинделя, диаметра сверла и ориентации армирования при сверлении стеклопластика, позволила сделать следующие выводы. Наибольший вклад в изнашива-

ние инструмента (потеря веса после сверления 75 отверстий) вносит подача, затем частота вращения шпинделя, диаметр инструмента и в последнюю очередь тип армирования. Его влияние оценивается примерно в 7,6% [5]. При этом вклад каждого типа армирования примерно одинаков для всех рассмотренных значений подач, скоростей и диаметров.

Несмотря на установившееся мнение об абразивной природе истирания инструмента в процессе сверления композитов, некоторыми исследователями доказана возможность доминирования процессов, имеющих отличный характер от абразивного. Так согласно [4] существует, по крайней мере, два случая, которые не отличаются по своему действию от классического абразивного изнашивания. В первом случае, когда имеет место жесткое контактное взаимодействие, волокна наполнителя вызывают появление трещин в зернах карбидов материала режущего инструмента. В результате происходит хрупкое разрушение подобное усталостному разрушению. Во втором случае, волокна наполнителя истирают связующее в инструменте, и инициирует появление усталостных трещин. Также считается, что анизотропия свойств карбидных зерен способствует их сдвигу и переориентации.

Проведенный в [6] экспериментальный анализ для трех типов инструментов из вольфрамового твердого сплава: спирального сверла с углом при вершине  $120^\circ$ ; spur point drill и сверла с двойной заточкой, для шести видов тканых эпоксидных углепластиков показал следующее. Эпоксидное связующее оказывает значительный эффект на характер повреждения композита при сверлении и величину осевой силы. Кроме того, свойства связующего оказывают существенное влияние на стойкость инструмента. Экспериментально был подтвержден факт того, что связующее с более высокой температурой отверждения обладает повышенными абразивными свойствами. Для сверла с двойной заточкой показано, что чем мягче связующее, тем выше стойкость инструмента.

Анализ процесса сверления всеми инструментами для пяти значений подачи и трех скоростей показал, что с точки зрения появления сколов и расслоений spur point drill показывает лучший результат для материала с жестким связующим. В то же время сверло с двойной заточкой дает лучшие результаты для материалов с мягким наполнителем.

**Цель работы.** Главной целью работы является всесторонний анализ процесса изнашивания сверл и формулировка критериев их затупления при сверлении композитов. Особое внимание уделяется анализу изнашивания сверл, конфигурация которых отличается от спирального сверла и его модификаций, износ которых имеет свою ярко выраженную специфику и является характерным в каждом случае. Геометрия режущей части специальных сверл определяет вид и интенсивность его изнашивания. Создание сверл со специальной геометрией режущей части, связано с обеспечением высокого качества обработки отверстий. При этом может не выполняться высокое сопротивление износу и стойкость инструмента.

Также целью работы является анализ влияния различных факторов технологического процесса, мар-

ки и типа переплетения композита, объемного содержания наполнителя.

**Постановка проблемы.** Изнашивание специальных сверл проявляется в каждом конкретном случае по-своему. Поэтому общая закономерность предсказания износа отсутствуют. Существует многочисленные экспериментальные работы, описывающие поведение того или иного типа инструмента.

Так в работе [7] были проведены эксперименты по сверлению стеклопластика с использованием стандартного спирального сверла, сверла конструкции Жирова и многогранного сверла диаметром 12 мм из твердого сплава. Скорость резания изменялась в двух диапазонах: от 15,7 м/мин до 62,8 м/мин и 440 м/мин до 600 м/мин, что позволило сравнить результаты изменения осевой силы, крутящего момента и поверхностной шероховатости при обычных и высоких скоростях. Подача изменялась от 0,01 мм/об до 0,06 мм/об. Для высоких скоростей шпинделя сила резания уменьшается, и сверла со специальной геометрией показывают лучшее качество обработки, особенно сверло конструкции Жирова. Многогранное сверло дает лучшее качество по эффекту расслаивания.

Изменение структуры материала главное условие появления расслаивания при получении отверстий в композитах [8–17]. Множество исследователей работало над обрабатываемостью полимерных композитов на основе совершенствования вершины сверла [8,18–24]. В работе [22] были выполнены экспериментальные исследования по сверлению эпоксидных углепластиков, и был сделан вывод о том, что высокая скорость и маленькая подача, главные факторы качественной обработки отверстий. Увеличение скорости резания дает увеличение производительности обработки. Другая возможная выгода увеличения скорости резания состоит в уменьшении силы резания [25]. Увеличение скорости резания приводит к уменьшению осевой силы и, как следствие, к уменьшению степени расслаивания поверхности на входе и выходе сверла. Сверление композитов с высокой скоростью было проанализировано в работах [26,27]. Был сделан вывод о том, что главной проблемой для работы с высокой скоростью является износ сверла. Четырех-, восьмигранные, Jo-point сверла, с перевернутым конусом и сверла со специальной геометрией все шире используются при проектировании инструмента для сверления композитов [24,27–30].

Сравнение работы сверл различной геометрии показало, что сверло Жирова работает с наименьшим значением осевой силы (порядка 20 Н) на высоких скоростях по сравнению с работой на традиционных скоростях (порядка 50 Н) и дает более высокую точность отверстия.

Распушивание волокон на выходе инструмента более интенсивно для спирального сверла и сверла Жирова. Многогранное сверло давало чистое отверстие. Расслаивание оценивалось традиционным фактором расслоения (отношение диаметров). Фактор расслоения возрастает с увеличением подачи и скорости вращения шпинделя. Шероховатость обработанной поверхности ( $Ra$ ) была лучшей для сверла Жирова (4–5 мкм) при низкой подаче. Многогранное сверло также дает высокое качество поверхности для низкой

подачи, по сравнению со стандартным спиральным сверлом. Сверление отверстий всеми видами сверл показывает высокую степень шероховатости поверхности и только незначительную разницу в факторе расслоения (возможно из-за высокой температуры). Отмечается, что для стандартного спирального сверла и многогранного сверла за пределами подачи 0,03 мм/об имеет место резкий рост величины шероховатости поверхности. Сверление всеми типами сверл обеспечивало высокую округлость отверстия, но сверло Жирова и многогранное сверло показывают более низкое отклонение, порядка 6–8 мкм, которое при сверлении композитов оценивается как незначительное.

С другой стороны, высокая скорость резания является главной причиной изнашивания сверл за счет температурного разогрева материала сверла, и абразивной природы стружки. По мере изнашивания инструмента начинает возрастать осевая сила. Так, стойкость инструмента может быть предсказана измерением осевой силы для соответствующего числа отверстий. Для изучения изнашивания твердосплавного сверла использовались условия резания: скорость резания 518 м/мин и подача 0,02 мм/об.

Для стандартного спирального сверла осевая сила в начале резания резко возрастает потому, что идет этап приработки. Начальный износ длится до 10 отверстий, и затем стабилизируется. По достижении 325 просверленных отверстий осевая сила начинает круто возрастать из-за быстрого изнашивания, и составляет для 325-го отверстия 60 Н. Для сверла Жирова осевая сила по мере износа также увеличивается резко. Начальный износ длится примерно до 25-го отверстия, после чего изнашивание стабилизируется и опять начинает резко расти после 340 отверстий, достигая при этом 30 Н. Для многогранного сверла до 10-го отверстия осевая сила резко возрастает с 10 до 40 Н, после чего изнашивание стабилизируется и для 60-го отверстия составляет 60 Н. Далее осевая сила резко увеличивается из-за износа.

В работе [31] было экспериментально исследовано сверление тканого углепластикового ламината переплетением 2/2, толщиной 10 мм, с содержанием наполнителя 55–60%, четырьмя типами инструментов из твердого сплава без покрытия диаметром 4 мм: двугранное стандартное спиральное сверло – 1; трехгранные сверла с углами при вершине 150 и 135° – 2,3 и специальное сверло с 4-мя прямыми гранями и вершиной сложной конфигурации в виде двух ступеней – 4. В проведенных экспериментах контролировалось две основные величины: максимальный износ граней  $VB_{max}$ , представленный на рис.2,а и закругление режущей кромки CER, представленное на рис.2,б.

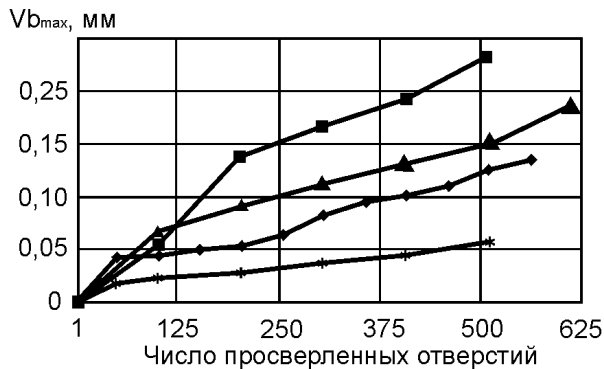
**Результаты анализа исследований.** Анализ полученных результатов позволил сделать авторам ряд важных выводов. Во-первых, наблюдается очень четкая взаимосвязь между значением величины закругления режущей кромки и величиной действующей нагрузки, а также между закруглением и расслоением материала на входе/выходе инструмента. Во-вторых, закругление режущей кромки развивается относительно равномерно и практически идентично для всех

видов инструментов, использованных в экспериментах. Среди инструментов наибольший износ грани наблюдался для второго и третьего инструмента (трехгранные сверла с углом при вершине  $150^\circ$  и  $135^\circ$ ), а затем для первого. Сверло с четырьмя очень длинными режущими гранями, показало самый низкий износ по граням. Зависимость осевой силы и крутящего момента от износа по грани носят традиционный квазилинейный характер. При этом наибольшие значения осевой силы имели место для сверла с углом при вершине  $150^\circ$ , а наибольшие значения крутящего момента для четвертого инструмента с четырьмя режущими кромками.

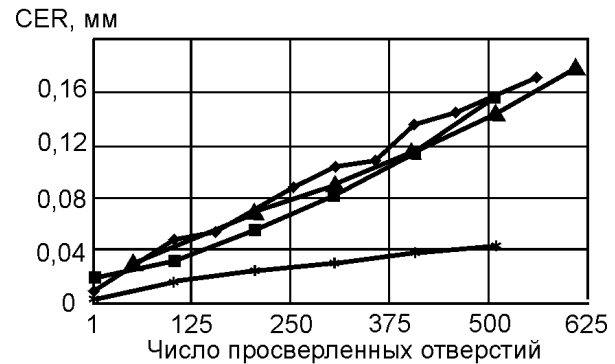
Зависимость величины закругления режущей кромки от числа просверленных отверстий носит линейный характер и практически идентично для всех видов инструментов кроме четвертого, у которого значения закругления режущей кромки заметно ниже. С увеличением закругления режущей кромки растут значения осевой силы и крутящего момента. Причем наиболее интенсивно осевая сила растет для инструмента с углом при вершине  $150^\circ$ , а значение крутящего момента для четвертого инструмента. Результаты

зависимости влияния износа по грани и закругления режущей кромки по своему качественному влиянию идентичны между собой.

Изнашивание ступенчатого и стандартного спирального сверла экспериментально изучалось в [32]. Проведено сравнительное исследование работы инструментом из твердосплавного материала K20 с углом при вершине  $136^\circ$  и вторым углом у ступенчатого сверла  $90^\circ$ . Задний угол у спирального сверла –  $8,58^\circ$ , у ступенчатого сверла –  $8,65^\circ$ , угол наклона винтовой канавки –  $32,5^\circ$ . Частота вращения шпинделя принималась равной 2020 и 2750 об/мин, подача принималась – 0,05; 0,10; 0,15 и 0,30 мм/об. Экспериментальные результаты работы ступенчатым сверлом представленной геометрии в выбранном диапазоне изменения технологических параметров показали, что стойкость ступенчатого инструмента заметно лучше, чем традиционного спирального. Это можно видеть из рис.3, где представлены кривые износа в зависимости от числа просверленных отверстий. При этом значение осевой силы, как и следовало ожидать, для спирального сверла растет более интенсивно, чем для ступенчатого сверла, рис.4.



а



б

Рис. 2 – Зависимость величины максимального износа по грани режущих инструментов – а и закругления режущей кромки инструментов – б, от количества просверленных отверстий: скорость резания – 50 м/мин; подача – 0,1 мм/об; сверление без охлаждения

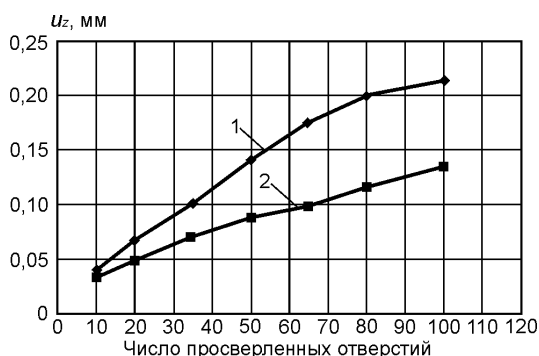


Рис. 3 – Зависимость величины износа по задней поверхности сверла  $u_z$  в зависимости от числа просверленных отверстий [32]: 1 – стандартное спиральное сверло; 2 – ступенчатое сверло

**Выводы.** Из теории и практики сверления композитов известно, что с увеличением подачи растет осевая сила и это приводит к интенсификации расслоения на входе и выходе инструмента и росту шероховатости.

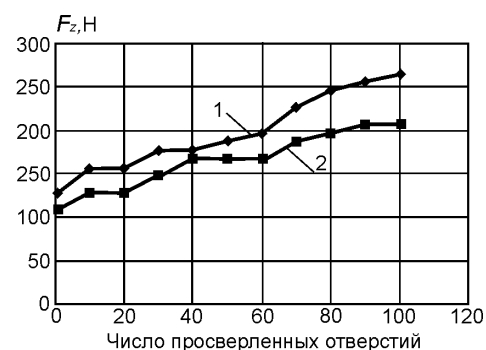


Рис. 4 – Изменение величины осевого усилия  $F_z$  от числа просверленных отверстий [32]: 1 – стандартное спиральное сверло; 2 – ступенчатое сверло

Это явление характерно практически для всех видов сверл. Лучшее качество поверхности получается при сверлении твердосплавным сверлом практически для всех сочетаний подачи и частоты вращения шпинделя.

Величина шероховатости независимо от типа и формы армирования, типа связующего, метода укладки и изготовления композита для выбранного инструмента, зависит, прежде всего, от сочетания величины подачи и частоты вращения шпинделя.

Из представленных физических представлений, величина разрушения вокруг отверстия возрастает с ростом осевой силы и имеет тенденцию к сглаживанию при значительном увеличении осевой силы. Величина дефектов возрастает с увеличением диаметра отверстия и можно предположить, что несоответствие диаметров будет расти более быстро с его увеличением.

Высокая скорость и малая подача наилучшее сочетание для эффективной обработки внутри выбранного интервала изменения параметров.

Специальная геометрия сверл позволяет улучшить качество производимых отверстий, особенно сверло Жирова. Многогранное сверло позволяет сверлить отверстия лучше других. Специальная серповидная форма режущих краев позволяет предварительно деформировать волокна в направлении растяжения и отделяет их в осевом направлении, что образует чистый срез и гладкую поверхность. Многогранное сверло дает также меньшее расслаивание.

Сверло Жирова и многогранное сверло производят лучшую финишную поверхность (3-5 мкм) для низких подач, по сравнению со спиральным сверлом. С увеличением скорости резания значительно уменьшается осевая сила, однако просверленное отверстие обладает повышенной шероховатостью и только незначительным отличием фактора расслаивания, что можно объяснить действием высокой температуры сверления.

Изучение сверления при высоких скоростях резания показало, что наилучшим образом себя зарекомендовало сверло Жирова так, как работает с более низкой осевой силой и имеет наибольшую стойкость.

#### Список литературы

- Буловский П.И. Механическая обработка стеклопластиков / П.И. Буловский, Н.А. Петрова – Л.: Машиностроение, 1969. – 152 с.
- Influence of fibre volume reinforcements in drilling GFRP laminates / D.A. Budan, S. Basavarajappa, M.K. Prasanna, A.G. Joshi // Journal of Engineering Science and Technology. – 2011. – V.6, N 6. – P.733–744.
- Rawat S. Wear mechanisms and tool life management of WC–Co drills during dry high speed drilling of woven carbon fibre composites / S. Rawat, H. Attia // Wear. – 2009. – 267, N5-8. – P. 1022–1030.
- Jawali D. Physicomechanical properties, machinability and morphological behavior of short glass fiber reinforced nylon 6 composites /D. Jawali, B. Siddeshwarappa, P. Siddaramaiah// Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2006. – V.25, N13. – P.1409–1418.
- Rao S.U. Impact of process factors on twist drill wear in machining GFRP composites by applying Taguchi design analysis and ANOVA technique / S.U. Rao, L.L.R. Rodrigues // International Journal of Advanced Technology & Engineering Research. – 2014. –V.4, N 3. – P. 12–17.
- Royer R. Influence of CFRP properties on drilling / R. Royer, E. Merson // 21 Congress Francais de Mecanique, Bordeaux. –2013, 26 au 30 aout. – P. 1–6.
- Krishnaraj V. Effects of Drill Points on Glass Fibre Reinforced Plastic Composite While Drilling at High Spindle Speed / V. Krishnaraj // Proceedings of the World Congress on Engineering, 2008. – Vol. II, WCE 2008, July 2–4, 2008, London, U.K.
- Davim P.J. Study of delamination in drilling fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments / P.J. Davim, P. Reis // Computer Structure. – 2003 – 59. – P. 481–487.
- Tsao C.C. Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material / C.C. Tsao, H. Hocheng // Int. J. of Machine tools and Manufacture. – 2004. – 44. – P. 1085–1090.
- Hocheng H. Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits / H. Hocheng, C.C. Tsao // J of Mat. Proc. Tech. –2004 – 140. – P. 335–339.
- Drilling of composite structures / F. Lachaud, R. Piquet, F. Collobet, L. Surcin // Composite Structures. – 2001. – V.52. – P. 511–516.
- Ho-Cheng H. On drilling characteristics of fiber-reinforced thermosets and thermoplastics / H. Ho-Cheng, H.Y. Puw // Int. J. of Mach. Tool and Manufacture. – 1992. – 32, N4 – P. 583–592.
- Bhattacharya D. A study of hole drilling in Kevlar Composites / D.A. Bhattacharya, D.P.W. Horrigan// Comp. Sci. & Tech.– 1998. – 58.– P. 267–283.
- Dillio A. Cutting mechanism in drilling of aramide composites / A. Dillio, V. Tagliaferri, F. Veniali // Int J of Mach. Tool & Manuf. 1991. – 31, N2 – P. 155–165.
- Tsao C.C. Effect of exit back-up on delamination in drilling composite materials using saw drill and core drill / C.C. Tsao, H. Hocheng // Int. J of Mach. Tools & Manuf. – 2005. – 45. – P. 1261–1270.
- Tsao C.C. Computerized tomography and C-Scan for measuring delamination in the drilling of composite materials using various drills / C.C. Tsao, H. Hocheng // Int. J of Machine Tools & Manufacture. – 2005. – 45. – P. 1282–1287.
- Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills / R. Piquet, B. Ferret, F. Lachaud, P. Swider // Composites Part A: Appl. Sci. Manufact. – 2003. – 31, N10. – P. 1107–1115.
- Davim P.J. Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up / P.J. Davim, P. Reis, A.C. Conceicao // Comp. Sci. and Tech. – 2004. – 64. – P. 289–297.
- Ramkumar J. Effect of workpiece vibration on drilling of GFRP laminates / J. Ramkumar, S.K. Malhotra, R. Krishnamurthy // J. of Math. Proc. Tech. 2003. – 152. – P. 329–332.
- An enhancement of the machining performance of GFRP by oscillatory assisted drilling / J. Ramkumar, S. Aravindan, S.K. Malhotra, R. Krishnamurthy // Int. J Adv. Manuf. Tech. – 2004. – 23. – P. 240–224.
- Bhatnagar N. Experimental investigation of drilling of CFRP composites / N. Bhatnagar, N.K. Naik, N. Ramakrishnan // Matls. and Manuf. Proc. – 1993.– 12, N8. – P. 683–701.
- Chen W.-C. Some Experimental investigation in the drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composite laminates / W.-C. Chen // Int. J of Mach. Tool & Manuf. – 1997. – 37, N8. – P. 1097–1108.
- Khashaba U.A. Delamination in drilling GFR-thermoset composite structures / U.A. Khashaba // Computer structure. – 2004. – 63, N3. – P. 313–327.
- Sonbaty El. Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites / El. Sonbaty, U.A. Khashaba, T. Machaly // Computer Structure. – 2004. – 63. – P. 329–338.
- Raj Aggarwal T. General theory and its application in the high-speed milling of aluminum / T. Raj Aggarwal // Robert I. King (Ed), Handbook of High-speed Machining Technology, Chapman and Hall, – 2004. – P. 197–240.
- Lin S.C. Drilling unidirectional glass fiber-reinforced composite materials at high speed / S.C. Lin, J.-M. Shen // J Comp. Mat. – 1999. – 33, N9. – P. 827–851.
- Abrate S. Machining of Composites / S. Abrate // In: Mallick PK, editor Composites engineering hand book, New York, Marcel Dekker Inc. – 1997. – P. 777–807.
- Komaduri R. Machining of fibre-reinforced composites / R. Komaduri // Mechanical Engineering. – 1993. – 115, N4. – P. 58–66.
- Wu S.M. Multifacet drills / S.M. Wu // In: Robert I. King, Editor, Handbook of High-speed Machining Technology, London: Chapman and Hall. – 1985. – P. 305–316.
- Kohkonen K.E. Composite Machining / K.E. Kohkonen, P. Nitin // In: Peters ST, Editor, Hand book of Composites, California, Chapman & Hall. – 1998. – P. 596–609.
- Faraz A. Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates / A. Faraz, D. Biermann, K. Weibert // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2009. – 49. – P. 1185–1196.
- Effect of tool geometry in drilling of aerospace materials / N.V. Kumar, G.G. Nathan, Dr. V. Krishnaraj, G. Sasicharan // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2013. –V.4, N8. – P. 733–744.

**Bibliography (transliterated)**

1. Bulovskiy P.I., Petrova N.A. *Mechanicheskaya obrabotka stekloplastikov* [Machining of Glass Reinforced plastic], Leningrad, Mashinostroenie, 1969. 152 p.
2. Budan D.A., Basavarajappa S., Prasanna M.K., Joshi A.G. Influence of fibre volume reinforcements in drilling GFRP laminates. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2011, vol. 6, no. 6, pp. 733–744.
3. Rawat S., Attia H. Wear mechanisms and tool life management of WC–Co drills during dry high speed drilling of woven carbon fibre composites. *Wear*. 2009, vol. 267, no. 5–8, pp. 1022–1030.
4. Jawali D., Siddeshwarappa B., Siddaramaiah P. Physicomechanical properties, machinability and morphological behavior of short glass fiber reinforced nylon 6 composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2006, vol. 25, no. 13, pp. 1409–1418.
5. Rao S.U., Rodrigues L.L.R. Impact of process factors on twist drill wear in machining GFRP composites by applying Taguchi design analysis and ANOVA technique. *International Journal of Advanced Technology & Engineering Research*. 2014, vol. 4, no. 3, pp. 12–17.
6. Royer R., Merson E. Influence of CFRP properties on drilling [Influence of CFRP properties on drilling]. *21 Congress Francais de Mecanique, Bordeaux*. 2013, 26 au 30 aout., pp. 1–6.
7. Krishnaraj V. Effects of Drill Points on Glass Fibre Reinforced Plastic Composite While Drilling at High Spindle Speed [Effects of Drill Points on Glass Fibre Reinforced Plastic Composite While Drilling at High Spindle Speed]. *Proceedings of the World Congress on Engineering, 2008*, vol. II, WCE 2008, July 2–4, 2008, London, U.K.
8. Davim P.J., Reis P. Study of delamination in drilling fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. *Computer Structure*. 2003, no. 59, pp. 481–487.
9. Tsao C.C., Hocheng H. Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material. *Int. J of Machine tools and Manufacture*. 2004, no. 44, pp. 1085–1090.
10. Hocheng H., Tsao C.C. Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits. *J. of Mat. Proc. Tech*. 2004, no. 140, pp. 335–339.
11. Lachaud F., Piquet R., Collobet F., Surcin L. Drilling of composite structures. *Composite Structures*. 2001, vol. 52, pp. 511–516.
12. Ho-Cheng H., Puw H.Y. On drilling characteristics of fiber-reinforced thermosets and thermoplastics. *Int. J. of Mach. Tool and Manufacture*. 1992, vol. 32, no. 4, pp. 583–592.
13. Bhattacharya D., Horrigan D.P.W. A study of hole drilling in Kevlar Composites. *Comp. Sci. & Tech*. 1998, vol. 58, pp. 267–283.
14. Dillio A., Tagliaferri V., Veniali F. Cutting mechanism in drilling of aramid composites. *Int. J of Mach. Tool & Manuf*. 1991, vol. 31, no. 2, pp. 155–165.
15. Tsao C.C., Hocheng H. Effect of exit back-up on delamination in drilling composite materials using saw drill and core drill. *Int. J of Mach. Tools & Manuf*. 2005, vol. 45, pp. 1261–1270.
16. Tsao C.C., Hocheng H. Computerized tomography and C-Scan for measuring delamination in the drilling of composite materials using various drills. *Int. J of Machine Tools & Manufacture*. 2005, vol. 45, pp. 1282–1287.
17. Piquet R., Ferret B., Lachaud F., Swider P. Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills. *Composites Part A: Appl. Sci. Manufact.* 2003, vol. 31, no. 10, pp. 1107–1115.
18. Davim P.J., Reis P., Conceicao A.C. Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up. *Comp. Sci. and Tech*. 2004, vol. 64, pp. 289–297.
19. Ramkumar J., Malhotra S.K., Krishnamurthy R. Effect of workpiece vibration on drilling of GFRP laminates. *J of Math. Proc. Tech*. 2003, no. 152, pp. 329–332.
20. Ramkumar J., Aravindan S., Malhotra S.K., Krishnamurthy R. An enhancement of the machining performance of GFRP by oscillatory assisted drilling. *Int. J Adv. Manuf. Tech*. 2004, no. 23, pp. 240–224.
21. Bhatnagar N., Naik N.K., Ramakrishnan N. Experimental investigation of drilling of CFRP composites. *Mats. and Manuf. Proc*. 1993, vol. 12, no. 8, pp. 683–701.
22. Chen W.-C. Some Experimental investigation in the drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composite laminates. *Int. J of Mach. Tool & Manuf*. 1997, vol. 37, no. 8, pp. 1097–1108.
23. Khashaba U.A. Delamination in drilling GFR-thermoset composite structures. *Computer structure*. 2004, vol. 63, no. 3, pp. 313–327.
24. Sonbaty El., Khashaba U.A., Machaly T. Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites. *Computer Structure*. 2004, vol. 63, pp. 329–338.
25. Raj Aggarwal T. General theory and its application in the high-speed milling of aluminum. *Handbook of High-speed Machining Technology, Chapman and Hall*. 2004. pp. 197–240.
26. Lin S.C., Shen J.-M. Drilling unidirectional glass fiber-reinforced composite materials at high speed. *J Comp. Mat*. 1999, vol. 33, no. 9, pp. 827–851.
27. Abrate S. Machining of Composites. In: *Mallick PK, editor Composites engineering hand book, New York, Marcel Deckker Inc*. 1997, pp. 777–807.
28. Komaduri R. Machining of fibre-reinforced composites. *Mechanical Engineering*. 1993, vol. 115, no. 4, pp. 58–66.
29. Wu S.M. Multifacet drills. In: *Robert I. King, Editor, Handbook of High-speed Machining Technology, London: Chapman and Hall*. 1985, pp. 305–316.
30. Kohkonen K.E., Nitin P. Composite Machining. In: *Peters ST, Editor, Hand book of Composites, California, Chapman & Hall*. 1998, pp. 596–609.
31. Faraz A., Biermann D. Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2009, no. 49, pp. 1185–1196.
32. Kumar N.V., Nathan G.G., Krishnaraj Dr.V., Sasicharan G. Effect of tool geometry in drilling of aerospace materials. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2013, vol. 4, no. 8, pp. 733–744.

Поступила (received) 31.10.16

Робота виконана по проекту М2133Ф фінансированого Министерством образования и науки Украины.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Знос інструменту і критерії затуплення при свердленні композити/ Г.Л. Хавін// Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – № 33 (1205). – С. 106–111. – Библиогр.: 32 назв. – ISSN 2079-004X.**

**Изнашивание инструмента и критерии затупления при сверлении композитов / Г.Л. Хавин // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – № 33 (1205). – С. 106–1011. – Библиогр.: 32 назв. – ISSN 2079-004X.**

**Tool wear and criteria of tool dulling when drilling composit/ G.L. Khavin // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 33 (1205). – P.106–111. – Bibliogr.: 32. – ISSN 2079-004X.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Хавін Геннадій Львович** – докт. техн. наук, проф, НТУ «ХП», м. Харків, тел.: (057)-720-66-25, e-mail: gen-nadiy.khavin@mail.ru;

**Хавін Геннадий Львович** – докт. техн. наук, проф, НТУ «ХП», г. Харьков, тел.: (057)-720-66-25, e-mail: gennadiy.khavin@mail.ru;

**Khavyn Hennadiy Lvovych** – Doctor of Technical Sciences, professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (057)-720-66-25, e-mail: gennadiy.khavin@mail.ru.