

## **Исследование качества поверхности композиционных материалов при обработке сверлами с подрезающими кромками**

*Киевский авиационный техникум*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

Рассмотрены вопросы обработки отверстий в композиционных материалах сверлами с подрезающими кромками. Исследовано качество поверхности отверстий и даны рекомендации по режимам резания и геометрическим параметрам режущего инструмента, а также приведена разработанная методика заточки сверл с подрезающими режущими кромками.

**Ключевые слова:** отверстие, композиционные материалы, подрезающие кромки, режимы резания.

Обработка резанием композиционных материалов обладает рядом особенностей. Высокая абразивная способность армирующих волокон и наполнителя, низкая теплопроводность пластмасс приводит к тому, что в процессе их резания основная часть выделенного тепла уходит в инструмент. Тепловой фактор влияет на стойкость инструмента, вызывает появление прижогов на обработанной поверхности, изменяет структуру поверхностного слоя материала детали. При большом износе инструмента снижаются точность и качество обработки. Это особенно сильно проявляется в процессе сверления на входе и выходе сверла. Характерной особенностью кривых износа сверл является отсутствие участка катастрофического износа. Поэтому в качестве критерия износа может приниматься небольшая величина затупления равная 0,15—0,3 мм, при которой технологические факторы (разломачивание материала, расслоение, точность, ворсистость) не превосходят допустимых величин.

Зависимость механических свойств композиционных материалов от температурно-временных факторов требует тщательного изучения вопроса влияния качественных характеристик механически обработанных поверхностей на надёжность соединений. Так как большинство разрушений конструкций из композиционных материалов происходит в зоне соединений (60—85%), а масса зоны стыков составляет 20—30% от массы конструкции. Технологические факторы в процессе производства определяют структурные параметры композиционного материала, его физико-механические характеристики, остаточные напряжения, возникающие в процессе изготовления соединений. Следует особо отметить тот факт, что натяг заклёпок и болтов, точность и взаимозаменяемость элементов, усадочные напряжения в композиционных материалах в большей степени зависят от качества образования отверстий [1].

Рекомендуемые в технической литературе формы заточки режущей части сверл включают нормальную заточку с углами при вершине  $2\varphi = 90\text{—}120^\circ$  и задними углами  $\alpha = 15\text{—}20^\circ$ , с двойной заточкой с углом при вершине на периферии, равном  $2\varphi = 60^\circ$  [1, 2, 3, 4, 5].

Недостатком известных конструкций сверл с криволинейными кромками является сложность их качественной заточки, что снижает эффективность их использования. Поэтому в работе уделено внимание вопросу заточки режущей части сверл с подрезающими кромками.

Наиболее простой конструкцией спиральных сверл с подрезающими кромками являются сверла с прямолинейными режущими кромками (ПРК) с обратным углом при вершине [2]. По сравнению с известными сверлами сверла с прямолинейными подрезающими кромками более просты в изготовлении. В представленной статье в качестве основных экспериментальных сверл для обработки органопластика СВМ-1/76 приняты сверла с прямолинейными подрезающими кромками.

Перед испытаниями была разработана методика заточки сверла с ПРК, которая изучается ниже.

Схема режущей части сверла с обратным углом при вершине показана на рис. 1.

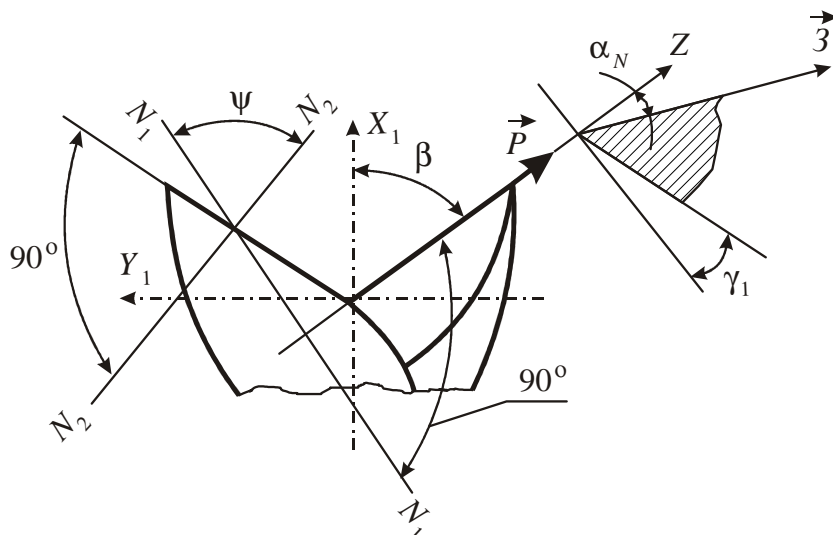


Рис. 1. Геометрические параметры сверла с обратным углом при вершине с прямолинейными режущими кромками (ПРК)

Положение задней плоскости зуба сверла определяется вектором  $\vec{P}$ , идущим по режущей кромке и вектором  $\vec{Z}$ , расположенным на линии пересечения задней плоскости и секущей плоскости, перпендикулярной режущей кромке. В системе координат  $XYZ$  векторы  $\vec{P}$  и  $\vec{Z}$  записываются в следующем виде:

$$\vec{P} = \vec{i} \cos \beta - \vec{j} \sin \beta; \quad (1)$$

$$\vec{Z} = -\vec{i} \sin \alpha_N \cos \beta - \vec{j} \cos \alpha_N \cos \beta + \vec{k} \sin \alpha_N. \quad (2)$$

Тогда нормаль к рассматриваемой задней плоскости режущего клина записывается в виде:

$$\vec{N} = [\vec{P} \cdot \vec{Z}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ -\sin \alpha_N \cos \beta & -\cos \alpha_N \cos \beta & \sin \alpha_N \end{vmatrix}. \quad (3)$$

После раскрытия определителя, получим:

$$\vec{N} = \vec{i} \sin \alpha_N \cos \beta - \vec{j} \sin \alpha_N \cos \beta - \vec{k}. \quad (4)$$

Установка сверла, при его заточке на универсально-заточном станке, производится с помощью универсально-заточной головки рис. 2.

В исходном положении периферийные точки режущих кромок обоих зубьев лежат в горизонтальной плоскости, проходящей через ось сверла. В этой плоскости будем располагать режущие кромки сверла.

Считаем, что задняя поверхность сверла затачивается торцом чашечного шлифовального круга. При заточке сверло будем устанавливать таким образом, чтобы задняя плоскость была параллельна торцевой плоскости круга, а режущая кромка была параллельна направлению продольной подачи стола станка. Для этого, во-первых, путем поворотов вокруг осей  $B$  и  $B$  приведем нормаль  $\vec{N}$  к затачиваемой плоскости и вектор  $\vec{P}$ , идущий по режущей кромке в горизонтальную плоскость, проходящую через ось сверла, проходящую через ось сверла (рис. 2, б).

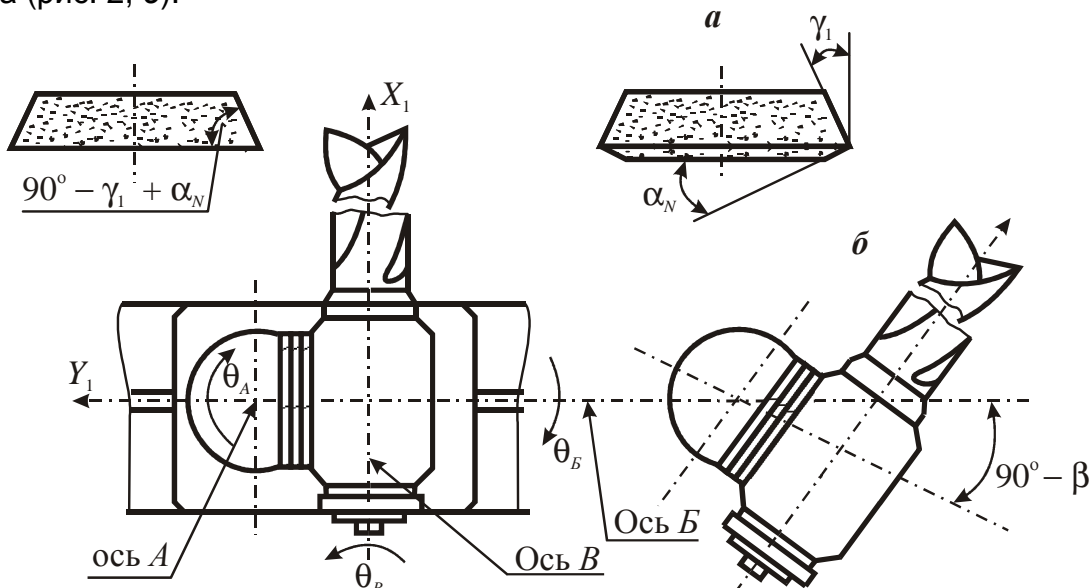


Рис. 2. Схема установки сверла с ПРК в универсально-заточной головке

С осью  $B$  головки будет связана система координат  $X_1 Y_1 Z_1$ , с осью  $B$  — система  $X_2 Y_2 Z_2$ , с осью  $A$  — система  $X_3 Y_3 Z_3$  и со станиной станка — неподвижная система координат  $X_4 Y_4 Z_4$ . Будем считать, что в начальный момент времени все рассматриваемые системы координат совпадают. Обозначим углы поворота вокруг осей головки  $B$ ,  $B$  и  $A$  соответственно  $\theta_B$ ,  $\theta_B$ ,  $\theta_A$ . Тогда формулы перехода от системы  $X_1 Y_1 Z_1$  к системе  $X_3 Y_3 Z_3$  записываются таким образом:

$$\left. \begin{aligned} X_3 &= X_1 \cos \theta_B - (Z_1 \cos \theta_B - Y_1 \sin \theta_B) \sin \theta_B \\ Y_3 &= Y_1 \cos \theta_B + Z_1 \sin \theta_B \\ Z_3 &= (Z_1 \cos \theta_B - Y_1 \sin \theta_B) \cos \theta_B + X_1 \sin \theta_B \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Если векторы  $\vec{N}$  и  $\vec{P}$  в результате поворотов вокруг осей  $B$  и  $B$  на углы  $\theta_B$  и  $\theta_B$  займут горизонтальное положение, то их проекция на ось  $Z_3$  будет равна нулю. Следовательно:

$$\sin \beta \cdot \sin \theta_B \cdot \cos \theta_B + \cos \beta \cdot \sin \theta_B = 0; \quad (6)$$

$$(\operatorname{ctg} \alpha_N \cdot \cos \theta_B + \cos \beta \cdot \sin \theta_B) \cos \theta_B - \sin \beta \cdot \sin \theta_B = 0 \quad (7)$$

или

$$\sin \beta \cdot \cos \theta_B + \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \theta_B = 0; \quad (8)$$

$$(\operatorname{ctg} \alpha_N \cdot \cos \theta_B + \cos \beta \cdot \sin \theta_B) - \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \theta_B = 0. \quad (9)$$

Определяя из первого уравнения  $\operatorname{tg} \theta_B$  и подставляя во второе, получим:

$$\operatorname{ctg} \alpha_N \cdot \cos \theta_B + \cos \beta \cdot \sin \theta_B - \sin \beta \left( -\frac{\sin \beta \cdot \sin \theta_B}{\cos \beta} \right) = 0. \quad (10)$$

После соответствующих преобразований угол  $\theta_B$  будет равен:

$$\operatorname{tg} \theta_B = -\operatorname{ctg} \alpha_N \cdot \cos \beta; \quad (11)$$

а угол  $\theta_B$  равен:

$$\operatorname{tg} \theta_B = -\sin \theta_B \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (12)$$

При известных углах  $\theta_B$  и  $\theta_B$  проекции вектора  $\vec{P}$  на оси  $X_3$  и  $Y_3$  будут равны:

$$P_{X_3} = \cos \beta \cdot \cos \theta_B - \sin \beta \cdot \sin \theta_B \cdot \sin \theta_B; \quad (13)$$

$$P_{Y_3} = -\sin \beta \cdot \cos \theta_B. \quad (14)$$

Чтобы вектор  $\vec{P}$  был параллелен продольной подаче станка, необходимо вокруг оси  $A$  повернуть систему  $X_3Y_3Z_3$  на угол  $\theta_A$ , расположенный между вектором  $\vec{P}$  и осью  $Y_3$ , который определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \theta_A = \frac{\vec{P}_{X_3}}{\vec{P}_{Y_3}} = \operatorname{tg} \theta_B \cdot \sin \theta_B - \frac{\cos \theta_B}{\operatorname{tg} \beta \cdot \cos \theta_B}. \quad (15)$$

В соответствии с рассчитанными таким образом углами  $\theta_B$ ,  $\theta_B$ ,  $\theta_A$  производится установка сверла с обратным углом при вершине в универсально заточной головке для заточки чашечным кругом его задней поверхности.

Аналогичным образом определяются углы установки при подточке по плоскости передней поверхности сверла. С целью повышения производительности труда при заточке сверл с обратным углом при вершине целесообразно совместить заточку задней плоскости и подточку передней поверхности смежного зуба. Если передний угол  $\gamma_N$  на подточенном участке передней поверхности принять равным нулю, то угол профиля шлифовального круга будет равен  $90^\circ + \alpha_N$  ( $\gamma_N = 0$ ). В этом случае углы установки  $\theta_A$ ,  $\theta_B$ ,  $\theta_B$  определяются по тем же зависимостям, что и при заточке задней плоскости торцом чашечного круга. Упростить установку сверла с обратным углом при вершине при его заточке можно за счет применения фасонного шлифовального круга (см. рис. 2). Сверло при заточке устанавливается в универсально-заточную головку так, чтобы периферийные точки режущих кромок обоих зубьев располагались в одной горизонтальной плоскости (рис. 2, а). Затем осуществляется поворот вокруг вертикальной оси на угол  $90^\circ - \beta$ . В этом положении (рис. 2, б) фасонным шлифовальным кругом производится заточка первого зуба сверла по задней поверхности и одновременная заточка передней поверхности второго зуба сверла. Если передний угол на подточенном участке передней поверхности будет равен нулю, то профиль фасонного шлифовального круга будет определяться величиной заднего угла  $\alpha_N$ , измеряемого в сечении, перпендикулярном направлению возвратно-поступательных перемещений шлифовального круга, и величина угла  $\gamma_1$ , измеряемого в том же сечении, равна нулю. Если передний угол  $\gamma_N$  на подточенном участке передней поверхности не будет равен нулю, то угол профиля шлифовального круга будет равен:  $90^\circ - \gamma_1 + \alpha$ . Угол  $\gamma_1$  определяется в сечении  $N_1N_1$ , перпендикулярном режущей кромке смежного с подтачиваемым по передней поверхности зуба сверла (см. рис. 2). Передний же угол на подточенном участке передней поверхности измеряется в сечении  $N_2N_2$ , перпендикулярном к режущей кромке подтачиваемого зуба. Из построения следует, что угол  $\psi$  между секущими плоскостями  $N_1N_1$  и  $N_2N_2$  равен:

$$\psi = 180^\circ - 2\beta. \quad (16)$$

Угол  $\gamma_1$  при известном значении угла  $\gamma_N$  определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \operatorname{tg} \gamma_N \cdot \cos \psi = \operatorname{tg} \gamma_N \cdot \cos (180^\circ - 2\beta). \quad (17)$$

При рассматриваемом способе заточки сверл, в том случае, когда угол  $\beta$  близок к  $90^\circ$ , создается недостаточное пространство для выхода стружки от поперечной режущей кромки. Для того, чтобы обеспечить свободный выход стружки от поперечной кромки, можно ввести её дополнительную подточку. Этого можно достигнуть, поворачивая при установке сверла головку не на угол  $90^\circ - \beta$ , а на  $20^\circ - 30^\circ$  больший. При такой установке подтачивается только центральная зона сверла.

В общем случае при установке сверла в универсально-заточную головку его можно повернуть вокруг своей оси на некоторый угол. Благодаря этому можно регулировать величину подточенной зоны передней поверхности.

Одним из основных дефектов при сверлении отверстий в пластмассах и, в частности, в органите является наличие на кромках обработанного отверстия разломачивания и вспучивания поверхностных слоев материала, как на входе, так и на выходе сверла.

Для количественного определения величины дефектов при сверлении были введены критерии их оценки. Вспучивание — дефект, возникающий по краям просверленного отверстия и его можно характеризовать такими показателями, как ширина и высота дефектного слоя.

Поскольку распределение величины вспучивания поверхности материала происходит неравномерно, то целесообразно определять ширину и высоту вспучивания в сечениях, проходящих через ось отверстия, в которых ширина и высота вспучивания имеют максимальные значения.

Ширина вспучивания  $\delta$  мм измерялась на микроскопе (БИМ), высота  $h$  мм — с помощью индикатора.

Практический интерес представляет определение ширины вспучивания поверхности материала. Так как этот дефект может быть устранен снятием фаски, то необходимо установить максимальную ширину вспучивания, поскольку эта величина будет определять диаметр снимаемой фаски.

Была проведена серия экспериментов по установлению влияния режимов резания и угла в плане на ширину вспучивания кромок отверстия. Испытывались спиральные сверла диаметром 10 мм, изготовленные из быстрорежущей стали Р6М5, имеющие задний угол  $\alpha = 15^\circ$ .

На основании проведенных исследований построены графики зависимости ширины вспучивания  $\delta$  мм от режимов резания ( $V$  и  $S$ ). На рис. 3 представлены зависимости ширины вспучивания от скорости резания. Характерным для графиков является наличие экстремума, в диапазоне скоростей резания  $V = 30 - 40$  м/мин ширина вспучивания имеет наибольшую величину. С увеличением и уменьшением скорости резания наблюдается уменьшение (на 40—60 %) ширины вспучивания.

Изменение величины подачи также оказывает значительное влияние на качество обработки. Зависимость ширины вспучивания от подачи приведена на рис. 4. Исследованиями установлено, что ширина вспучивания с увеличением подачи увеличивается. Поэтому при заданной скорости резания для достижения более высокого качества обработанной поверхности подачу следует уменьшить.

Приведенные на рис. 3 и рис. 4 графики позволяют установить влияние ширины вспучивания от величины обратного угла в плане сверла. Минимальная ширина вспучивания наблюдается при обработке материала сверлами, имеющими угол при вершине  $2\beta = 130^\circ$ . Применение сверл с другими углами при вершине не даёт приемлемых результатов по качеству поверхности отверстия, как на входе так и на выходе сверла. В отдельных случаях увеличение угла в

плане приводит к возникновению трещин на поверхности материала.

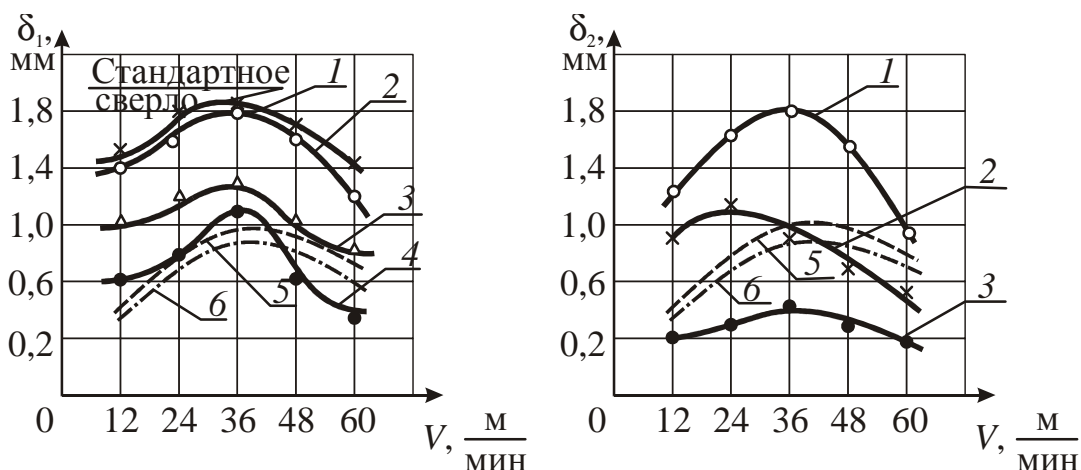


Рис. 3. График зависимости ширины вспучивания  $\delta$  и ворсистости  $h$  от скорости резания при подаче  $S = 0,11$  мм/об:  
 а – графики вспучивания на входе сверла: 1 —  $2\phi = 110^\circ$ ; 2 —  $2\beta = 90^\circ$ ; 3 —  $2\beta = 110^\circ$ ; 4 —  $2\beta = 130^\circ$ ; ворсистость: 5 —  $2\phi = 110^\circ$ ; 6 —  $2\beta = 130^\circ$ ;  
 б – вспучивание на выходе сверла: 1 —  $2\beta = 110^\circ$ ; 2 —  $2\beta = 150^\circ$ ; 3 —  $2\beta = 130^\circ$ ; ворсистость: 5 —  $2\phi = 110^\circ$ ; 6 —  $2\beta = 130^\circ$

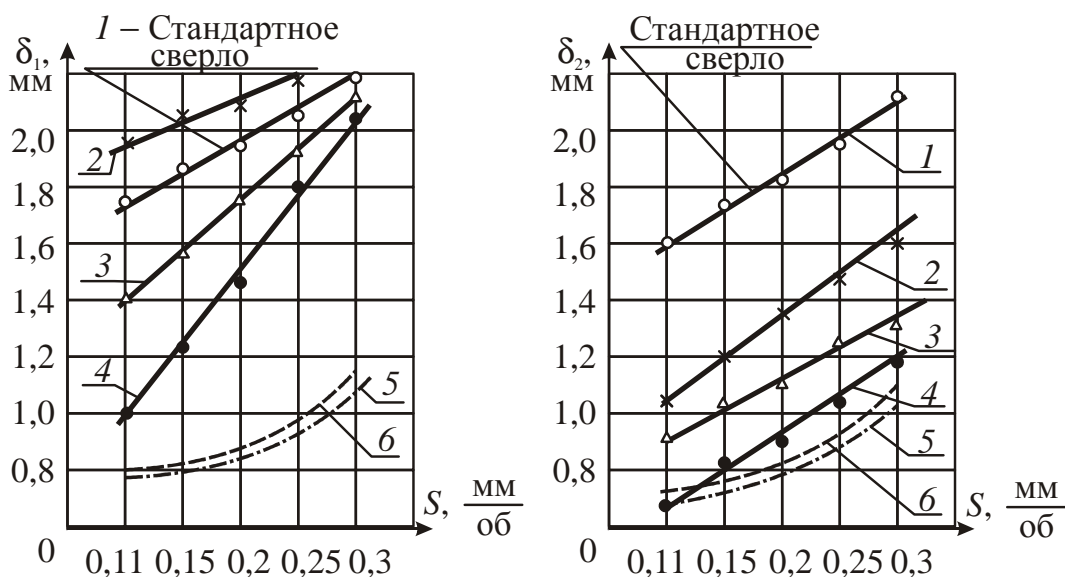


Рис. 4. График зависимости ширины вспучивания  $\delta$  и ворсистости  $h$  от подачи при скорости резания  $V = 36$  м/мин:  
 а – графики вспучивания на входе сверла: 1 —  $2\phi = 110^\circ$ ; 2 —  $2\beta = 150^\circ$ ; 3 —  $2\beta = 110^\circ$ ; 4 —  $2\beta = 130^\circ$ ; ворсистость: 5 —  $2\beta = 130^\circ$ ; 6 —  $2\phi = 110^\circ$ ;  
 б – вспучивание на выходе сверла: 5 —  $2\beta = 130^\circ$ ; 6 —  $2\phi = 110^\circ$

### Выводы

1. Применение сверл с подрезающими режущими кромками, имеющими обратный угол при вершине, при сверлении органика даёт значительное улучшение качества обработанной поверхности.
2. Наилучшие результаты по качеству обработанной поверхности были

получены при сверлении спиральными сверлами с обратным углом при вершине  $2\beta = 130^\circ$ .

3. При использовании сверл с подрезающими кромками при сверлении органика следует работать на скоростях 40 м/мин и выше, так как в этом диапазоне наблюдается наименьшая величина ширины вспучивания обрабатываемого материала.
4. Установлено, что наибольшее влияние на ширину вспучивания оказывает подача. При сверлении органика с целью повышения качества обработки целесообразно работать на подачах до 0,1 мм/об.

#### Список литературы

1. Воробей В. В., Сироткин О. С. Соединение конструкций из КМ — Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние. 1985. — 168 с., ил.
2. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резания — К.: Вища школа, 1977 — 192 с.
3. Семко Е. Ф., Баскаков И. Г., Дрожжин В. И., Качер Б. А. Механическая обработка пластмасс. — М.: Машиностроение, 1965.
4. Криштола Н. А., Радзевич С. П., Бобко А. И. Обработка отверстий в композиционных и неметаллических материалах. — Киев, Техніка, 1980.
5. Штучный Б. П. Механическая обработка пластмасс. — М.: Машиностроение, 1974.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.А. Бабушкин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

### Дослідження якості поверхні композиційних матеріалів при обробці сверлами з підрізуючими пругами

Розглянуто питання обробки отворів у композиційних матеріалах сверлами з підрізуючими пругами. Досліджено якість поверхні отворів і дано рекомендації щодо режимів різання та геометричних параметрів різального інструменту, а також наведено розроблену методіку заточування свердел з підрізуючими різальними пругами.

**Ключові слова:** отвір, композиційний матеріал, підрізуюча пруга, режими різання.

### Research of Composite Materials Surface Quality during Drilling by Using the Drills with Cutting Out Edges

Problems of drilling the holes in composite materials by using the drills with cutting out edges have been considered. The quality of the hole surface is being researched, recommendations on cutting conditions and geometrical parameters of cutting tool are given, and the developed methodology for grinding the drills with cutting out edges is given.

**Keywords:** hole, composite materials, cutting out edges, cutting conditions.