

Таким образом, герметизация полимером базовых деталей машин и приборов из ТКМ позволяет существенно повысить их точность и стабильность геометрической формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмичев Г.П. и др. Камень вместо металла // Пром-сть Белоруссии. — 1983. — № 6. — С. 22–23. 2. Туромша В.И., Кузьмичев Г.П., Григорьев А.М., Клецков Е.Л. Особенности абразивной обработки твердокаменных материалов // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента. — Пенза: Пензен. политехн. ин-т., 1987. — Вып. 15. — С. 9–13.

УДК 621.91.01:678.5

В.И. ХОДЫРЕВ, М.Н. ФИЛИППОВ

О ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВОРСА ПРИ РЕЗАНИИ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Механическая обработка полимерных материалов, армированных волокном, существенно отличается от обработки резанием других материалов, например металлов. Обработанная поверхность детали из волокнистого композита характеризуется как параметрами шероховатости Ra , Rz , так и сугубо специфическим параметром — ворсистостью, часто являющейся определяющей характеристикой качества обработанной поверхности.

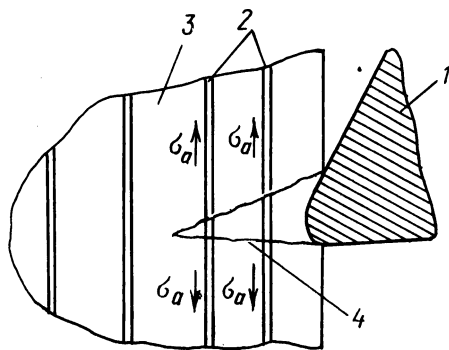


Рис. 1. Схема начального раскрытия трещины:

1 — режущий клин инструмента; 2 — армирующие волокна; 3 — матрица; 4 — трещина

Изучение методом скоростной кино съемки камерой СКС-1М-16 со скоростью 1000 кадров в 1 с процесса свободного прямоугольного резания композиционного материала, армированного стекловолокном, показало следующее. При врезании инструмента в обрабатываемый материал возникает трещина, которая затем развивается и углубляется. Начальное раскрытие трещины столь мало, что волокна между ее плоскостями не разрушаются (рис. 1). Продвижение режущего клина приводит к диспергированию матрицы перед передней поверхностью инструмента и либо к разрушению волокон, либо к их вытя-

гиванию. В дальнейшем происходит непосредственный контакт режущего клина на инструмента с остаточными волокнами и диспергированными частицами матрицы. Подобную картину разрушения композитов в процессе резания наблюдали и авторы работы [1].

Рассмотрим подробнее процесс ворсообразования. На первом этапе волокна, сдерживающие раскрытие трещины, испытывают напряжения σ_a вдоль своей оси (рис. 1). Для выдергивания волокон из матрицы требуется затратить работу на осуществление сдвига на границе раздела волокно—матрица:

$$A_B = \pi d \tau_r l^2 / 2,$$

где d — диаметр волокна; τ_r — напряжение сдвига; l — длина выдергиваемого участка волокна.

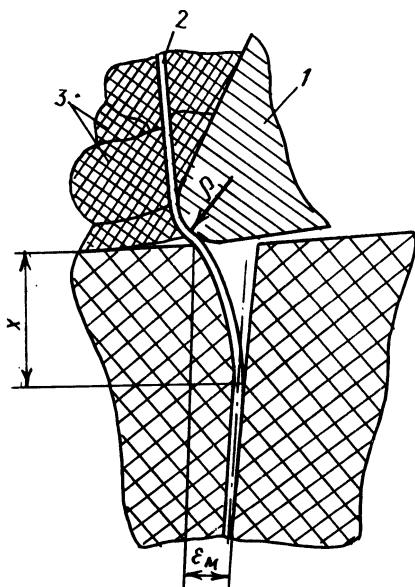
Максимальная длина выдергиваемого участка волокна, имеющего предел прочности $[\sigma_a]$, определяется выражением

$$l_a = d [\sigma_a] / (2\pi \tau_r),$$

т. е. если глубина резания меньше длины волокна, последнее будет полностью вытащено из срезаемого слоя. Под величиной $2l_a$ следует понимать длину бездефектного участка волокна. В непрерывных волокнах, например стеклянных, обычно участки с ослабленной прочностью резко выражены и в них происходит разрушение. Если дефектные точки располагаются на расстоянии, большем $2l_a$, то часть волокон разрушится, а часть будет выдернута.

Таким образом, образование ворса на первом этапе процесса резания определяется в первую очередь свойствами композиционного материала и лишь до определенной степени глубиной резания.

На втором этапе образование ворса зависит непосредственно от режущего инструмента и его взаимодействия с армирующим волокном и матрицей



(рис. 2). Это взаимодействие определяется прежде всего радиусом округления лезвия инструмента ρ , который не является постоянным в процессе резания. Из-за абразивного воздействия обрабатываемого материала на режущий инструмент в процессе механической обработки ρ увеличивается, и при достижении значения $\rho_{кр}$ волокна больше не подрезаются, а вытягиваются и подминаются лезвием инструмента. Очевидно, что для каждого композиционного материала $\rho_{кр}$ будет различным.

Рис. 2. Схема процесса ворсообразования: 1 — режущий клин инструмента; 2 — армирующее волокно; 3 — диспергированные частицы матрицы

В случае отсутствия перерезания волокна вся суммарная работа, совершаемая инструментом в процессе резания:

$$A = A_p + A_M + A_B + A_{тр} , \quad (1)$$

где A_p , A_M , A_B , $A_{тр}$ – работа, совершаемая инструментом соответственно при отслаивании волокна, при деформации матрицы, при вытаскивании волокна, при преодолении сил трения на передней и задней поверхностях лезвия.

Работа отслаивания волокна [2]

$$A_p = \pi d^2 [\sigma_a]^2 x / (24E_a) ,$$

где $[\sigma_a]$ – разрушающее напряжение волокна; x – максимальное отслоение (рис. 2); E_a – модуль Юнга материала волокна.

Работа деформации матрицы [2]

$$A_M = E_M^2 V_M^2 \epsilon_M^2 d / (6\tau'_r V_a) ,$$

где E_M – модуль Юнга материала матрицы; V_M , V_a – объемное содержание соответственно матрицы и волокна в композите; ϵ_M – деформация матрицы; τ'_r – касательные напряжения на границе раздела волокно–матрица.

В то же время суммарная работа A_Σ может быть представлена в виде

$$A_\Sigma = PL , \quad (2)$$

где P – сила, действующая на армирующее волокно; L – скорость резания.

В свою очередь

$$P = S\tau ,$$

где S – площадь пятна контакта между лезвием инструмента и волокном; τ – сдвиговые напряжения на площадке контакта инструмент–волокно.

Площадь контакта инструмент–волокно можно представить как площадь пересечения двух цилиндров. Причем один цилиндр имеет диаметр, равный диаметру волокна d , а другой – диаметр 2ρ . Пятно контакта является эллипсом и его площадь

$$S = \pi ab = \pi n_a n_b \left\{ 3\theta \rho dP / \left[4\left(\rho + \frac{d}{2}\right) \right] \right\}^{2/3} ,$$

где a , b – полуоси эллипса, определяемые по рекомендациям [3]; n_a , n_b – коэффициенты полуосей эллипса, характеризующие эксцентриситет контурного эллипса площадки контакта и геометрические параметры соприкасающихся тел; P – сила, приложенная к соприкасающимся телам; θ – упругая постоянная соприкасающихся тел:

$$\theta = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}$$

(μ_1 , μ_2 – коэффициенты Пуассона соответственно для инструментального материала и материала волокна; E_1 и E_2 – модули Юнга соответственно для инструментального материала и материала волокна).

Подставляя в выражения (1) и (2) значения составляющих и приравнявая их, находим критический радиус округления лезвия инструмента

$$\rho_{кр} = 2d\psi / (3P\theta d - 4\psi),$$

где

$$\psi = \left[\left(\frac{\pi d^2 [\sigma_a]^2 x}{24E_a} + \frac{E_M^2 V_M^2 \epsilon_M^2 d}{6\tau_r V_a} + \frac{\pi d \tau_r l^2}{2} + A_{тр} \right) / (\pi n_a n_b [\tau_a] L) \right]^{3/2};$$

$[\tau_a]$ — предельное касательное напряжение для материала волокна.

Величина $[\tau_a]$ принята вместо τ в выражении (3), так как она характеризует предельное состояние процесса. При $\tau > [\tau_a]$ будет происходить разрушение волокна, а не его подминание и вытягивание.

Таким образом, условие образования ворса имеет вид

$$\rho \geq \rho_{кр} = 3d\psi / (3P\theta d - 4\psi).$$

Для подтверждения правильности изложенного выше определения критерия ворсообразования было проведено экспериментальное исследование процесса резания стеклопластиковых оболочек, полученных методом намотки стеклоткани на оправку. Применялся призматический резец со следующими геометрическими параметрами: $\gamma = 15^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 20^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 12^\circ$. Инструментальный материал — ВК6. Скорость резания варьировалась от 110 до

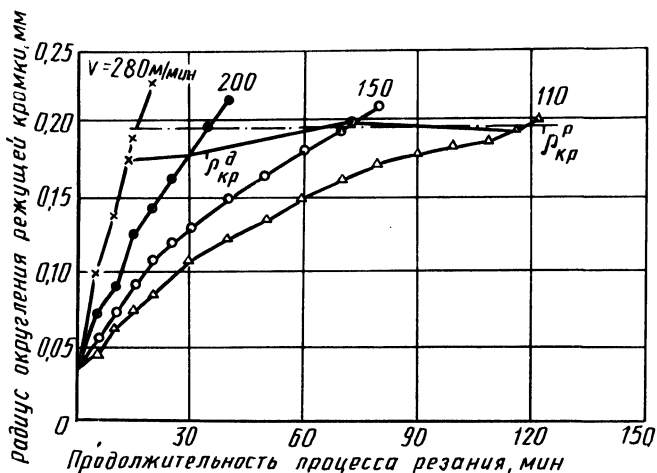


Рис. 3. Зависимость радиуса округления режущей кромки инструмента от продолжительности процесса резания:

$\rho_{кр}^p$ — расчетное значение критического радиуса округления режущей кромки; $\rho_{кр}^д$ — действительное значение

280 м/мин. Глубина резания и подача были постоянными и равнялись соответственно 1 мм и 0,11 мм/об.

Радиус округления лезвия инструмента измерялся по оттискам на медных образцах при помощи профилографа-профилометра мод. 201 и графопостроителя. Результаты измерений дублировались посредством фотографирования лезвия инструмента. За критерий ворсистой поверхности принимался коэффициент ворсистой поверхности k_v , равный 1 при ворсистой поверхности всей площади обработанной поверхности образца. При подсчете коэффициентов ворсистой поверхности учитывался ворс длиной более 0,2 мм.

Из рис. 3 видно, что расчетный критический радиус $\rho_{кр}^p$ достаточно хорошо согласуется с действительным критическим радиусом округления лезвия $\rho_{кр}^d$.

Таким образом, полученные результаты позволяют определить критический радиус округления лезвия инструмента по критерию образования ворса при резании волокнистых полимерных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л а в р и н е н к о С.Н., В е р е з у б Н.В., П а п Й. Некоторые особенности разрушения полимерных материалов при резании // Резание и инструмент. — 1984. — № 32. — С. 15–18.
2. К у п е р Г.А. Микромеханические аспекты разрушения // Композиционные материалы. — М.: Мир, 1978. — Т. 5. — С. 440–475.
3. Р у д и ц и н М.Н., А р т е м о в П.Я., Л ю б о ш и ц М.И. Справочное пособие по сопротивлению материалов. — Мн.: Выш. шк., 1968. — 510 с.