

ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Перспективы применения композита при прерывистом резании

д.т.н. Е. А. Кудряшов, А. М. Никонов, В. С. Роговский, А. В. Стецурин

Одно из перспективных направлений металлообработки — использование лезвийного режущего инструмента (РИ) из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора (торговая марка “композиты”), которые благодаря своим уникальным физико-механическим и режущим свойствам

позволяют решить проблему обработки самых сложных и точных поверхностей деталей машин и достигнуть высоких технико-экономических показателей.

Композиты сохраняют прочность при высоких температурах. Они не вступают в химическую ре-

акцию с черными металлами на воздухе и при высокой температуре, что обуславливает их преимущества по сравнению с алмазами и многими другими традиционными инструментальными материалами. Несмотря на широкое разнообразие марки композитов не конкурируют между собой, а успешно дополняют друг друга, так как каждая из них имеет собственную область применения, определяемую условиями резания.

Основные области использования композитов: финишная обработка закаленных деталей (в том числе при прерывистом резании); чистовое точение (как подготовительная операция под последующую финишную обработку); чистовая обработка поверхностно закаленных деталей с мягкой сердцевиной.

Современные технологии изготовления композитов обеспечивают их промышленный выпуск в виде заготовок, размеры которых позволяют надежно закреплять их в любых лезвийных РИ (резцах, фрезах, сверлах, зенкерах, развертках). Однако недостаточно стабильное качество режущих элементов требует их тщательного отбора, в том числе входной контроль и испытания (экспериментальные, контрольные и производственные).

При входном контроле проверяют отсутствие микротрещин и микросколов, а также шероховатость поверхности. Режущие элементы, не удовлетворяющие заданным требованиям, после каждой из указанных процедур изымают из обращения.

Экспериментальные испытания проводят с учетом материала заготовки, состояния обрабатываемой поверхности, требуемого качества детали, а также способа и условий обработки (в том числе режима резания и наличия охлаждения).

При контрольных испытаниях устанавливают оптимальные условия работы режущих элементов (геометрию РИ, условия резания) с учетом требуемых качества и точности изготавливаемой детали. Исследуют шероховатость и точность обработанной поверхности и стойкость РИ.

Производственные испытания позволяют сделать окончательные выводы о целесообразности использования того или иного композита в конкретных условиях.

На основе режущих элементов из композитов создают РИ двух видов: 1) с механическим креплением одно- и многослойных круглых и многогранных пластин; 2) с креплением поликристалла в пе-

реходной вставке, устанавливаемой в корпусе РИ и заточиваемой под требуемую геометрию.

В металлообработке накоплен большой опыт исследования процессов чистовой и отделочной обработки деталей различной конструктивной сложности традиционными инструментальными материалами. Композиты при лезвийной обработке в условиях прерывистого резания изучены намного меньше.

Более того, из-за высокой хрупкости композиты долгое время считались неперспективными для чистовой обработки прерывистых поверхностей. Для достижения высокой работоспособности РИ из композита применяли, в частности, режущие элементы с положительным углом λ наклона главной режущей кромки. Однако из-за ряда специфических особенностей процесса прерывистого резания это решение, равно как и другие, не давало желаемого эффекта.

В развитие теории и практики оптимального контакта РИ с обрабатываемой поверхностью заготовки на примере точения предложен разработанный теоретически метод обеспечения заданной работоспособности РИ из композитов. Метод прошел промышленные испытания на операциях точения и растачивания, торцового фрезерования, развертывания и скоростного нарезания резьбы при изготовлении деталей из разнообразных конструктивных материалов, а также конструктивно сложных деталей.

При точении заготовки диаметром d с продольным пазом шириной B , создающим прерывистость обработки, при глубине t резания первоначальный контакт резца с обрабатываемой поверхностью может произойти в одном из девяти возможных положений (рис. 1): 1) точечный контакт в точках

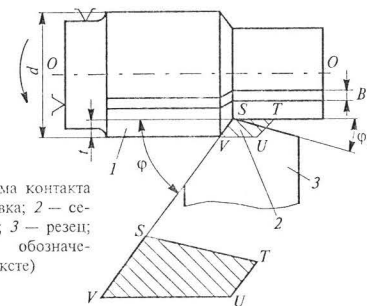


Рис. 1. Схема контакта (1 — заготовка; 2 — сечение резца; 3 — резец; (остальные обозначения см. в тексте))

встречи S , T , U и V ; 2) линейный контакт режущих кромок в положениях ST , TU , UV и VS ; 3) плоскостной контакт, при котором передняя поверхность резца развернута относительно заготовки таким образом, чтобы контакт происходил по четырехугольнику $STUV$. Очевидно, что последнее положение наиболее благоприятно с точки зрения стойкости резца.

Будем поворачивать заготовку вокруг оси симметрии OO до тех пор, пока вершина A резца не коснется боковой поверхности паза в точке C (рис. 2). Определим необходимый для этого угол β поворота:

$$\beta = \pi/2 - \delta - \delta', \quad (1)$$

где δ и δ' см. на рис. 2.

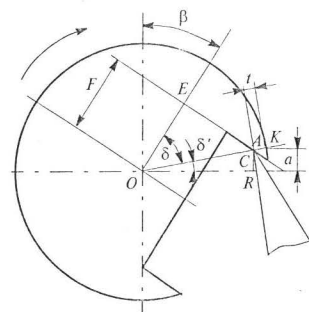


Рис. 2. Схема определения угла поворота

Из треугольника COE получим $\tan \pi/2 - \delta = F/\sqrt{r^2 + a^2 - F^2}$, где $F = B/2$ (половина ширины паза); $r = d/2$ (радиус заготовки); a — смещение вершины резца (см. рис. 2).

Поскольку $CR = a$, $OC = OK - t = r - t$; $OR = \sqrt{(r-t)^2 - a^2}$, то из треугольника COR следует $\tan \delta' = a/\sqrt{(r-t)^2 - a^2}$.

Из выражения (1), используя формулу тангенса разности углов, находим

$$\beta = \arctg \frac{rF - a\sqrt{r^2 + a^2 - F^2}}{r\sqrt{r^2 + a^2 - F^2} + aF}.$$

Для полного прилегания передней поверхности резца к боковой поверхности паза (контакт $STUV$) необходимо и достаточно, чтобы максимальное значение $\gamma_{oc \max}$ переднего угла γ резца в направлении оси заготовки было равно углу β , а максималь-

ное значение $\gamma_{rad \max}$ угла γ в радиальном направлении было равно нулю. Значения осевого и радиального переднего угла определяют по формулам: $\tan \gamma_{oc} = \tan \gamma_{oc} \cos \varphi - \tan \lambda_{rad} \sin \varphi$ и $\tan \gamma_{rad} = \tan \gamma_{oc} \sin \varphi + \tan \lambda_{rad} \cos \varphi$, где φ — главный угол в плане (см. рис. 1).

Для получения максимально возможных углов γ и λ воспользуемся следующими формулами, описывающими связь между углами резца:

$$\begin{cases} \tan \gamma = \tan \gamma_{oc} \cos \varphi + \tan \gamma_{rad} \sin \varphi; \\ \tan \lambda = \tan \gamma_{rad} \cos \varphi - \tan \gamma_{oc} \sin \varphi. \end{cases} \quad (2)$$

Подставив значения $\gamma_{oc \max} = \beta$ и $\gamma_{rad \max} = 0$ в зависимости (2), найдем критические значения углов резца (т. е. значения, соответствующие его оптимальной работоспособности):

$$\begin{cases} \tan \gamma_{кр} = \tan \beta \cos \varphi; \\ \tan \lambda_{кр} = -\tan \beta \sin \varphi. \end{cases} \quad (3)$$

Для дальнейшего анализа в качестве отправной точки примем найденное (особое) положение передней поверхности резца, при котором $\gamma_{rad \max} = 0$, и, сохраняя это значение, будем изменять угол γ_{oc} .

При $\gamma_{oc} = \gamma_{oc \max}$ касание заготовки и резца происходит по прямой UV (рис. 3); при этом углы γ и λ удовлетворяют следующим условиям:

$$\tan \gamma = \tan \gamma_{oc} \cos \varphi; \quad (4)$$

$$\tan \lambda = -\tan \gamma_{oc} \sin \varphi. \quad (5)$$

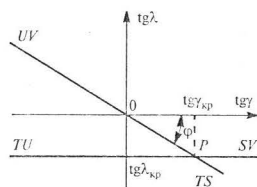


Рис. 3. Схема расположения критических углов

Определив из формулы (4) угол γ_{oc} и подставив его значение в формулу (5), получим $\tan \lambda = -\tan \gamma \times \sin \varphi / \cos \varphi = -\tan \gamma \tan \varphi$.

Если теперь из особого положения изменять угол γ , сохраняя значение $\lambda = \lambda_{кр}$, то передняя поверхность резца будет поворачиваться вокруг прямой SV (при $\gamma > \gamma_{кр}$) или вокруг прямой TU (при $\gamma < \gamma_{кр}$) (см. рис. 3).

Полученные результаты можно представить наглядно на плоскости, если на одной оси координат отложить значение $\tan \lambda$, а на другой — $\tan \gamma$ (см. рис. 3). В этой системе координат все критические сочетания параметров геометрии резца расположены на прямых линиях, выходящих из одной точки P , соответствующей значениям углов $\gamma_{кр}$ и $\lambda_{кр}$.

Очевидно, что из этой же точки должна выходить линия, соответствующая касанию передней поверхности резца с боковой поверхностью паза по линии TS . Выведем ее уравнение.

Разобьем данную задачу на два этапа. Сначала предположим, что главный φ и вспомогательный φ_1 углы в плане (см. рис. 1) равны, а резец касается боковой поверхности паза по линии SV . Этому положению соответствуют углы $\gamma_{oc} > \beta$ и γ_{rad} . Если теперь изменить знак угла γ_{rad} на отрицательный ($-\gamma_{rad}$), то в связи с равенством углов φ и φ_1 касание резцом боковой поверхности паза происходит по линии TS . Из рис. 3 следует, что если касание резцом паза происходит по линии UV , то $\tan \lambda = \tan \lambda_{кр} = -\tan \beta \sin \varphi_1$.

Из формул (2) получим уравнение, позволяющее найти угол γ_{rad} следующим образом:

$$\tan \gamma_{rad} = \frac{\tan \gamma_{oc} \sin \varphi_1 - \tan \beta \sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} = (\tan \gamma_{oc} - \tan \beta) \tan \varphi_1.$$

Зафиксируем теперь положение передней поверхности резца в положении его (резца) касания паза по линии TS ; его определяют углы γ_{oc} и γ_{rad} . Вычислим углы γ и λ , образующиеся при этом, приняв теперь $\varphi \neq \varphi_1$.

Подставляя γ_{oc} и $-\gamma_{rad}$ в формулы (2), находим

$$\begin{aligned} \tan \gamma &= \tan \gamma_{oc} \cos \varphi + \tan(-\gamma_{rad}) \sin \varphi = \\ &= \tan \gamma_{oc} \cos \varphi - \tan \gamma_{rad} \sin \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом того, что $\tan \gamma_{rad} = (\tan \gamma_{oc} - \tan \beta) \tan \varphi_1$, получаем из уравнения (6) после преобразований

$$\tan \gamma = \frac{\tan \gamma_{oc} [\cos(\varphi + \varphi_1)]}{\cos \varphi_1 + \tan \beta \tan \varphi_1 \sin \varphi}. \quad (7)$$

Аналогично

$$\tan \lambda = \frac{\tan \gamma_{oc} [\sin(\varphi + \varphi_1)]}{\cos \varphi_1 + \tan \beta \tan \varphi_1 \cos \varphi}. \quad (8)$$

Умножим уравнение (7) на $\sin(\varphi + \varphi_1)$, а уравнение (8) — на $\cos(\varphi + \varphi_1)$ и сложим их. После преобразований и сокращений находим соотношение

$$\sin(\varphi + \varphi_1) \tan \gamma + \cos(\varphi + \varphi_1) \tan \lambda = \tan \beta \sin \varphi_1, \quad (9)$$

которое представляет собой уравнение прямой на плоскости в координатах $\tan \gamma - \tan \lambda$.

Заменив в левой части уравнений (3) $\gamma_{кр}$ и $\lambda_{кр}$ на γ и λ , подставим полученные выражения в урав-

нение (9) и в результате найдем соотношение $\sin(\varphi + \varphi_1) \cos \varphi - \cos(\varphi + \varphi_1) \sin \varphi = \sin(\varphi + \varphi_1 - \varphi) = \sin \varphi_1$, которое свидетельствует о том, что указанная прямая проходит через точку P (см. рис. 3).

Далее примем $\tan \gamma = 0$; тогда из уравнения (9) имеем $\cos(\varphi + \varphi_1) \tan \lambda = \tan \beta \sin \varphi_1$, откуда $\tan \lambda = \tan \beta \sin \varphi / \cos(\varphi + \varphi_1)$.

Заметим, что $\tan \lambda > 0$ и выразим это геометрически (рис. 4). От отрезка OP отложим угол φ с вершиной в точке P так, чтобы точка K оказалась выше точки O , и опустим из точки O перпендикуляр ON на линию PK . Из геометрических соотношений следует $ON = k \tan \beta \sin \varphi$; $OK = k_1 \tan \beta \sin \varphi_1 / \cos(\varphi + \varphi_1)$, где k и k_1 — коэффициенты пропорциональности. Тригонометрические расчеты показывают, что $OK = k_2 \tan \delta'$ (где k_2 — коэффициент пропорциональности), а продолжение прямой KP за точку P соответствует касанию резца с поверхностью паза по прямой TS .

Полученные линии делят всю плоскость $\tan \lambda - \tan \gamma$ на четыре области с общей вершиной в точке P (рис. 5). Каждая из областей соответствует контакту заготовки и передней поверхности резца в одной из точек S , T , U , V .

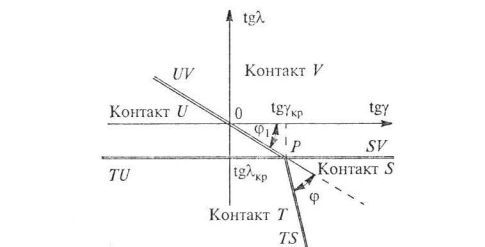


Рис. 5. Диаграмма областей контакта и критических углов

Согласно теоретическим расчетам были изготовлены резцы с геометрическими параметрами, соответствующими работе в условиях контакта U , T , V и S и проведен ряд экспериментов. В качестве примера ограничимся данными о стойкости, по-

лученными при точении заготовок из стали 45 резцами, оснащенными композитом 10, с углами $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 35^\circ$ (см. таблицу).

$K_{пр}, \%$	HRC	$\gamma, \text{градус}$	$\lambda, \text{градус}$	Контакт	Стойкость, мин
20	20	-5	3	U	54,5
40	20	-7	5		50,8
20	50	-10	6		50,3
20	20	-3	-6	T	38,9
40	20	-5	-6		34,7
20	50	-5	-10		32,4
20	20	5	5	V	30,3
40	20	8	5		26,2
20	50	10	3		24,9
20	20	15	-6	S	11,6
40	20	13	-6		9,2
20	50	10	-5		8,4

Степень прерывистости обрабатываемой поверхности характеризуют твердость HRC и коэф-

фициент $K_{пр}$, определяющий долю холостого пробега резца из-за наличия пазов на заготовке.

Результаты расчета ожидаемой стойкости резцов и эксперименты свидетельствуют о том, что для операции чистового точения прерывистых поверхностей наиболее благоприятен начальный контакт в точке U , наиболее удаленной от вершины резца, когда первоначальный удар (при врезании) происходит не в самой слабой части резца (вершине), а в точке, максимально удаленной от нее.

Полученные условия контакта резца и обрабатываемой поверхности заготовки позволяют определить, как изменение места начального контакта влияет на ожидаемую стойкость резца в зависимости от условий обработки (степени прерывистости процесса резания, твердости и материала заготовки) и подтвердить перспективность применения композитов при лезвийной обработке различными РИ в условиях прерывистого резания.