

УДК 621.658.012.531

Ф.В. Новиков, проф., д-р техн. наук,

В.И. Полянский,

В.А. Жовтобрюх

Харьковский национальный экономический университет

пр. Ленина 9а, г. Харьков, Украина, 61001

novikov.fv@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ И ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Введение и постановка проблемы. Процессы резания материалов, характеризующиеся относительно низкой энергоемкостью обработки, получили широкое применение при формообразовании поверхностей деталей, изготовленных из различных материалов. Вместе с тем, при обработке пластичных материалов, в особенности на финишных операциях, применение процессов резания не всегда эффективно, т.к. обрабатываемые материалы фактически не поддаются резанию. В этом случае целесообразно использовать методы поверхностного пластического деформирования, что позволяет получить высокую точность обработки и одновременно произвести упрочнение поверхностного слоя. В особой мере это относится к обработке деталей гидроаппаратуры авиационного назначения, изготовленных из высокопрочных пластичных материалов, которые плохо обрабатываются резанием. В связи с этим актуальна проблема определения условий эффективного перехода от процессов резания к процессам пластического деформирования. Исследования проводились в рамках тематического плана работ ГП Харьковский машиностроительный завод "ФЭД".

Анализ последних достижений и публикаций. В работах [1,2] приведены результаты экспериментальных исследований по определению условий осуществления процессов резания и пластического деформирования материалов. Однако полученные решения носят частный характер и справедливы лишь для вполне конкретных условий обработки. Поэтому настоящая статья посвящена установлению более общих аналитических решений, справедливых для широких диапазонов изменения варьируемых параметров, что позволит научно обосновать технологические возможности механической обработки.

Цель работы. Определение условий повышения эффективности механической обработки деталей из высокопрочных пластичных материалов на основе установления границ осуществления процессов резания и пластического деформирования.

Результаты исследований. В работе [3] приведены аналитические зависимости для определения силы резания P и ее составляющих: тангенциальной P_z и радиальной P_y :

$$P = \frac{2a \cdot \tau_{сдв}}{(-\sin \omega)}; \quad P_z = \frac{2a \cdot \tau_{сдв} \cdot \cos \omega}{(-\sin \omega)}; \\ P_y = \frac{2a \cdot \tau_{сдв} \cdot \sin \omega}{(-\sin \omega)}, \quad (1)$$

где a – толщина среза, м; $\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м²; $\omega = \psi + \gamma$ – угол действия; ψ – условный угол трения на передней поверхности инструмента ($tg\psi = f$ – коэффициент трения); γ – отрицательный передний угол инструмента.

Как видно, с увеличением отрицательного переднего угла γ величины P , P_z и P_y неограниченно увеличиваются, что свидетельствует о невозможности осуществления в данных условиях процесса резания. В связи с этим возникает вопрос о границах, при которых реализуется процесс резания. Иными словами, важно установить предельные значения отрицательного переднего угла γ , при которых процесс резания переходит в процесс пластического деформирования металла без образования стружки.

Исходя из рисунка 1, на передней поверхности инструмента действует сила резания P , которую, с одной стороны, можно разложить на две составляющие P_z и P_y , а с другой стороны, на две составляющие N и $f \cdot N$, действующие соответственно перпендикулярно и параллельно передней поверхности инструмента. Между составляющими силы резания P_z , P_y и N , $f \cdot N$ существуют связи:

$$\begin{cases} P_z = N \cdot \frac{\cos(\psi + \gamma)}{\cos \psi}, \\ P_y = N \cdot \frac{\sin(\psi + \gamma)}{\cos \psi}. \end{cases} \quad (2)$$

Составляющую силы резания N (для единичной ширины среза) в первом приближении можно представить в виде $N = HV \cdot l$, где HV – твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), Н/м^2 ; $l = OA = a_1 / \cos \gamma$ – длина контакта передней поверхности инструмента с обрабатываемым материалом, м.

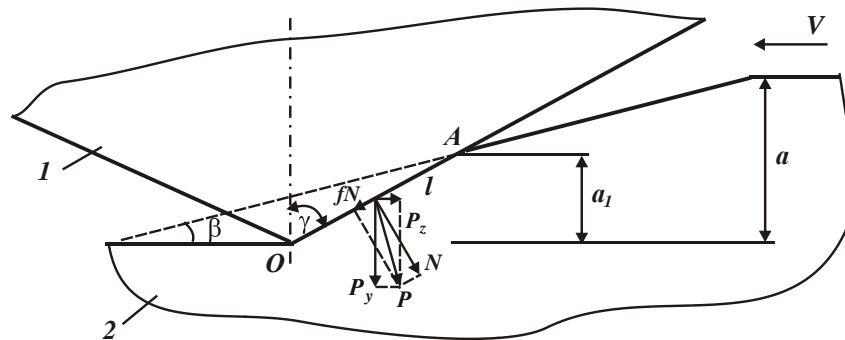


Рисунок 1 – Расчетная схема резания: 1 – резец; 2 – обрабатываемый материал

Сравнивая значения радиальной составляющей силы резания P_y по приведенным зависимостям, установлена связь отношения a_1/a с углом γ :

$$\frac{a_1}{a} = \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{HV} \cdot \frac{\cos \gamma \cdot \cos \psi}{1 - \sin(\psi + \gamma)} \quad (3)$$

С увеличением угла γ отношение a_1/a непрерывно увеличивается – до бесконечности при $\gamma = 90^\circ - \psi$. Очевидно, при условии $a_1/a > 1$ процесс резания неосуществим, а возможен лишь процесс пластического деформирования обрабатываемого материала. Следовательно, существует предельное значение угла γ , при котором процесс резания переходит в процесс пластического деформирования. Исходя из зависимости (3), предельный угол γ зависит от угла ψ . Чем больше угол ψ , тем меньше угол γ . Поэтому основным условием расширения границы осуществления процесса резания является уменьшение угла ψ . Отношение a_1/a во многом зависит от отношения $2 \cdot \tau_{сдв} / HV \approx \sigma_{вр} / HV$ (где $\sigma_{вр}$ – временное сопротивление, Н/м^2). Чем больше данное отношение, тем больше a_1/a и соответственно меньше предельный угол γ , при котором возможен процесс резания. Отношение $\sigma_{вр} / HV$ для разных обрабатываемых материалов принимает различные значения: для сталей – 0,33, для твердого сплава ВК8 – 0,09, а для цветных металлов (например, меди) – больше 0,5 [4].

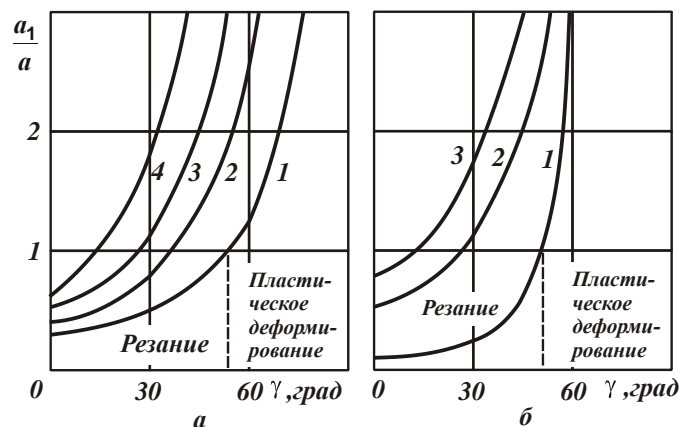


Рисунок 2 – Зависимости a_1/a от угла γ : а – обрабатываемый материал – быстрорежущая сталь P12Ф5М (1 – $\psi = 0$; 2 – $\psi = 10^\circ$; 3 – $\psi = 20^\circ$; 4 – $\psi = 30^\circ$); б – твердый сплав ВК8 (1); быстрорежущая сталь P12Ф5М (2); медь (3) для $\psi = 20^\circ$

На рисунке 2,а приведены рассчитанные по зависимости (3) значения a_1/a при обработке быстрорежущей стали P12Ф5М ($2 \cdot \tau_{сдв} / HV = 0,3$) для различных значений угла ψ . С увеличением угла ψ отношение a_1/a увеличивается, а граничные значения угла γ (при которых выполняется условие

$a_1/a=1$) уменьшаются, принимая значения, близкие к нулю. Поэтому уменьшение интенсивности трения инструментального и обрабатываемого материалов является важным условием увеличения предельных значений угла γ и соответственно расширения границ осуществления процесса резания. На рисунке 2,б приведены рассчитанные по зависимости (3) значения a_1/a для стали, твердого сплава ВК8 и меди. Условие $a_1/a=1$ для меди выполняется при меньших значениях угла γ , чем для стали и твердого сплава ВК8. Следовательно, стружкообразование при резании пластичных материалов затруднено. В этом случае необходимо уменьшать отрицательный передний угол инструмента γ (вплоть до положительного значения). В противном случае процесс резания не осуществим, возможен лишь процесс пластического деформирования. Из этого вытекает, например, что процесс резания пластичных материалов абразивными инструментами практически неосуществим, а хрупких материалов – достаточно эффективен (за счет увеличенного отношения $HV/\tau_{сдв}$). На рисунке 3 приведена структурная схема эффективных методов обработки материалов, исходя из которой обработку пластичных материалов (в особенности цветных металлов) целесообразно производить резанием лезвийными инструментами или пластическим деформированием (на финишных операциях).

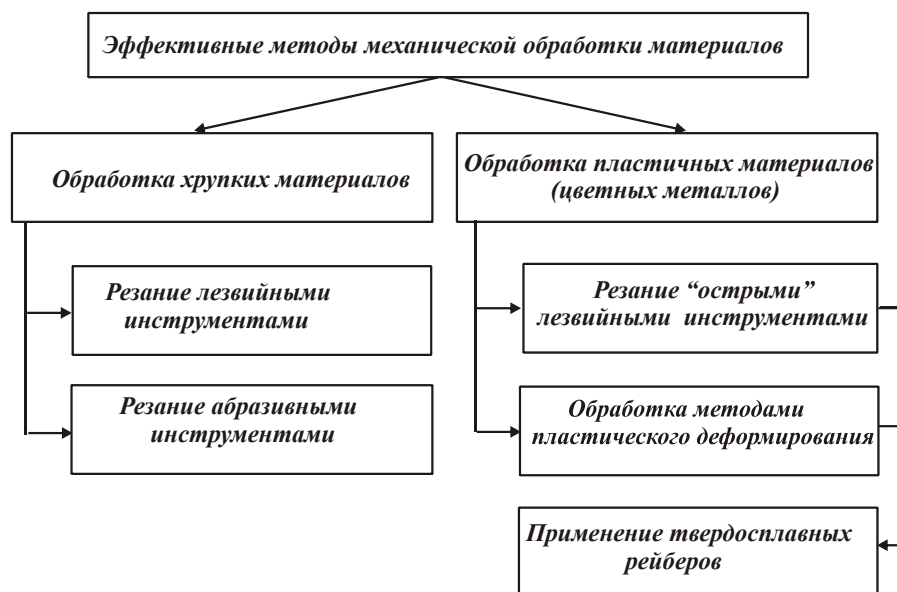


Рисунок 3 – Структурная схема эффективных методов обработки материалов

В результате износа режущего инструмента на его вершине, как правило, образуется криволинейная (радиусная) поверхность. Это приводит к тому, что фактический передний угол становится отличным от номинального переднего угла инструмента γ и принимает отрицательные значения. Поэтому важно установить связь между фактическим передним углом инструмента γ и радиусом округления его вершины R на примере микрорезания единичным абразивным зерном. На рисунке 4 приведена расчетная схема процесса микрорезания единичным зерном, исходя из которой вытекает соотношение $l=2R \cdot \cos \gamma$, где $l=OA$ – длина контакта передней поверхности инструмента с обрабатываемым материалом, м. Сравнивая зависимости (1) и (2) для определения радиальной составляющей силы резания P_y , с учетом соотношения $l=2R \cdot \cos \gamma$, имеем

$$\frac{a}{R} = \frac{HV}{\tau_{сдв}} \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos \psi} \cdot [1 - \sin(\gamma + \psi)] \quad (4)$$

С увеличением угла γ отношение a/R однозначно уменьшается. Очевидно, это ухудшает условия стружкообразования при резании. Угол ψ оказывает на a/R неоднозначное влияние. Однако, учитывая то, что угол ψ изменяется в пределах $0 \dots 45^\circ$, функция $1 - \sin(\gamma + \psi)$ подвержена большему изменению, чем функция $\cos \psi$. В результате отношение a/R с увеличением угла ψ будет уменьшаться, что приведет к ухудшению условий стружкообразования.

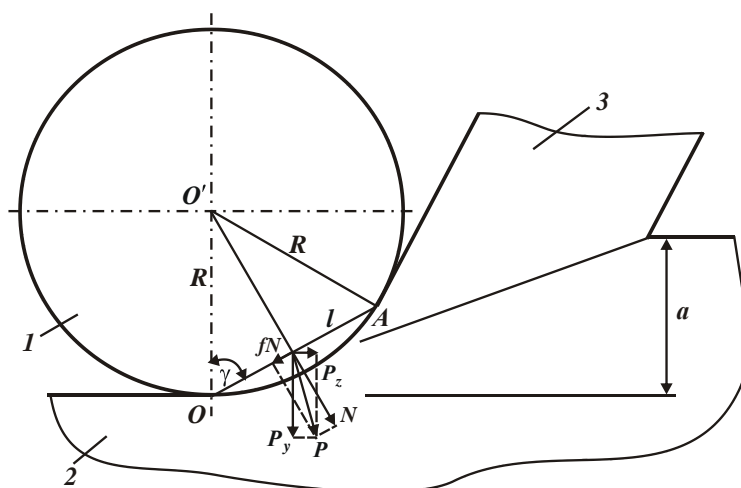


Рисунок 4 – Расчетная схема процесса микрорезания единичным зерном:
1 – режущее зерно; 2 – обрабатываемый материал; 3 – образующаяся стружка

Из зависимости (4) следует, что чем меньше отношение HV/τ_{cd6} , тем меньше отношение a/R . Следовательно, стружкообразование при резании пластичных материалов затруднено. В этом случае необходимо уменьшать отрицательный передний угол инструмента γ . В противном случае процесс резания не осуществим, возможно лишь пластическое деформирование обрабатываемого материала. Из этого вытекает, например, что процесс резания пластичных материалов абразивными инструментами практически неосуществим, тогда как хрупких материалов, наоборот, достаточно эффективен (за счет увеличенного отношения HV/τ_{cd6}). Поэтому обработку пластичных материалов целесообразно производить резанием лезвийными инструментами или методами пластического деформирования.

Обозначим $\alpha = \frac{a}{R} \cdot \frac{\tau_{cd6}}{HV}$, тогда зависимость (4) примет вид

$$\alpha = \frac{\cos \gamma}{\cos \psi} \cdot \left[-\sin \psi + \psi \right]. \quad (5)$$

В таблице 1 приведены расчетные значения безразмерной величины α . С увеличением γ величина α уменьшается до нуля. С увеличением угла ψ нулевое значение α достигается при меньших значениях γ .

Таблица 1 – Расчетные значения безразмерной величины α

γ , град	30	45	60	70	80	90
для $\psi = 0^0$	0,433	0,207	0,067	0,02	0,0026	0
для $\psi = 10^0$	0,314	0,13	0,031	0,0053	0	
для $\psi = 20^0$	0,2156	0,0705	0,008	0		
для $\psi = 30^0$	0,134	0,0278	0			

Проведем анализ изменения отношения a/R для стали (рассматривая $HV/\tau_{cd6} = 6$) в соответствии с зависимостью $a/R = 6 \cdot \alpha$, полученной на основе зависимости (5). Как известно, процесс пластического деформирования материала переходит в процесс стружкообразования (резания) при отношениях $a/R > 0,04$. Исходя из приведенных данных a/R , это достигается при разных значениях отрицательного переднего угла инструмента γ (в зависимости от условного угла трения ψ). При $\psi > 10^0$ это условие выполняется при $\gamma < 70^0$.

Полученные результаты были использованы в основном производстве ГП ХМЗ “ФЭД” при обработке высокоточных отверстий во втулках из бронзы Бр 010С2Н3 твердостью $HV \geq 75$. Как показывает практика, обработка характеризуется чрезвычайно высокой трудоемкостью в связи с низкой эффективностью процесса растачивания твердосплавными резцами – низким качеством обрабатываемой поверхности. Низкие показатели качества обработки требуют применения дополнительной финишной операции рейберования, в результате чего достигаются необходимые показатели точности и шероховатости поверхности. Однако процесс рейберования характеризуется высокой трудоемкостью обработки, т.к. производится за 4 достаточно продолжительные прохода рейбера. Естественно это требует изыскания новых технологических решений по повышению эффективности обработки отверстий в бронзовых втулках.

Одним из таких решений стало применение высокоскоростного растачивания отверстий, которое позволяет существенно уменьшить толщину среза и силы резания без снижения производительности обработки. В связи с этим был проведен комплекс экспериментальных исследований процесса высокоскоростного растачивания отверстий в бронзовых втулках на современном высокооборотном обрабатывающем центре с ЧПУ мод. "Pisomax-60M". Деталь была неподвижна, вращался резец. Режимы резания: частота вращения $n=8000$ об/мин; продольная подача $S=0,02$ мм/об. В результате проведенных экспериментов установлено, что процесс высокоскоростного растачивания отверстий обеспечивает повышение параметров качества обработки: шероховатость поверхности находится на уровне $R_a=0,63$ мкм, а погрешность обработки – в пределах 5 мкм. Производительность обработки увеличена более чем в 3 раза. Это позволило уменьшить трудоемкость последующей операции рейберования более чем в 2 раза, поскольку требуемые параметры качества обработки (шероховатость поверхности $R_a=0,16$ мкм, отклонение от цилиндричности 3 мкм, бочкообразность 3 мкм и разноразмерность 9-ти обработанных поршневых отверстий 3 мкм) формируются всего за 2 прохода рейбера (вместо 4-х проходов по действующей технологии). Операция рейберования выполняется двумя рейберами. Предварительное рейберование осуществляется аналогично процессу точного зенкерования. Рейбер имеет 6 режущих кромок и снимает припуск 0,015 мм. Окончательное рейберование с обеспечением требуемых параметров качества обработки отверстия диаметром 10 мм (шероховатость поверхности $R_a=0,16$ мкм) производится методом пластического деформирования аналогично выглаживанию. Припуск составляет 0,0025 мм, в результате осуществляется процесс пластического упрочнения обрабатываемого материала (бронзы). Рейбер изготавливается из твердого сплава ВК8 или из материала UF10 фирмы "ТАЕГУТЕС". Режимы обработки при рейберовании: частота вращения $n=260$ об/мин; продольная подача $S=0,015$ мм/об; СОТС – АМГ10.

Выводы. Теоретически определены предельные значения переднего угла инструмента, при которых процесс резания переходит в процесс пластического деформирования материала. Установлено, что процесс резания меди осуществляется при меньших значениях отрицательного переднего угла инструмента, чем процесс резания стали и твердого сплава. Доказано, что обработку пластичных материалов (в особенности цветных металлов) целесообразно производить резанием лезвийными инструментами или пластическим деформированием (на финишных операциях).

Установлено, что переход к процессу резания обусловлен коэффициентом трения инструментального и обрабатываемого материалов, а в случае обработки инструментом с криволинейной передней поверхностью, также предельным отношением толщины среза и радиуса округления передней поверхности инструмента. Доказано, что чем больше коэффициент трения, тем больше данное отношение, изменяющееся для абразивных инструментов в пределах 0,04 – 0,17. Это согласуется с известными экспериментальными данными. В дальнейших исследованиях требуется теоретически определить энергоемкость процессов резания и пластического деформирования материалов и на ее основе оценить истинные технологические возможности механической обработки.

Библиографический список использованной литературы

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с.
3. Полянский В.И. Условия повышения качества механической обработки деталей из высокопрочных хрупких материалов / В.И. Полянский // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. –Х.: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 118. – С. 178-184.
4. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э.В. Рыжов, А.А. Сагарда, В.Б. Ильицкий, И.Х. Чеповецкий. – К.: Наук. думка, 1979. – 244 с.