

обертання деталей складної форми. Запропоновано та обгрунтовано вибір схеми обробки деталей «з закріпленням». Представлена класифікація утворення задирок у різних умовах процесу різання лезвійним інструментом. Розроблена варіативна схема комбінування енергетичних дій та технічних рішень у нових технологіях оздоблювально-зачищувальної обробки.

Ключові слова: вібраційна обробка, номенклатура деталей, задирка, гострі крайки, обробка «з закріпленням», класифікація, енергетична дія, інтенсивність процесу.

The predictions of development of new technologies of vibration finishing-grinding treatment which are designed by combining of different circuits of energetic action relatively to stationary base members and rotating parts of complicated shape, have been given. The choice of the circuit of the processing the parts "with fixing" has been offered and based. The classification of burr's formation in various conditions of cutting process by metal-cutting tools has been presented. The variative circuit of combining the energetic actions and technical solutions in new technologies of finishing-grinding treatment has been developed.

Keywords: vibration treatment, nomenclature of the parts, burrs, sharp edges, treatment "with fixing", classification, energetic action, intensity of process.

УДК 621.923

Ф. В. НОВИКОВ, докт. техн. наук, проф., ХНЭУ, Харьков,

О. С. КЛЕНОВ, канд. техн. наук, ООО Фирма "ДиМерус Инженеринг", Харьков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Произведен расчет и теоретический анализ силы резания, возникающей при механической обработке материалов, с использованием фундаментальных методов теории упругости и на этой основе показана эффективность применения режущих инструментов, обладающих повышенной прочностью и износостойкостью. Даны конкретные практические рекомендации. Ил.: 4, Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: механическая обработка, режущий инструмент, сила резания, напряжение, прочность

Вступление. Обработка металлов резанием, по-прежнему, является основным методом формообразования поверхностей деталей машин, обеспечивающим высокие показатели качества, точности и производительности обработки. Особенно это относится к процессам резания инструментами из синтетических сверхтвердых материалов и с износостойкими покрытиями, которые обладают высокой режущей способностью и стойкостью. Это позволяет существенно уменьшить силы и температуру резания, повысить качество и точность обрабатываемых поверхностей. Вместе с тем, для эффективного использования данных инструментов необходимо знать их технологические возможности и оптимальные условия обработки. Это требует разработки более совершенной методики расчета силы резания, являющейся, по сути, основным параметром процесса резания.

Анализ последних исследований и литературы. В научно-технической литературе приведены теоретические решения по определению силы резания при механической обработке [1-3]. Однако они получены на основе упрощенного представления процесса резания с позиции сопротивления материалов. Поэтому важно их уточнить с позиции теории упругости. Это позволит научно обоснованно подойти к решению задач по совершенствованию процесса и расширению его технологических возможностей, т.к. для решения данных задач важно располагать глубокими знаниями о физической сущности процесса и условиях снижения его силовой напряженности.

Цель исследования, постановка проблемы. Цель работы – определение силы резания при механической обработке и условий ее уменьшения. Для этого решается проблема аналитического определения силы резания с использованием фундаментальных методов теории упругости.

© Ф. В. Новиков, О. С. Кленов, 2012

Материалы исследований. В основу работы положено фундаментальное решение о распределении напряжений в полуплоскости от действия на ее границе сосредоточенной силы P (приходящейся на единицу ширины, рис. 1) [4]:

$$\sigma_r = -\frac{2 \cdot P \cdot \cos \theta}{\pi \cdot r}; \quad \sigma_\theta = 0; \quad \tau_{r\theta} = 0 \quad , (1)$$

где σ_r – нормальная компонента напряжений в радиальном направлении; σ_θ – нормальная компонента напряжений в окружном направлении; $\tau_{r\theta}$ – касательная компонента напряжений; θ – угол; r – радиус-вектор.

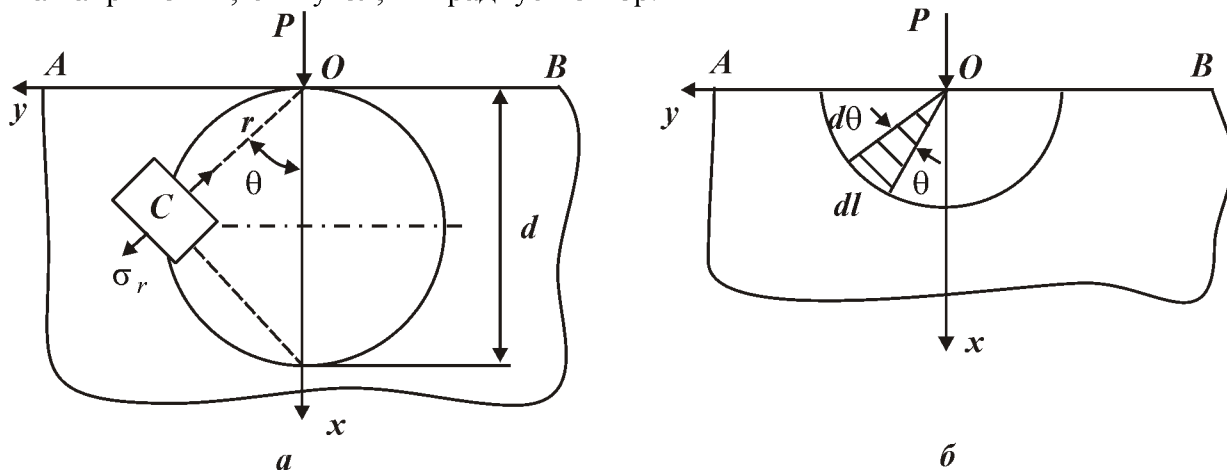


Рис. 1 – Расчетная схема напряжений от действия сосредоточенной силы P
 Данные зависимости удовлетворяют условиям равновесия (рис. 2) [4]:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{2 \cdot \tau_{r\theta}}{r} = 0, \quad (3)$$

уравнению совместности:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \cdot \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} \right) = 0 \quad (4)$$

и граничным условиям на границе AB ($\sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0$).

При условии $\theta = 0$ и $r = 0$ напряжение $\sigma_r \rightarrow \infty$, т.е. из решения необходимо исключить точку приложения силы P . Из решения (1) вытекает, что любой элемент C , расположенный на расстоянии r от точки приложения силы P , подвергается простому сжатию в радиальном направлении. С увеличением θ и r напряжение σ_r уменьшается. Принимая $r = d \cdot \cos \theta$ (где d – диаметр окружности с центром на оси OX и касательной к оси OY в точке O , рис. 1,а), напряжение σ_r описывается

$$\sigma_r = -\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d}. \quad (5)$$

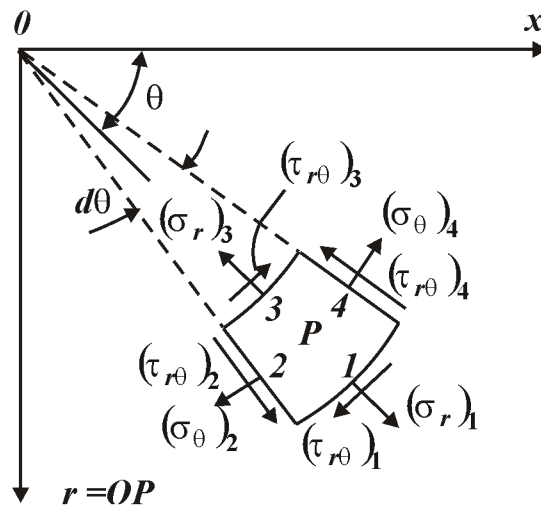


Рис. 2 – Расчетная схема напряженного состояния тела

Следовательно, напряжение σ_r во всех точках окружности одинаково за исключением точки приложения силы, где $\sigma_r \rightarrow \infty$. Чем больше диаметр окружности d , тем меньше напряжение σ_r . Очевидно, внутри окружности напряжение больше, чем снаружи. Используя данное решение, установим параметры силовой напряженности процесса резания для нулевого переднего угла режущего инструмента (рис. 3). Учитывая, что образование стружки происходит в результате периодических сдвигов элементов обрабатываемого материала вдоль условной плоскости сдвига OA (расположенной под условным углом сдвига материала β), определим касательное напряжение τ в плоскости сдвига OA :

$$\tau = \frac{P \cdot \cos(\beta + \psi)}{b \cdot r}, \quad (6)$$

где P – равнодействующая силы резания, Н; ψ – условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента; $\operatorname{tg} \psi = f$ – коэффициент трения обрабатываемого и инструментального материалов; b – ширина среза, м; r – текущее значение длины условной плоскости сдвига материала OA , в пределах которой касательное напряжение τ одинаково.

В расчетной схеме, показанной на рис. 3,а, рассмотрим прямоугольный треугольник $OA'B$, в котором $OA' = r$, а угол $OA'B$ равен 90° . Тогда справедлива зависимость

$$d = \frac{r}{\cos(\beta + \psi)}, \quad (7)$$

где d – длина отрезка OB .

Проведем через три точки O , A' и B окружность, т.е. окружность, описывающую прямоугольный треугольник $OA'B$. Как известно, данная окружность подчиняется следующим свойствам [4]: а) все вписанные в окружность углы, опирающиеся на одну и ту же дугу, равны между собой; б) вписанный угол определяется половиной дуги, на которую он опирается. Из сказанного вытекает, что поскольку угол $OA'B$ равен 90° , то длина отрезка OB равна диаметру окружности d , проведенной через точки O , A' и B . Исходя из этого зависимость (6) может быть выражена через диаметр окружности d :

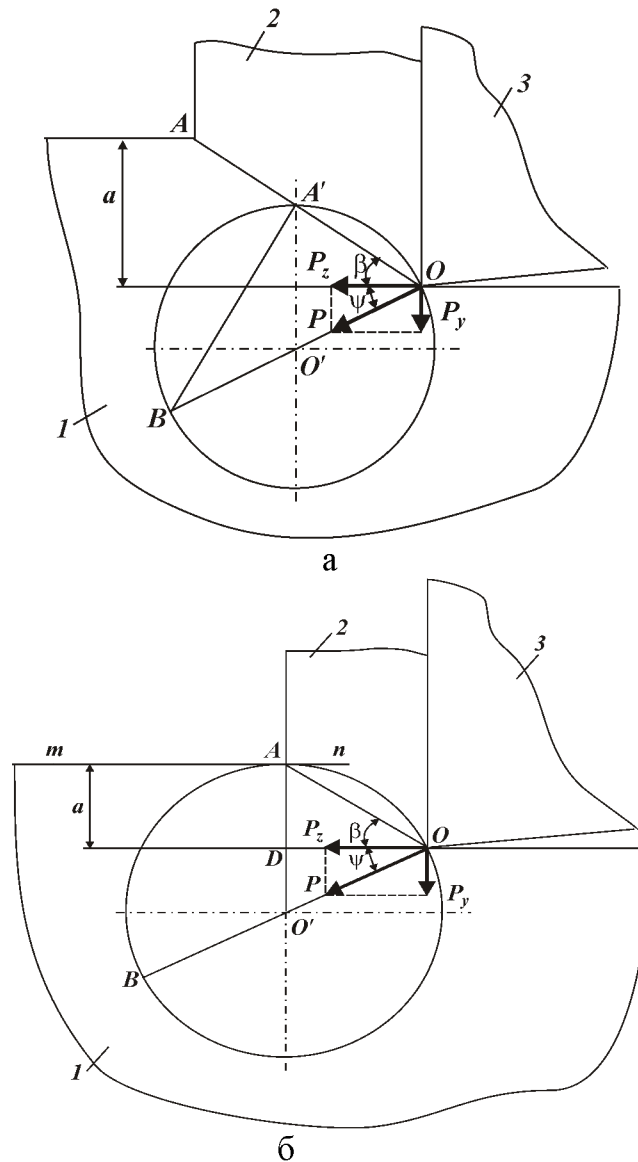


Рис. 3 – Расчетные схемы условного угла сдвига материала β при резании:
 1 – материал; 2 – стружка; 3 – режущий инструмент.

$$\tau = \frac{P}{\sigma \cdot d} \quad (8)$$

Физический смысл полученного решения состоит в том, что касательное напряжение τ в каждой точке круга диаметром d одинаково и зависит от значений P и d . Как видно, касательное напряжение τ тем больше, чем больше сила резания P и меньше диаметр окружности d .

Из условия $\tau = \tau_{сдв}$ для заданного значения P можно определить предельное значение диаметра окружности d , при котором произойдет разрушение обрабатываемого материала.

Результаты исследования. Применим данное решение для определения положения условной плоскости сдвига материала OA (рис. 3,б) и условного угла сдвига материала β при резании инструментом с передним углом, равным нулю. Для этого проведем окружность диаметром d с центром в точке O' , расположенной на линии действия силы

резания P . Окружность должна касаться границы обрабатываемого материала, определяемой положением линии mn . Предположим, что выполняется условие:

$$\tau = \tau_{сдв} = \frac{P}{\delta \cdot d}. \quad (9)$$

Это означает, что в каждой точке круга диаметром d касательное напряжение τ равно пределу прочности на сдвиг обрабатываемого материала $\tau_{сдв}$. Следовательно, внутри круга диаметром d возможно разрушение обрабатываемого материала. Вполне очевидно, что разрушение материала произойдет вдоль плоскости OA , т.е. условной плоскостью сдвига будет плоскость OA , расположенная под углом β к направлению движения инструмента (или обрабатываемой детали).

Условный угол сдвига материала β можно определить, рассматривая равнобедренный треугольник $OA O'$, в котором стороны AO' и OO' равны радиусу окружности $r = d/2$. Из этого следует, что угол $OA O'$ равен углу $AO O'$, т.е. угол $OA O'$ равен $(\beta + \psi)$. Угол $AO' O$ равен $(90^\circ - \psi)$, поскольку линия OA перпендикулярна линии mn и угол $O' D O$ равен 90° . Как известно, сумма углов треугольника равна 180° , тогда

$$(90^\circ - \psi) + 2 \cdot (\beta + \psi) = 180^\circ, \text{ откуда} \quad (10)$$

$$\beta = 45^\circ - \frac{\psi}{2}. \quad (11)$$

Определим диаметр окружности d исходя из условия:

$$AD + DO' = \frac{d}{2}, \quad (12)$$

где $AD = a$ – толщина среза; $DO' = OO' \cdot \sin \psi = d/2 \cdot \sin \psi$.

После преобразования зависимости (12), имеем

$$d = \frac{2a}{(1 - \sin \psi)}. \quad (13)$$

Как видно, диаметр окружности d тем больше, чем больше толщина среза a и условный угол трения образующейся стружки с передней поверхностью инструмента ψ . Наименьший диаметр окружности d достигается при $\psi = 0$, т.е. при отсутствии трения образующейся стружки с передней поверхностью инструмента. В этом случае $d = 2a$ или $a = d/2$ (рис. 4). Условный угол сдвига материала β , определяемый (11), равен 45° .

Располагая зависимостью для определения диаметра окружности d , на основе зависимости (9) можно рассчитать силу резания P :

$$P = \delta \cdot d \cdot \tau_{сдв} = \frac{2a \cdot \delta \cdot \tau_{сдв}}{(1 - \sin \psi)}. \quad (14)$$

Таким образом показано, что использование окружности одинаковых напряжений позволяет наглядно проанализировать условия формирования условного угла сдвига материала β и параметров силовой напряженности процесса резания. Сравнивая зависимости (5) и (8) видно, что они отличаются лишь множителем $2/\pi$. Следовательно, все выводы, сделанные на основе анализа зависимости (5), остаются справедливыми и применительно к зависимости (8).

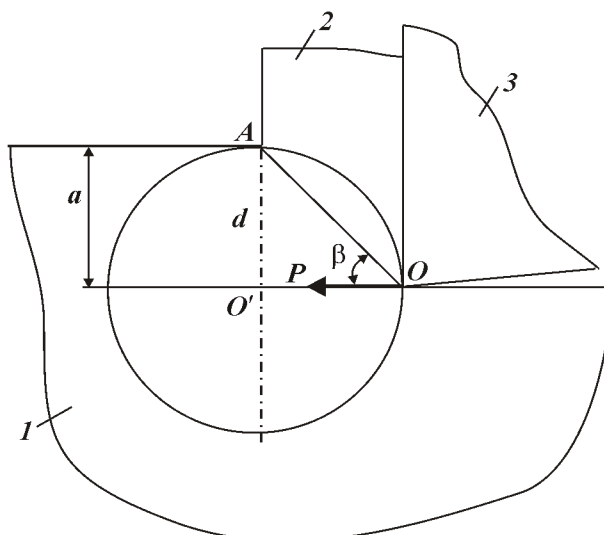


Рис. 4 – Расчетная схема угла β при резании для случая $\psi = 0$:
1 – обрабатываемый материал; 2 – стружка; 3 – инструмент

Из зависимости (14) следует, что уменьшить силу резания P можно уменьшением параметров a , ν , $\tau_{сдв}$ и ψ . Основным параметром в данном случае является толщина среза a , которую можно изменять в широких пределах. Условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента ψ может изменяться в пределах $0 \dots 45^\circ$, что позволяет изменять выражение $(1 - \sin \psi)$ в пределах $0,3 \dots 1,0$. Естественно, этого не достаточно для того, чтобы существенно уменьшить силу резания P . Из этого следует, что при резании труднообрабатываемых материалов сложно уменьшить силу резания P и таким образом снизить износ инструмента. Поэтому основным путем повышения эффективности механической обработки (в том числе процесса резки материалов) следует рассматривать увеличение прочности и износостойкости режущей части инструмента путем применения более прочных инструментальных материалов (например, твердых сплавов) с нанесенными на них износостойкими покрытиями, позволяющими повысить ресурс работы режущего инструмента [5].

Заключение. В работе на основе теоретических исследований параметров силовой напряженности механической обработки показано, что основным направлением совершенствования процесса резки материалов является применение режущих инструментов, обладающих повышенной прочностью, твердостью и износостойкостью. Добиться такой же эффективности обработки за счет оптимизации режимов резания значительно сложнее. Поэтому в дальнейшем важно определить условия повышения прочности режущей части инструмента.

Список литературы: 1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 2. Лолодзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лолодзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с. 3. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов / С.С. Силин. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с. 4. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Ред. физ.-мат. лит. Изд. "Наука", 1975. – 576 с. 5. Системи технологій. Навчальний посібник / В.Г. Шкурупій, Ф.В. Новіков, Ю.В. Шкурупій. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 280 с.

Надійшла до редколегії 20.10.2012

УДК 621.923

Теоретичний аналіз сили різання при механічній обробці / Новиков Ф. В., Кленів О. С. // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2012. – №47(953).. – С. 233–239. – Бібліогр.: 5 назв.

Виконано розрахунок і теоретичний аналіз сили різання, що виникає при механічній обробці матеріалів, з використанням фундаментальних методів теорії пружності й на цій основі показана ефективність застосування різальних інструментів, які володіють підвищеною міцністю й зносостійкістю. Наведено конкретні практичні рекомендації.

Ключові слова: механічна обробка, різальний інструмент, сила різання, напруга, міцність

The calculation of theoretical analysis of the cutting force that occurs when mechanical treatment of materials, using basic methods of the theory of elasticity and, on this basis, the effectiveness of cutting instruments, with increased strength and durability. Offer specific recommendations for action. Il. 4, ref.: 5 titles.

Keywords: machining, cutting tool, cutting force, power, strength

УДК 006.015.5

В. В. СЕБКО, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,

В. Н. БАБЕНКО, асистент, НТУ «ХПИ»,

В. П. СЕБКО, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ».

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОПАРАМЕТРОВОГО МЕТОДА НА БАЗЕ ТЕПЛОВОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Исследована возможность повышения точности измерений и достоверности контроля параметров стальной ферромагнитной пластины за счет реализации дифференциального многопараметрового вихретокового метода.

Ключевые слова. точность измерений, достоверность контроля, плоское изделие, магнитная проницаемость, температура, сигнал, погрешности измерений, амплитуда ЭДС, угол сдвига фаз, дифференциальный метод, тепловой преобразователь.

На сегодняшний день хорошо описана теория работы трансформаторного вихретокового преобразователя с магнитными и немагнитными цилиндрическими изделиями при реализации дифференциальных вихретоковых методов [1-8]. В 70-80-х годах прошлого века в научных работах [1-3] описаны дифференциальные методы контроля одного параметра (например, магнитного или электрического) с отстройкой от других «мешающих» физико-механических параметров. В последнее время развитие дифференциальных методов и реализующих их вихретоковых многопараметровых устройств (в том числе и автоматизированных) пошло по пути совместного контроля магнитных и электрических параметров в одной и той же зоне контроля цилиндрических изделий, одним и тем же вихретоковым преобразователем [4-7]. Недостатком работ [4-7] является то, что была не известна температура, при которой осуществлялся измерительный контроль относительной магнитной проницаемости μ_r и электрических параметров (удельной электрической проводимости σ или удельного электрического сопротивления ρ), что в свою очередь снижало точность измерений электромагнитных параметров цилиндрических изделий и достоверность контроля параметров [11].

В работе [8] описан дифференциальный вихретоковый метод контроля температуры немагнитных цилиндрических изделий, однако многопараметровый контроль плоских изделий с помощью дифференциального теплового вихретокового устройства так и остался без внимания.

© В. В. Себко, В. Н. Бабенко, В. С. Себко, 2012