

Konechno–jelementnoe modelirovanie processa izgotovlenija stvol'nyh zagotovok gidrojekstruziej v srede vysokih gidrostaticeskikh davlenij. «Obrabotka materialov davleniem». Sbornik nauchnyh trudov. No1 (34) – 2013. P.18–22. (Kramatorsk, Donbasskaja gosudarstvennaja mashinostroitel'naja akademyja). 3. Rozov Ju.G. Proektirovanie osnastki i tehnologii izgotovlenija stvol'nyh zagotovok metodom gidroekstruzii na gladkoj podvizhnoj opravke. «Obrabotka materialov davleniem». Sbornik nauchnyh trudov. No2 (35) – 2013g. P. 106–109. (Kramatorsk, Donbasskaja gosudarstvennaja mashinostroitel'naja akademyja). 4. Stebljuk V.I., Orljuk M.V., Rozov Ju.G., Shkarluta D.B. Napruzheno–deformovaniy stan zagotovki pri vnutrish'omu profiljuvanni volochinnjam neprivodnymi rolykamy. Dopovid' XII Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferencii «Progresivna tehnika i tehnologija – 2011», 20–24 chervnja 2011 – Kiiv – Sevostopol', Ukraina. 5. Rozov Ju.G. Konechno–jelementnaja model' volochenija trubchatoj zagotovki na profil'noj opravke v konicheskoj matricе. Vesnik MGTU im. G.I. Nosova. – 2013. – No3. (Magnitogorsk, Rossija, Magnitogorskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2013). 6. Rozov Ju.G., Stebljuk V.I., Sidorenko Ju.M., Shkarluta D.B. Ocenka vlijanija profilja kanala stvola na prochnost' CO Artillerijskoe i strelkovoe vooruzhenie. Mezhdunarodnyj nauchno–tehničeskij zhurnal. – 2012. – No1 – P. 35–39.

Поступила (received) 21.10.2014

УДК 621.923

И. А. РЯБЕНКОВ, канд. техн. наук, ГП ХМЗ “ФЭД”, Харьков;

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРЕНИЯ СВЯЗКИ КРУГА С ОБРАБАТЫВАЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

В работе получены аналитические зависимости для определения тангенциальной и радиальной составляющих силы резания на основе отдельного учета энергий “чистого” резания и трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования. Установлено, что с течением времени обработки в связи с интенсивным трением в зоне резания и увеличением упругих перемещений в технологической системе сила резания увеличивается. Проведен теоретический анализ отношения тангенциальной и радиальной составляющих силы резания и показана возможность его увеличения.

Ключевые слова: шлифование, резание, трение, шлифовальный круг, сила резания, упругое перемещение, технологическая система, скорость детали

Введение. При изготовлении высокоточных деталей на финишных операциях традиционно широко используются методы обработки свободным абразивом (доводка, полирование и т.д.). Однако в процессе обработки происходит шаржирование абразивных зерен в обрабатываемый материал (в особенности при обработке цветных металлов), что недопустимо. В связи с этим возникает задача применения более прогрессивных методов обработки, исключающих данное явление. Такими методами следует рассматривать шлифование и в ряде случаев финишную лезвийную обработку. Как известно, основным недостатком шлифования является наличие трения связки шлифовального круга с обрабатываемым материалом, что приводит к повышению силовой и тепловой напряженности процесса резания, появлению

на обрабатываемых поверхностях различных дефектов. Поэтому, чтобы повысить эффективность шлифования, необходимо исключить или уменьшить интенсивность трения в зоне резания, применяя для этого различные технологические методы и приемы. При этом важно также знать технологические возможности процесса шлифования, что требует разработки математической модели баланса энергии резания и трения при шлифовании.

Анализ последних достижений и литературы. В работах [1–3] показано значительное влияние интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом на основные показатели процесса шлифования, что приводит к снижению производительности и качества обработки. Однако эти результаты получены на основе экспериментальных исследований. Теоретические решения в этом направлении фактически отсутствуют. Это ограничивает возможности достаточно полного раскрытия физической сущности процесса шлифования и требует проведения дальнейших исследований.

Цель работы, постановка проблемы. Целью работы является обоснование условий повышения эффективности процесса шлифования на основе снижения интенсивности трения в зоне резания. В связи с этим в работе теоретически решается проблема отдельного учета энергий “чистого” резания и трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

Материалы исследований. Для решения поставленной проблемы следует воспользоваться результатами теоретических исследований процесса шлифования, приведенными в работах [4, 5]. Согласно схемы шлифования прямолинейной детали, движущейся по нормали к рабочей поверхности круга со скоростью $V_{дет}$ (рис. 1), тангенциальную P_z и радиальную P_y составляющие силы резания можно представить в виде $P_z = P_{z_{рез}} + P_{z_{тр}}$; $P_y = P_{y_{рез}} + P_{y_{тр}}$, где $P_{z_{рез}}$, $P_{y_{рез}}$ – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, обусловленные процессом “чистого” резания, Н; $P_{z_{тр}}$, $P_{y_{тр}}$ – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, обусловленные процессом трения связки круга с материалом, Н. Составляющие силы резания $P_{z_{рез}}$ и $P_{y_{рез}}$

определяются [5]: $P_{z_{рез}} = \sigma \cdot S_{мгн} = \sigma \cdot \frac{Q}{V_{кр}} = \sigma \cdot \frac{F \cdot V_{дет0}}{V_{кр}}$; $P_{y_{рез}} = \frac{P_{z_{рез}}}{K_{рез}} = \sigma \cdot \frac{F \cdot V_{дет0}}{V_{кр}} \cdot \text{tg}(\psi + \gamma)$,

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $S_{мгн} = Q/V_{кр}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зёрнами круга, м²; $Q = F \cdot V_{дет0}$ – фактическая производительность обработки, м³/с; F – площадь поперечного сечения обрабатываемого прямолинейного образца, м²; $V_{дет0}$ – фактическая линейная скорость съема материала, м/с ($V_{дет0} \leq V_{дет}$); $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $K_{рез} = \text{ctg}(\psi + \gamma)$; ψ –

условный угол трения режущего зерна с обрабатываемым материалом ($\operatorname{tg} \psi = f$ – коэффициент трения); γ – условный (отрицательный) передний угол режущего зерна.

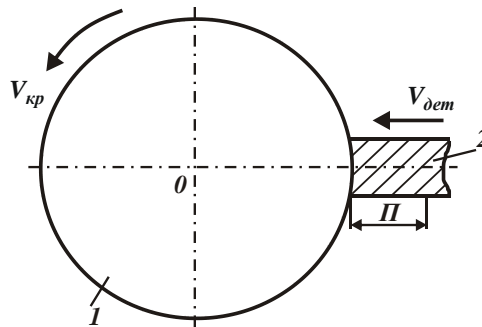


Рис. 1 – Расчетная схема процесса шлифования: 1 – круг; 2 – деталь

Как следует из приведенных зависимостей, составляющие силы резания $P_{z_{рез}}$ и $P_{y_{рез}}$ тем меньше, чем меньше параметры σ , F , $V_{дет0}$ и больше $V_{кр}$.

Составляющие силы резания $P_{z_{тр}}$ и $P_{y_{тр}}$ появляются при наличии трения связи круга с обрабатываемым материалом, когда выполняется условие $V_{дет0} \leq V_{дет}$. В этом случае подводимый в зону резания обрабатываемый материал не успевает полностью удаляться режущими зернами и поэтому в технологической системе возникает упругое перемещение y , которое с течением времени обработки τ увеличивается по зависимости: $y = (V_{дет} - V_{дет0}) \cdot \tau$.

Соответственно величина упругого перемещения y предопределяет возникновение в технологической системе силы $P_{y_{тр}} = c \cdot y = c \cdot (V_{дет} - V_{дет0}) \cdot \tau$, где c – жесткость технологической системы, Н/м. Тангенциальная составляющая силы резания $P_{z_{тр}}$ связана с $P_{y_{тр}}$ соотношением $P_{z_{тр}} / P_{y_{тр}} = f_1$, где f_1 – коэффициент трения связи круга с обрабатываемым материалом. Тогда $P_{z_{тр}} = f_1 \cdot c \cdot (V_{дет} - V_{дет0}) \cdot \tau$.

Как следует из приведенных зависимостей, составляющие силы резания $P_{z_{тр}}$ и $P_{y_{тр}}$ тем меньше, чем меньше параметры f_1 , c , $(V_{дет} - V_{дет0})$ и $\tau = \Pi / V_{дет}$, где Π – величина снимаемого припуска, м (рис. 1). При условии $V_{дет0} = V_{дет}$ составляющие силы резания $P_{z_{тр}}$ и $P_{y_{тр}}$ равны нулю. Поэтому при шлифовании необходимо стремиться выполнять условие $V_{дет0} \rightarrow V_{дет}$ за счет поддержания в процессе обработки высокой режущей способности шлифовального круга. Это достигается реализацией режима самозатачивания круга.

При работе круга в режиме затупления скорость $V_{дет0}$ будет уменьшаться, что приведет к нарушению условия $V_{дет0} = V_{дет}$, поскольку $V_{дет0}$ станет меньше $V_{дет}$. Окончательно зависимости для определения P_z , P_y и их отношения опишутся:

$$P_z = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дет0}}{V_{кр}} + f_1 \cdot c \cdot (V_{дет} - V_{дет0}) \cdot \tau; \quad (9=1)$$

$$P_y = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дет0}}{V_{кр}} \cdot \operatorname{tg}(\psi + \gamma) + c \cdot (V_{дет} - V_{дет0}) \cdot \tau; \quad (10=2)$$

$$K_{ш} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{\frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дет0}}{V_{кр}} + f_1 \cdot c \cdot (V_{дет} - V_{дет0}) \cdot \tau}{\frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дет0}}{V_{кр}} \cdot \operatorname{tg}(\psi + \gamma) + c \cdot (V_{дет} - V_{дет0}) \cdot \tau}. \quad (11=3)$$

Результаты исследований. При условии $\tau \rightarrow 0$, т.е. в начальный момент обработки, зависимость (3) принимает вид: $K_{ш} = K_{рез} = \operatorname{ctg}(\psi + \gamma)$.

Как следует из рис. 2, с увеличением угла $(\psi + \gamma) \rightarrow 90^\circ$ коэффициент $K_{ш} \rightarrow 0$. С увеличением времени обработки τ вторые слагаемые в числителе и знаменателе зависимости (3) будут увеличиваться и станут больше первых слагаемых слагаемые в числителе и знаменателе зависимости (3). В этом случае зависимость (3) примет вид: $K_{ш} = f_1 = \operatorname{tg} \psi_1 = \operatorname{ctg}(90^\circ - \psi_1)$, где ψ_1 – условный угол трения связки круга с обрабатываемым материалом.

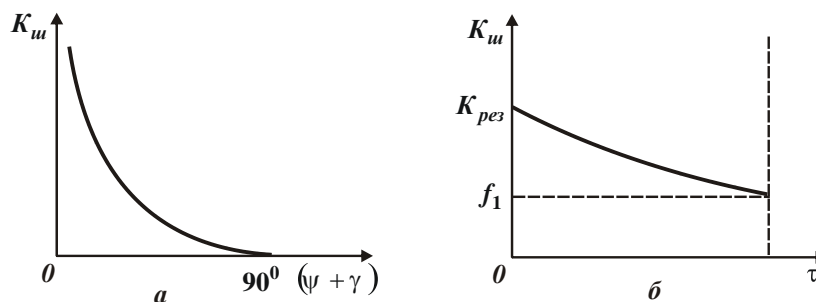


Рис. 2 – Зависимости $K_{ш}$: а – от угла $(\psi + \gamma)$ и б – времени обработки τ

Сравнивая приведенные зависимости, видно, что в начальный момент обработки при небольшом угле γ угол $(90^\circ - \psi_1)$ будет больше угла $(\psi + \gamma)$ и поэтому, согласно рис. 2,а, будет выполняться условие $\operatorname{ctg}(90^\circ - \psi_1) < \operatorname{ctg}(\psi + \gamma)$. Следовательно, $\operatorname{ctg}(\psi + \gamma) > f_1$ и характер изменения коэффициента $K_{ш}$ с течением времени τ будет подчиняться зависимости, показанной на рис. 2,б.

Очевидно, при значении $K_{\text{ш}} = f_1$ процесс резания будет фактически отсутствовать, имеет место лишь трение связки круга с обрабатываемым материалом, что приводит к увеличению упругого перемещения y с течением времени обработки τ . Из этого условия можно определить угол $(\psi + \gamma)$, при котором процесс резания переходит в процесс трения связки круга с обрабатываемым материалом: $\text{ctg}(90^\circ - \psi_1) = \text{ctg}(\psi + \gamma)$ или $90^\circ - \psi_1 = \psi + \gamma$.

Предельное (максимальное) значение условного (отрицательного) переднего угла режущего зерна γ , при котором происходит переход от процесса резания к процессу трения связки круга с обрабатываемым материалом, равен $\gamma = 90^\circ - \psi_1 - \psi$. Как видно, угол γ тем меньше, чем больше углы ψ_1 и ψ . Например, при $\psi_1 = 20^\circ$ ($\text{tg} \psi_1 = f_1 = 0,36$) и $\psi = 10^\circ$ ($\text{tg} \psi = f = 0,18$) предельное отрицательное значение угла $\gamma = 60^\circ$, т.е. при больших значениях угла $\gamma > 60^\circ$ процесс шлифования практически неосуществим в связи со значительным упругим перемещением, возникающим в технологической системе, и соответственно значительной силой резания, которая будет непрерывно увеличиваться с течением времени обработки τ .

Анализируя зависимость (3), можно сделать вывод, что основным путем увеличения коэффициента $K_{\text{ш}}$ и повышения производительности и качества обработки при шлифовании является выполнение условия $V_{\text{дет}0} = V_{\text{дет}}$. В этом случае коэффициент $K_{\text{ш}}$ будет принимать наибольшее значение, и процесс шлифования будет протекать с наибольшей эффективностью. Дополнительным условием увеличения $K_{\text{ш}}$ следует рассматривать уменьшение угла $(\psi + \gamma)$ за счет обеспечения высокой режущей способности шлифовального круга.

Выводы. В работе получены аналитические зависимости для определения тангенциальной и радиальной составляющих силы резания на основе раздельного учета энергий “чистого” резания и трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования. Теоретически установлено, что с течением времени обработки в связи с интенсивным трением в зоне резания и увеличением упругих перемещений в технологической системе сила резания увеличивается. Проведен теоретический анализ отношения тангенциальной и радиальной составляющих силы резания и показана возможность его увеличения с целью повышения эффективности шлифования путем поддержания в процессе высокой режущей способности круга.

Список литературы: 1. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с. 2. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 3. Лурье Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 197 с. 4. Якимов О.В. Високопродуктивне шліфування: навчальний

посібник / О.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков та ін. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с. 5. Новиков Ф.В. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей : монографія / Ф.В. Новиков, І.О. Рябенков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с.

Bibliography (transliterated): 1. Maslov E.N. Teoriya shlifovaniya metallov / E.N. Maslov. – Moscow: Mashinostroenie, 1974. – 319 p. 2. Yakimov A.B. Optimizatsiya protsessa shlifovaniya / A.V. Yakimov. – Moscow: Mashinostroenie, 1975. – 175 p. 3. Lure G.B. Shlifovanie metallov / G.B. Lure. – Moscow: Mashinostroenie, 1969. – 197 p. 4. Yakimov O.V. Vysokoproduktyvne shlifuvannya: navchalnyi posibnyk / O.V. Yakimov, F.V. Novikov, G.V. Novikov ta in. – Kharkiv: ISDO, 1995. – 180 p. 5. Novikov F.V. Teoretychni osnovy mekhanichnoi obrobky vysokotochnykh detalei: monografiya / F.V. Novikov, I.O. Ryabenkov. – Kharkiv: Vyd. KNEU – 2013. – 352 p.

Поступила (received) 23.10.2014р.

УДК 621.777.4

С. Ф. САБОЛ, канд. техн. наук, доц., НТУУ «ХПІ», Київ

ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШТАМПУ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ ЗІ СТУПІНЧАСТОЮ ПОРОЖНИНОЮ З РОЗТЯГНЕННЯМ СТІНКИ ЗАГОТОВКИ

Приведено схему конструкції штамп для холодного видавлювання порожнистих вісесиметричних виробів зі ступінчастою порожниною з розтягненням стінки заготовки. На основі використання закону збереження об'єму, здійснено розрахунки конструктивних розмірів штамп: розміри верхньої та нижньої порожнини контейнера, розміри регульовального кільця, використання якого дає змогу змінювати швидкість переміщення контейнера у відповідності до зміни швидкості металу стінки заготовки, в процесі деформування, що забезпечує постійне зщеплення каналу контейнера з буртом стінки заготовки що видавлюється.

Ключові слова: холодне видавлювання, вісесиметричні вироби, ступінчаста циліндрична порожнина, розтягнення, штамп для видавлювання.

Вступ. Використання високопродуктивних процесів холодного видавлювання порожнин дозволяє суттєво зменшити витрати металів при забезпеченні точності, високих механічних властивостей та експлуатаційних характеристик виробів. Але високі питомі зусилля, які виникають при реалізації вказаних процесів, обмежують використання холодного видавлювання, зумовлюючи низьку стійкість інструменту. Одним із шляхів зменшення зусилля холодного видавлювання є зміна схеми напруженого стану процесу: з схеми всебічного нерівномірного стиску – на стискувально-розтягувальну, що забезпечують процеси видавлювання з роздачею та з розтягненням стінки заготовки.

Холодне видавлювання з розтягненням стінки заготовки дозволяє, в порівнянні з іншими способами формоутворення порожнистих виробів, досягати найбільшого зниження питомих зусиль на деформуючому