

Ф.В. Новиков, д-р техн. наук, С.А. Дитиненко, канд. техн. наук,
И.А. Рябенков, Харьков, Украина

УСЛОВИЯ СНИЖЕНИЯ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В работе определены основные условия уменьшения силовой напряженности процессов резания лезвийными и абразивными инструментами

Задачи повышения качества, точности и производительности обработки на финишных операциях требуют изыскания новых методов снижения силовой напряженности процессов резания и шлифования материалов. В данном направлении достигнуты значительные успехи и в первую очередь благодаря применению прогрессивных процессов резания и шлифования инструментами из синтетических сверхтвердых материалов, позволяющими снизить интенсивность трения в зоне резания и повысить износостойкость рабочих поверхностей [1, 2, 3]. Вместе с тем, для эффективного применения указанных процессов важно знать их технологические возможности в плане снижения силовой и тепловой напряженностей обработки. Поэтому целью настоящей работы является теоретический анализ основных параметров силовой напряженности процесса резания и определение условий их снижения.

В наших работах [2, 3] предложены аналитические зависимости для определения основных параметров силовой напряженности процессов механической обработки – коэффициента резания $K_{рез} = P_z / P_y$ и условного напряжения резания $\sigma = P_z / S_{срез}$:

$$K_{рез} = ctg(\psi - \gamma) = tg 2\beta, \quad (1)$$

$$\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв} \cdot tg \left(45^\circ + \frac{\psi - \gamma}{2} \right) = 2 \cdot \tau_{сдв} \cdot ctg \beta \quad (2)$$

где P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; $S_{срез}$ – площадь поперечного сечения среза, м²; γ – передний угол инструмента, град; ψ – условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента ($tg \psi = f$ – коэффициент трения); β – условный угол сдвига материала; $\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг материала, Н/м².

Характер изменения коэффициента резания $K_{рез}$ от угла $\psi - \gamma$ показан на рис. 1. Поскольку $K_{рез} > 0$, то угол $\psi - \gamma$ может изменяться в пределах от 90° до 0 . При $\psi - \gamma = 90^\circ$ имеем $K_{рез} = 0$, а при $\psi - \gamma = 0^\circ$ имеем $K_{рез} \rightarrow \infty$. Следовательно, увеличить $K_{рез}$ можно уменьшением угла $\psi - \gamma$ от 90° до 0 .

На рис. 2,а приведены рассчитанные по зависимости (1) значения угла $\psi - \gamma$ для разных значений $K_{рез}$. С увеличением $K_{рез}$ угол $\psi - \gamma$ уменьшается. По определению угол $\psi - \gamma$ является углом действия и обозначается через ω , т.е. $\omega = \psi - \gamma$. Поэтому, используя рис. 2,а, определим передний угол инструмента $\gamma = \psi - \omega$ для разных значений $K_{рез}$, рис. 2,б. Как видно, угол γ принимает как отрицательные, так и положительные значения. При $K_{рез} < 1$ угол $\gamma < 0$ для всего возможного диапазона изменения $\psi = 0 \dots 45^\circ$ (или $f = 0 \dots 1$). При $K_{рез} > 1$ угол γ может быть как отрицательным, так и положительным. В области малых значений $\psi \leq 10^\circ$ (или $f \leq 0,176$) угол $\gamma < 0$, а при больших значениях коэффициента трения $\gamma > 0$. Следовательно, выполнение условия $K_{рез} < 1$ обусловлено отрицательным передним углом инструмента γ . При переходе от отрицательного к положительному переднему углу инструмента γ и с увеличением f коэффициент резания $K_{рез}$ увеличивается и равен $K_{рез} > 1$.

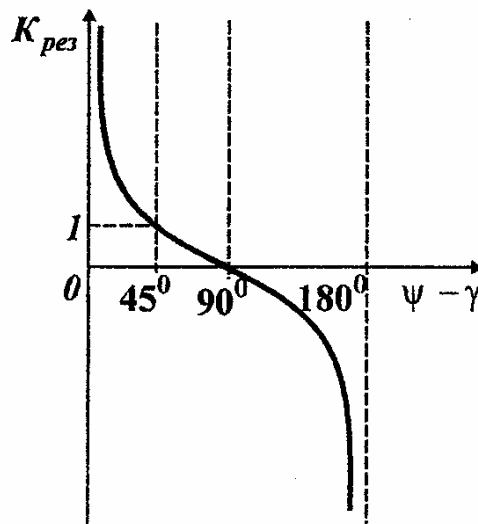


Рис. 1 – Зависимость коэффициента резания $K_{рез}$ от угла $\psi - \gamma$.

Реализуя весьма малые значения коэффициента трения f , можно обеспечить увеличение коэффициента резания $K_{рез}$ при обработке инструментом с отрицательным передним углом γ . Это соответствует

условиям резания (шлифования) абразивными или алмазными зернами круга, имеющими отрицательные передние углы. Таким образом, теоретически показано, что основным условием увеличения коэффициента резания $K_{рез}$ является уменьшение коэффициента трения f . В этом случае процесс резания может быть осуществлен инструментами как с положительными, так и с отрицательными передними углами, подтверждением чему являются процессы абразивной обработки. Вместе с тем, исходя из рис. 2,б, коэффициент резания $K_{рез}=1$ достигается при относительно небольших отрицательных передних углах $\gamma < -35^\circ$. Обеспечить такие углы у режущих зерен можно, как установлено на практике, в начальный период обработки. По мере износа зерен их отрицательные передние углы увеличиваются вплоть до значений $\gamma \rightarrow -90^\circ$, что естественно ведет к уменьшению коэффициента резания $K_{рез} \rightarrow 0$. Этим показано, что при шлифовании, а также при других видах абразивной обработки трудно реализовать значения коэффициента резания $K_{рез}=1$. Вследствие износа и затупления зерен, как правило, коэффициент резания $K_{рез} \ll 1$, что является основной причиной существенного увеличения условного напряжения резания σ и соответственно температуры резания [4, 5].

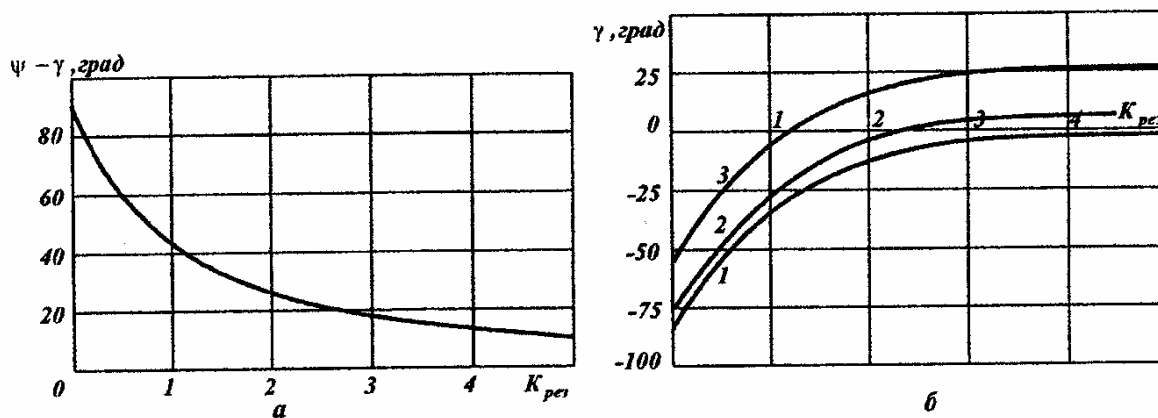


Рис. 2 – Зависимость угла $\psi - \gamma$ (а) и переднего угла инструмента γ (б) от коэффициента резания $K_{рез}$: 1 – $\psi = 10^\circ$ ($f = 0,176$); 2 – $\psi = 20^\circ$ ($f = 0,364$); 3 – $\psi = 40^\circ$ ($f = 0,839$).

В связи с этим, важнейшим условием увеличения коэффициента резания $K_{рез}$ при шлифовании необходимо рассматривать применение алмазно-абразивных инструментов, поскольку алмаз обладает наименьшим коэффициентом трения из всех абразивных материалов ($f = 0,07$; $\psi = 4^\circ$). В этом случае потенциально можно достичь значения $K_{рез}=1$ в широких

пределах изменения отрицательного переднего угла режущего алмазного зерна, т.е. при резании как острым, так и затупленным ($\gamma \rightarrow -90^\circ$) зерном.

Таким образом, зависимость (1) справедлива для процессов абразивной и лезвийной обработки. Основным параметром в ней следует рассматривать условный угол трения ψ обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента. Чем он больше, тем меньше $K_{рез}$ и соответственно ниже эффективность обработки. Очевидно, для снижения отрицательной роли параметра ψ , положительный передний угол инструмента γ необходимо увеличивать до значения ψ . Тогда будет выполняться условие $K_{рез} \rightarrow \infty$, что позволит в максимальной степени реализовать технологические возможности процесса резания. Необходимо отметить, что это основной путь увеличения коэффициента резания и улучшения условий стружкообразования при резании. На данной основе построены процессы резания лезвийными инструментами. Однако с увеличением положительного переднего угла инструмента γ , как известно, снижается прочность режущего клина инструмента, а это отрицательно сказывается на его стойкости и работоспособности. Чтобы повысить прочность режущего клина инструмента целесообразно создавать на нем отрицательный передний угол. Тогда зависимость (1) примет вид:

$$K_{рез} = ctg(\psi + \gamma) . \quad (3)$$

Чем больше отрицательный передний угол инструмента γ , тем меньше $K_{рез}$ и соответственно ниже эффективность процесса резания. Увеличить $K_{рез}$, исходя из зависимости (3), можно лишь за счет уменьшения условного угла трения ψ обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента, применяя, например, алмазно-абразивную обработку. В данном случае уменьшение ψ происходит, с одной стороны, за счет снижения коэффициента трения алмазных (или абразивных) зерен с обрабатываемым материалом. С другой стороны, за счет значительного увеличения скорости резания по сравнению с лезвийной обработкой, а это, как известно, приводит к уменьшению коэффициента трения. В данном направлении эффективно применение высокоскоростного шлифования. Следует отметить, что существенно уменьшить ψ без увеличения положительного переднего угла инструмента γ при резании лезвийным инструментом, согласно зависимости (1), можно также и в условиях высокоскоростной обработки. Однако для этого необходимо обеспечить высокую износостойкость инструмента при резании в условиях повышенных температур, что достигается, например, за счет нанесения на рабочие поверхности инструмента износостойкого покрытия.

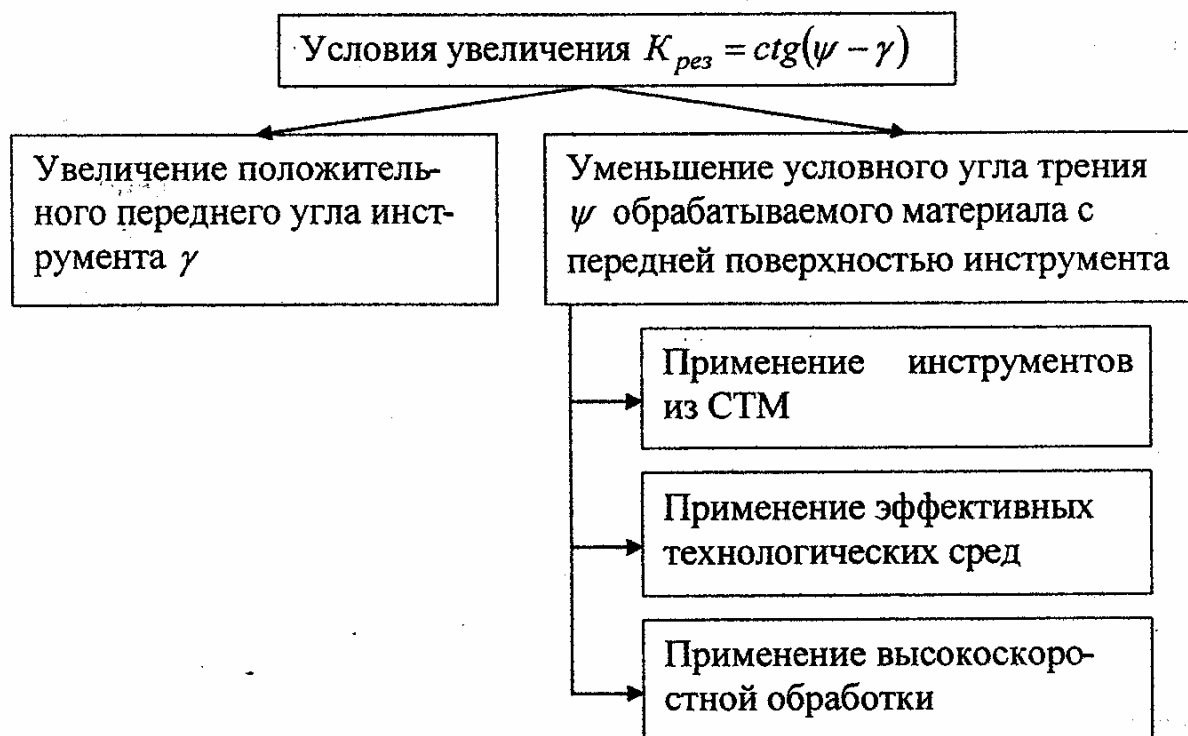


Рис. 3 – Структурная схема условий повышения коэффициента резания $K_{рез}$

Таким образом показано, что нивелировать отрицательную роль трения обрабатываемого и инструментального материалов можно двумя путями: увеличением положительного переднего угла инструмента γ и уменьшением коэффициента трения обрабатываемого и инструментального материалов. Во втором случае целесообразно использовать в качестве инструментальных материалов синтетические сверхтвердые материалы (СТМ – синтетический алмаз, эльбор, кубический нитрид бора и т.д.), применять эффективные технологические среды и обработку лезвийными и абразивными инструментами вести с повышенными скоростями резания (применяя высокоскоростную обработку), рис. 3.

Проведем анализ условного напряжения резания σ по зависимости (2).

График функции $tg\left(45^\circ + \frac{\psi - \gamma}{2}\right)$ показан на рис. 4,а. Для наглядности решения на этом же рисунке показан график зависимости (1), увязывающий коэффициент резания $K_{рез}$ с углом $\psi - \gamma$. Как установлено выше, угол $\psi - \gamma$ изменяется в пределах $0 \dots 90^\circ$, т.к. $K_{рез} > 0$. Поэтому функция $tg\left(45^\circ + \frac{\psi - \gamma}{2}\right)$ будет изменяться в пределах $1 \dots \infty$. При $\psi - \gamma = 0$ она равна единице. Тогда σ согласно зависимости (2) будет принимать наименьшее значение

$\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв}$, а коэффициент резания $K_{рез} \rightarrow \infty$. При $\psi - \gamma = 90^\circ$, наоборот, условное напряжение резания $\sigma \rightarrow \infty$, а коэффициент резания $K_{рез} = 0$. Необходимо отметить, что представленная графическая интерпретация теоретического решения хорошо согласуется с вышеприведенным анализом изменения коэффициента резания $K_{рез}$ в зависимости от углов ψ и γ .

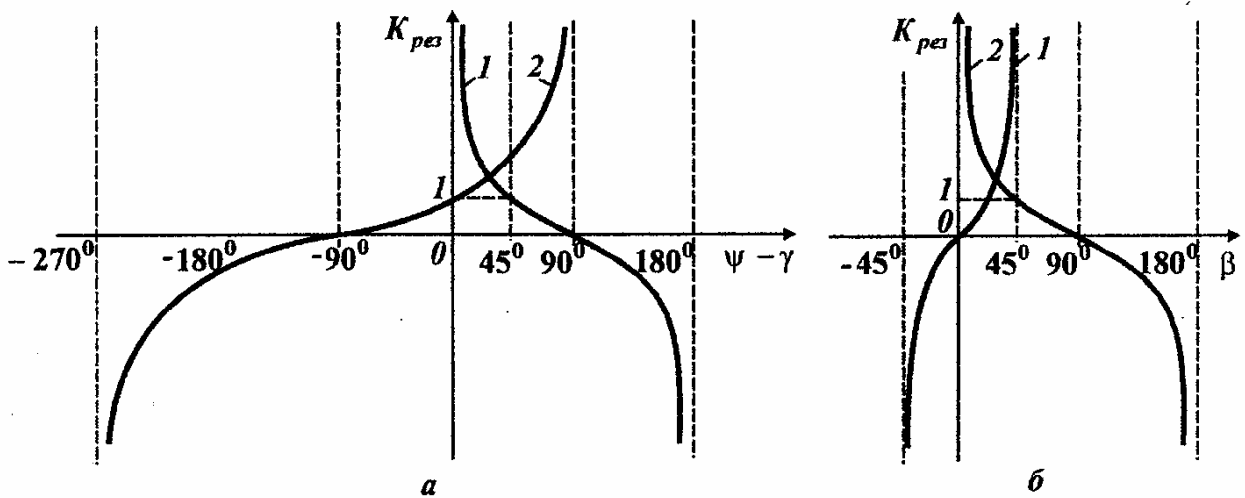


Рис. 4 – Зависимости коэффициента резания $K_{рез}$ (1) и функций: а –

$$tg\left(45^\circ + \frac{\psi - \gamma}{2}\right) (2) \text{ от угла } \psi - \gamma; \text{ б – } ctg \beta (2) \text{ от угла } \beta.$$

Как следует из зависимости (2), условное напряжение резания σ может быть определено как через угол $\psi - \gamma$, так и через условный угол сдвига материала β . Поэтому на рис. 4,б графически показаны зависимости $K_{рез}$ и функции $ctg \beta$ от угла β . Как видно, параметры $K_{рез}$ и σ могут изменяться в диапазоне $\beta = 0 \dots 45^\circ$. При $\beta = 0$ коэффициент резания $K_{рез} = 0$, а условное напряжение резания $\sigma \rightarrow \infty$. При $\beta = 45^\circ$ коэффициент резания $K_{рез} \rightarrow \infty$, а σ принимает наименьшее значение $\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв}$. Таким образом, случай $\beta = 45^\circ$ является наилучшим с точки зрения обеспечения процесса стружкообразования при резании. При $\beta \leq 0$ процесс резания неосуществим, возможен лишь процесс упруго-пластического деформирования материала, т.е. для осуществления процесса резания необходимо выполнить условие $\beta > 0$.

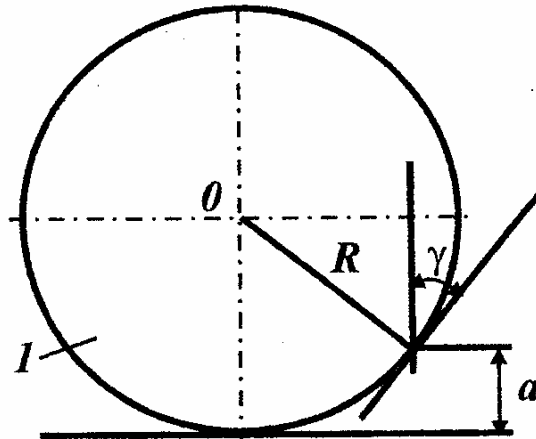


Рис. 5 – Расчетная схема переднего угла режущего зерна 1.

При микрорезании единичным зерном уменьшение отрицательного переднего угла γ связано с увеличением толщины среза a , рис. 5. Это вытекает из условия: $a + R \cdot \cos(90^\circ - \gamma) = R$ и зависимости: $a/R = 1 - \sin \gamma$, где R – радиус режущего зерна. Очевидно, чем больше a , тем меньше отрицательный передний угол γ режущего зерна и больше $K_{рез}$, определяемый зависимостью (3), что хорошо согласуется с экспериментальными данными [2]. С увеличением a коэффициент резания $K_{рез}$ непрерывно увеличивается, принимая значения меньше единицы. Это свидетельствует о том, что угол $\psi + \gamma$ изменяется в диапазоне $45^\circ \dots 90^\circ$, поскольку в данном диапазоне функция $\text{tg}(\psi + \gamma) > 1$. Следовательно, увеличение толщины среза a является важным фактором увеличения коэффициента резания $K_{рез}$ и соответственно уменьшения условного напряжения резания σ . Эффект достигается за счет уменьшения отрицательного переднего угла γ режущего зерна.

Список литературы: 1. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 3. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 4. Новиков Ф.В., Рябенков И.А., Кленов О.С. Глубинное алмазное шлифование быстрорежущей стали // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Х.: ХНПК "ФЭД", 2007. – С. 232-236. 5. Новиков Ф.В., Рябенков И.А. Теоретический анализ условий повышения качества обработки по температурному критерию // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ. – 2007. – Вип. 61. – С. 164-171.

Поступила в редколлегию 01.02.2008