

Ф.В. НОВИКОВ (д-р техн. наук, проф.)
А.А. АНДИЛАХАЙ (канд. техн. наук, доц.)
ХНЭУ, г. Харьков, Украина

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Введение

Эффективной областью применения струйно-абразивной обработки [1] и в частности абразивной обработки деталей затопленными струями является очистка их от окалины и доводка деталей, в том числе и сложной формы. Использование данного метода позволяет автоматизировать обработку (которая традиционно выполняется вручную) и существенно снизить ее трудоемкость. С точки зрения расширения технологических возможностей данного метода обработки представляется важным и актуальным определение условий снижения энергоемкости съема металла в результате взаимодействия с ним абразивных зерен [2]. Это связано с тем, что абразивное зерно, контактируя с металлом, не всегда обеспечивает формирование полного среза. Как правило, на обрабатываемой поверхности образуется лунка с вытесненным впереди и по бокам металлом, т.е. с не удаленным, а лишь пластически сдеформированным металлом в виде застывшей стружки. Очевидно, это обусловлено недостаточной кинетической энергией движущегося зерна, в результате чего оно застревает в металле и останавливается. В противном случае (при достаточной кинетической энергии зерна) обрабатываемый металл в форме стружки уносился бы зерном. Причиной такого явления следует рассматривать относительно низкую скорость движения зерна. Исходя из этого, повысить эффективность данного метода обработки можно за счет увеличения скорости абразивного зерна или снижения энергоемкости съема металла.

В данной работе рассматривается второй случай, связанный с уменьшением энергоемкости обработки. Процесс взаимодействия абразивного зерна с металлом – это процесс взаимодействия твердого и относительно мягкого материалов, в результате чего твердый материал (зерно) удаляет с обрабатываемой поверхности более мягкий материал (металл). Как известно [3], при обработке пластичных металлов образуется сливная стружка. В теории резания детально изучен процесс стружкообразования и предложены теоретические подходы к расчету его параметров. Это позволяет провести анализ закономерностей стружкообразования и оценить уровень энергоемкости процесса абразивной обработки деталей затопленными струями, характеризующегося различными углами входа режущих зерен в обрабатываемый металл. В результате появляется возможность установления такого угла входа режущего зерна в обрабатываемый металл, при котором энергоемкость принимает наименьшее значение, и возможности процесса абразивной обработки деталей затопленными струями реализуются в максимальной степени. Цель работы – определение условий уменьшения энергоемкости процесса абразивной обработки деталей затопленными струями.

Основное содержание работы

Основные физические и технологические закономерности абразивной обработки деталей затопленными струями описаны в работах [4,5]. В работе [6], на основе анализа условий стружкообразования, теоретически определено условное напряжение резания

σ (соответствующее энергоёмкости обработки) применительно к процессу резания зерном с переменной толщиной среза (рис. 1):

$$\sigma = \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{[1 - \sin(\alpha + \psi_1)]}, \quad (1)$$

где $\psi_1 = \psi + \gamma$; ψ – условный угол трения абразивного зерна с обрабатываемым материалом; γ – отрицательный передний угол режущего абразивного зерна; α – угол входа абразивного зерна в обрабатываемый материал; $\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м².

На рис. 1 показаны: V_0 – скорость абразивного зерна; P_z и P_y – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания; β – условный угол сдвига материала. Линия OB – дуга контакта режущего зерна с обрабатываемым материалом, а OA – определяет положение условной плоскости сдвига материала. При условии $\alpha = 0$ зависимость (1) принимает вид

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\psi_1}{2}\right)}. \quad (2)$$

Из зависимости (2) вытекает, что при условии $\psi_1 \rightarrow 90^\circ$ условное напряжение резания σ неограниченно увеличивается. Следовательно, уменьшить σ можно уменьшением угла ψ_1 , т.е. уменьшением углов ψ и γ .

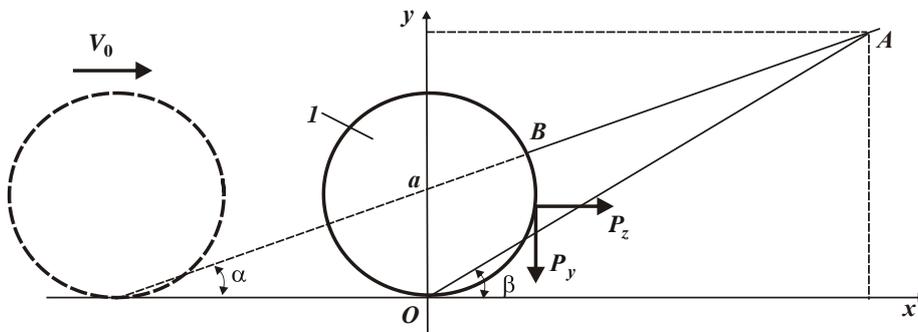


Рис. 1. Расчетная схема процесса стружкообразования при резании с увеличивающейся толщиной среза единичным абразивным зерном 1.

Из зависимости (1) следует, что существует экстремальная связь условного напряжения резания σ с углами ψ_1 и α . Для наглядности на рис. 2 пунктирной линией показан график функции $\sin(\alpha + \psi_1)$, а сплошной линией – график функции $1 - \sin(\alpha + \psi_1)$. Для удобства анализа представим зависимость (1) в виде

$$\sigma = \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\tau_{сдв}}{\sin^2\left[45^\circ - \frac{(\alpha + \psi_1)}{2}\right]}. \quad (3)$$

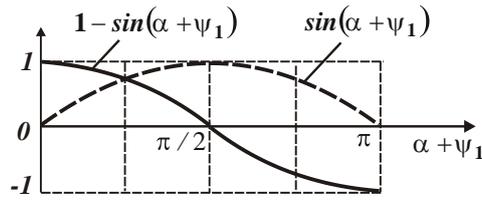


Рис. 2. Графики функций $\sin(\alpha + \psi_1)$ и $1 - \sin(\alpha + \psi_1)$.

Характер изменения функции $\sin^2\left[45^\circ - \frac{(\alpha + \psi_1)}{2}\right]$, входящей в знаменатель зависимости (3), графически (сплошной линией) показан на рис. 3,а. Здесь же для сравнения (пунктирной линией) приведен график функции $\sin\left[45^\circ - \frac{(\alpha + \psi_1)}{2}\right]$. Как видно, данные функции существенно отличаются.

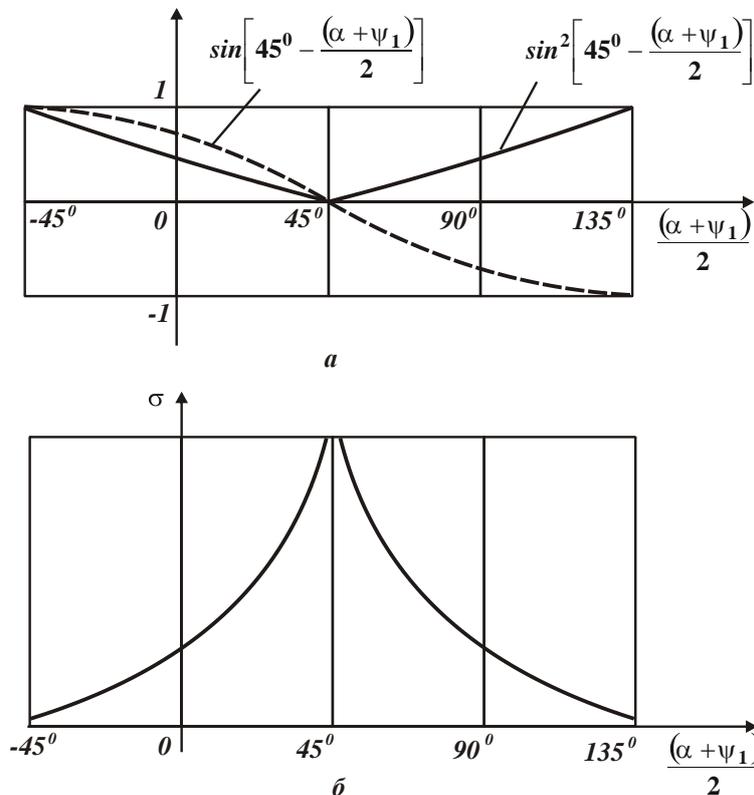


Рис. 3. Графики функций $\sin\left[45^\circ - \frac{(\alpha + \psi_1)}{2}\right]$ и $\sin^2\left[45^\circ - \frac{(\alpha + \psi_1)}{2}\right]$ (а) и условного напряжения резания σ (б).

Характер изменения условного напряжения резания σ графически показан на рис. 3,б. При значении угла $\frac{(\alpha + \psi_1)}{2} = 45^\circ$ условное напряжение резания σ – бесконечно большая величина. Уменьшить σ можно при условии уменьшения угла

$\frac{(\alpha + \psi_1)}{2}$ в диапазоне $0 < \frac{(\alpha + \psi_1)}{2} < 45^\circ$ или его увеличения в диапазоне $45^\circ < \frac{(\alpha + \psi_1)}{2} < 135^\circ$.

При условии $\frac{(\alpha + \psi_1)}{2} \rightarrow 135^\circ$ условное напряжение резания σ принимает наименьшее значение. Это возможно при значении угла $\alpha \rightarrow 90^\circ$. Однако в данном случае фактически будет отсутствовать сьем металла, т.е. угол α должен быть меньше, например, находится на уровне 45° . Или же угол α должен быть весьма малым $\alpha \rightarrow 0^\circ$. Тогда возможна реализация условия $0 < \frac{(\alpha + \psi_1)}{2} < 45^\circ$ (левой ветви зависимости, рис. 3,б). Однако для этого необходимо уменьшить угол ψ_1 , который вследствие большого переднего отрицательного угла (зерна) γ принимает значения, близкие к 90° .

Таким образом установлено, что реализуя условие $\alpha = 0$, можно добиться наименьшего значения условного напряжения резания σ , т.е. эффективно обработку вести с постоянной толщиной среза. Очевидно, реализовать данное условие можно при лезвийной обработке. При абразивной обработке, включая процессы обработки связанным абразивом (шлифование, хонингование и др.) и свободным абразивом (притирка, струйно-абразивная обработка и др.), толщина среза всегда переменна. Поэтому условное напряжение резания σ будет всегда больше, чем при лезвийной обработке.

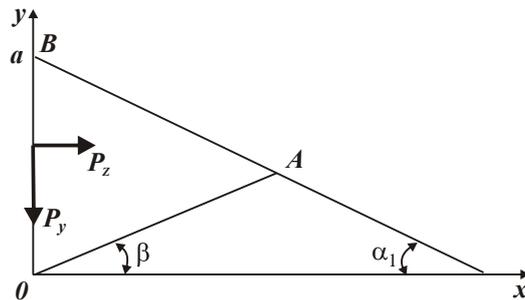


Рис. 4. Расчетная схема процесса стружкообразования при резании зерном с уменьшающейся толщиной среза.

Приведенное выше решение (3) описывает условное напряжение резания σ , возникающее при резании с увеличивающейся толщиной среза (например, при входе абразивного зерна в обрабатываемый материал). Оценим σ при резании с уменьшающейся толщиной среза (при выходе абразивного зерна из обрабатываемого материала, рис. 4). На рис. 4, как и на рис. 1, линия OB – дуга контакта режущего зерна с обрабатываемым материалом, а OA – определяет положение условной плоскости сдвига материала. В работе [6] приведена расчетная зависимость условного напряжения резания σ для данного случая:

$$\sigma = \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{[1 + \sin(\alpha_1 + \psi_1)]}, \quad (4)$$

где α_1 – угол выхода абразивного зерна из обрабатываемого материала.

Как видно, зависимости (1) и (4) отличаются лишь знаком в знаменателе, рассматривая угол $\alpha = \alpha_1$. Представим зависимость (4) в виде

$$\sigma = \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \frac{\tau_{сдв}}{\cos^2 \left[45^\circ - \frac{(\alpha_1 + \psi_1)}{2} \right]}. \quad (5)$$

На рис. 5,а сплошной линией показан график функции $\cos^2 \left[45^\circ - \frac{(\alpha_1 + \psi_1)}{2} \right]$, входящей в знаменатель зависимости (5), а пунктирной линией – график функции $\cos \left[45^\circ - \frac{(\alpha_1 + \psi_1)}{2} \right]$. Поскольку тригонометрическая функция \cos – четная функция, то приведенные графики отличаются незначительно.

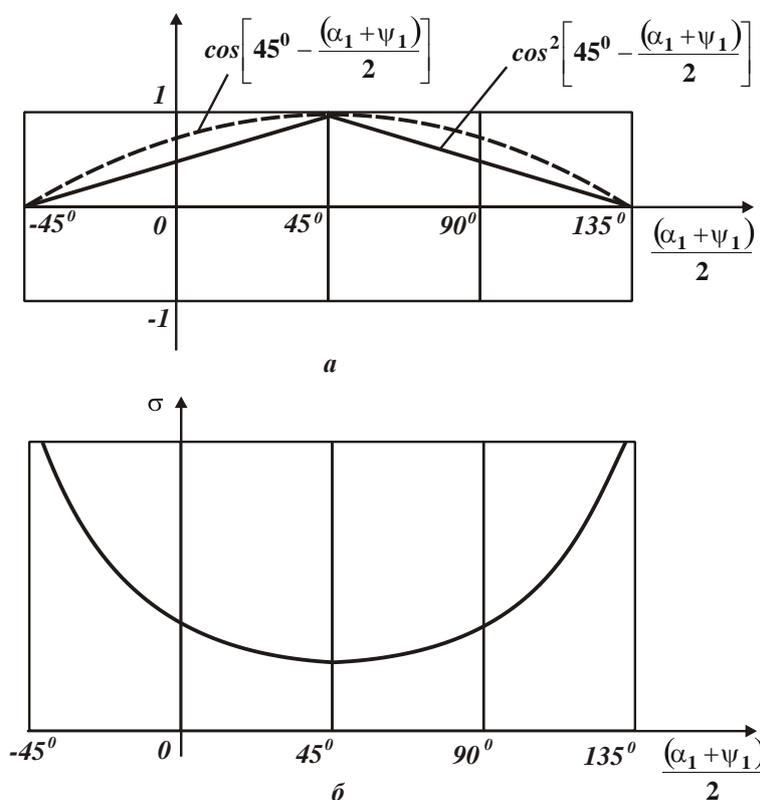


Рис. 5. Графики функций $\cos \left[45^\circ - \frac{(\alpha + \psi_1)}{2} \right]$ и $\cos^2 \left[45^\circ - \frac{(\alpha + \psi_1)}{2} \right]$ (а) и σ (б).

Условное напряжение резания σ , описываемое (5), изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума при значении угла $\frac{(\alpha_1 + \psi_1)}{2} = 45^\circ$ (рис. 5,б). Данный график принципиально отличается от аналогичного графика, показанного на рис. 3,б. Следовательно, при выходе зерна из контакта с материалом (при резании с уменьшающейся толщиной среза) σ меньше, чем при входе зерна в обрабатываемый материал (при резании с увеличивающейся толщиной среза). При

этом угол α_1 может изменяться в широких пределах: $0 < \alpha_1 < 90^\circ$. Поэтому повысить эффективность абразивной обработки деталей затопленными струями можно, обеспечивая резание с уменьшающейся толщиной среза в соответствии с решениями, вытекающими из зависимости (3). Это типично для обработки кромок заготовок, устранения заусенцев и уменьшения микронеровностей на обрабатываемых поверхностях.

Выводы

В работе проведен теоретический анализ условного напряжения резания при абразивной обработке и показано, что основным путем его снижения является реализация микросрезов с уменьшающейся толщиной среза. Установлено, что при резании с увеличивающейся толщиной среза условное напряжение резания значительно больше. Поэтому основной эффект метода абразивной обработки деталей затопленными струями состоит в обработке кромок заготовок, устранении заусенцев и уменьшении микронеровностей на обрабатываемых поверхностях.

Список литературы

1. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989. – 277 с.
2. Кленов О.С. Технологическое обеспечение бездефектной обработки деталей гидроаппаратуры на финишных операциях: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / О.С. Кленов. – Одесса, 2011. – 21 с.
3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
4. Андилахай А.А. Струйно-абразивная гидроротационная обработка мелких деталей: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы и машины обработки материалов резанием; автоматические линии” / А.А. Андилахай. – Тула, 1983. – 22 с.
5. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с.
6. Новиков Ф.В. Теоретический анализ параметров силовой напряженности струйно-абразивной обработки / Ф.В. Новиков, А.А. Андилахай // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Випуск 7 (166). – С. 46-53.

Надійшла до редакції 17.02.2012