

С. А. Дитиненко, Ю. Г. Гуцаленко, Ф. В. Новиков, докт. техн. наук
Харьков, Украина

УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧИСТОТЫ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ АЛМАЗНЫМИ КРУГАМИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ

Для обработки сложных деталей и агрегатов авиационного назначения используется гамма специальных режущих инструментов, рабочая часть которых выполнена из твердого сплава и быстрорежущей стали. Существуют значительные трудности изготовления данных инструментов. Во-первых, это связано с необходимостью съема достаточно больших припусков (до 10 мм), так как инструменты, как правило, сложно-профильные и требуют при обработке съема неравномерных больших припусков. Во-вторых, стоит задача обеспечения высоких показателей точности и качества обработки на операциях шлифования, которые являются окончательными операциями, где требуется достичь, например, шероховатость обработки на уровне $R_a = 0,2$ мкм и ниже. Естественно, это является трудноразрешимой задачей и требует изыскания эффективных путей решения.

Одним из важных решений задачи следует рассматривать применение алмазного шлифования, в особенности шлифования алмазными кругами на металлических связках с их непрерывной электроэрозионной правкой, что позволяет существенно повысить производительность обработки при съеме больших припусков. Эффект достигается за счет обеспечения высокой режущей способности алмазного круга, создания на его рабочей поверхности “острого” режущего рельефа.

Вместе с тем, как показывает практика, шлифование таким кругом приводит к довольно большим значениям параметра шероховатости обработки $R_a = 1...2$ мкм. Это позволяет эффективно использовать весьма перспективный метод обработки лишь на операциях предварительного шлифования при съеме больших припусков.

В работе [1] показаны возможности применения алмазных кругов на металлических связках для решения задачи уменьшения параметра шероховатости обработки R_a . Для этого производится специальная подготовка к работе алмазного круга на металлической связке М1-01 путем шлифования алмазным кругом алмазного карандаша с продольной подачей. В результате происходит срезание вершин алмазных зерен круга (т.е. притупление режущих кромок), что позволяет в процессе шлифования таким кругом твердого сплава получить шероховатость обработки на уровне $R_a = 0,3$ мкм и ниже при одновременном обеспечении высокой производительности обработки.

Для выявления условий эффективного использования данного процесса шлифования, в настоящей работе дано теоретическое обоснование путей снижения параметра шероховатости обработки R_a за счет искусственного притупления режущих кромок алмазных зерен круга.

Цель работы – установление функциональных связей параметра шероховатости R_a с условиями шлифования.

Расчет параметра шероховатости обработки R_a произведем по методике, предложенной в работе [4]. Суть методики состоит в аналитическом описании приведенного

режущего профиля, образованного от наложения проекций режущих зерен на фиксированную плоскость обрабатываемой детали, расположенную перпендикулярно движению зерен круга. Для описания приведенного режущего профиля предложено использовать функцию – относительную полноту профиля круга – аналогичную классической функции относительной опорной длины микропрофиля обработанной поверхности, рис. 1.

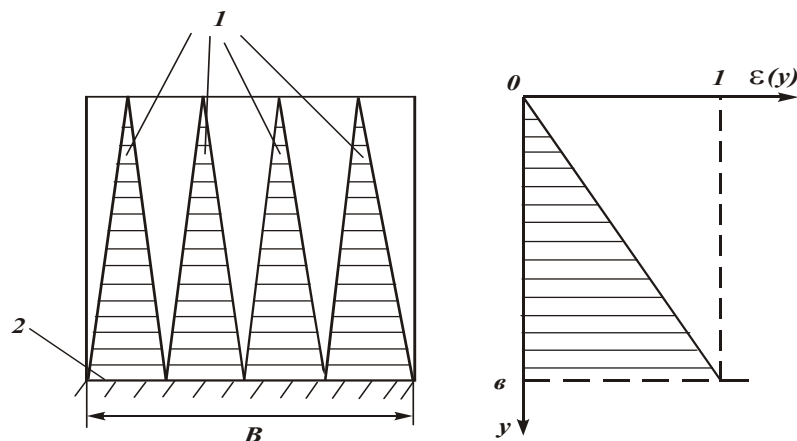


Рис. 1. Расчетная схема: 1 – зерна круга; 2 – связка круга.

Относительная полнота профиля круга $\varepsilon(y)$, без учета перекрытия проекций зерен, описывается зависимостью

$$\varepsilon(y) = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot y \cdot n}{B}, \quad (1)$$

где $n = k \cdot B \cdot l$ – число зерен, расположенных на площади рабочей части круга $B \cdot l$;

k – поверхностная концентрация зерен круга, шт/мм²;

B – ширина круга, м;

l – длина рабочей поверхности круга, участвующая в формировании параметра шероховатости R_a , м;

γ – половина угла при вершине конусообразного режущего зерна;

y – координата, вдоль которой определяется высота профиля круга (высота выступания зерен над уровнем связки круга), м.

Подчиняя зависимость (1) условию $\varepsilon(y = R_{\max}) = 1$, имеем

$$R_{maz} = \frac{1}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot l}. \quad (2)$$

Параметр шероховатости обработки $R_{\max} = 5 \cdot R_a$ тем меньше, чем больше k и l . Зернистость круга явно не входит в зависимость (2). Она явно влияет на параметр R_{\max} посредством изменения параметра k .

Таблица 1

Расчетные значения R_a в мкм

| l , мм | 10 | 20 | 50 | 100 |
|--------------------------|-----|-----|------|------|
| k , шт/мм ² | | | | |
| 50 | 0,2 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |

| | | | | |
|------|-------|-------|--------|--------|
| 500 | 0,02 | 0,01 | 0,004 | 0,002 |
| 5000 | 0,002 | 0,001 | 0,0004 | 0,0002 |

В табл. 1 приведены расчетные значения параметра R_a в зависимости от параметров k и l . Как видим, при $l = 10$ мм и $k = 50$ шт/мм² параметр R_a принимает значение 0,2 мкм, что соответствует практическим данным. Увеличение параметров k и l приводит к существенному уменьшению параметра R_a , чего добиться на практике весьма затруднено.

При плоском шлифовании торцом круга с одновысотным выступанием зерен $l = V_{кр} \cdot B / V_{дет}$, где $V_{кр}, V_{дет}$ – соответственно скорости круга и детали, м/с. Тогда

$$R_a = \frac{0,1 \cdot V_{дет}}{tg\gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр}}. \quad (3)$$

При плоском шлифовании периферией круга с одновысотным выступанием зерен $l = V_{кр} \cdot L / V_{дет} = V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot R_{max}} / V_{дет}$, где $R_{кр}$ – радиус круга, м. Тогда

$$R_a = 2,5 \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{V_{дет}}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}} \right)^2 \cdot \frac{1}{R_{кр}}}. \quad (4)$$

При шлифовании торцом круга параметры k , $V_{дет}$ и $V_{кр}$ в большей степени влияют на R_a , чем при шлифовании периферией круга. Параметр B входит в зависимость (3) в первой степени, тогда как параметр $R_{кр}$ входит в зависимость (4) в степени 0,33, т.е. за счет увеличения параметра B можно значительно уменьшить шероховатость обработки R_a .

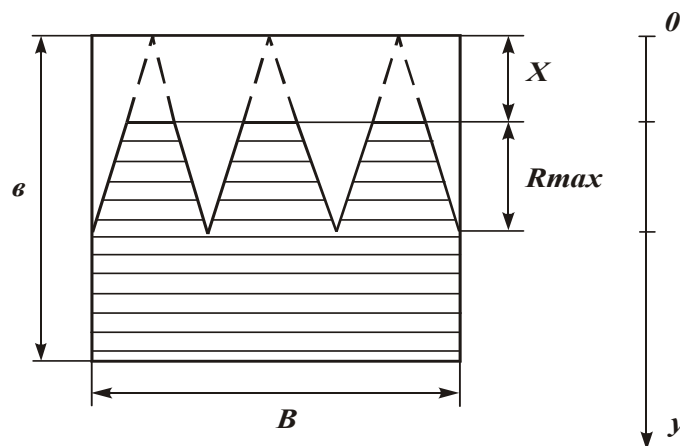


Рис. 2. Расчетная схема, учитывающая износ зерен круга.

С учетом износа зерен (рис. 2) параметр шероховатости обработки R_{max} определится из зависимости (1) при условии $\varepsilon(y = R_{max} + x) = 1$:

$$R_{max} = \frac{1}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot l} - x, \quad (5)$$

где x – величина линейного износа зерен, м.

При плоском шлифовании торцом круга для $l = V_{кр} \cdot B / V_{дет}$ параметр R_{max} равен

$$R_{max} = \frac{V_{дет}}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр}} - x. \quad (6)$$

При плоском шлифовании периферией круга для $l = V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot R_{max}} / V_{дет}$:

$$x = \frac{V_{дет}}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot R_{max}}} - R_{max}. \quad (7)$$

Согласно зависимостям (6) и (7), параметр R_{max} уменьшается с увеличением величины x . Причем при шлифовании торцом круга более интенсивно.

При выполнении условия $x \rightarrow \frac{V_{дет}}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр}}$ параметр шероховатости $R_{max} \rightarrow 0$, т.е. для каждого режима шлифования и каждой характеристики круга существует вполне конкретное значение x , при котором $R_{max} \rightarrow 0$. Для реализации данного условия необходимо затупить режущие зерна на величину

$$x = \frac{V_{дет}}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{кр}}.$$

Величина x тем больше, чем больше $V_{дет}$ и меньше k и $V_{кр}$.

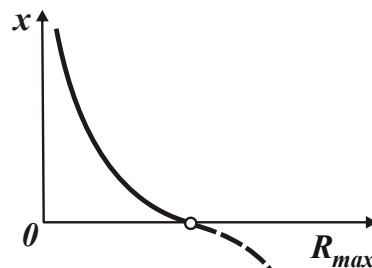


Рис. 3. Примерная зависимость величины x от параметра шероховатости обработки R_{max} .

Данное условие выполнимо при плоском шлифовании торцом круга. При плоском шлифовании периферией круга, исходя из зависимости (7), условие $R_{max} \rightarrow 0$ требует неограниченного роста первого слагаемого и величины x . Согласно рис. 3, с увеличением величины x от 0 до ∞ параметр шероховатости R_{max} уменьшается, асимптотически приближаясь к значению $R_{max} \rightarrow 0$. Для того чтобы уменьшить x , необходимо существенно увеличить множитель

$\frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр}}}{V_{дет}}$ за счет увеличения k ,

$V_{кр}$ и $R_{кр}$ и уменьшения $V_{дет}$. Так как увеличение параметров k , $V_{кр}$ и $R_{кр}$ ограничено, выполнить данное условие можно за счет уменьшения $V_{дет} \rightarrow 0$. Однако, практическая реализация условия $V_{дет} \rightarrow 0$ не выгодно, вследствие необходимости снижения при этом производительности обработки.

Таким образом, показана возможность уменьшения вплоть до нуля параметра шероховатости обработки R_a при плоском шлифовании торцом круга за счет регулирования величины износа зерен x .

Для оценки возможностей практического использования данного теоретического решения были проведены экспериментальные исследования процесса круглого наружного шлифования твердосплавных инструментов алмазным кругом формы 1А1 300х25 зернистостью АС6 125/100 на металлической связке М1–01, в ходе которых измерялся параметр шероховатости обработки R_a . После установки круга на станок, с помощью электроэрозионной правки произведено выведение биения круга и вскрытие алмазоносного слоя круга, а с помощью алмазного карандаша типа “Славутич”, установленного в специальное устройство для правки на круглошлифовальном станке, произведено притупление режущих кромок алмазного круга. Опытами установлено, что подготовленный таким образом к работе круг в процессе шлифования в начальный период обеспечивал шероховатость обработки $R_a = 0,2 \dots 0,3$ мкм.

Приблизительно через 30 минут работы круга параметр шероховатости увеличился до значения 0,4–0,5 мкм. Наблюдение за процессом показали, что это произошло вследствие выпадения из связки круга затупленных зерен и подключения в работу новых зерен с острыми кромками. Режущий рельеф стал более развитым, что привело в конечном итоге к уменьшению степени затупления зерен (уменьшению величины x) и, в соответствии с зависимостью (7), – к увеличению параметра шероховатости обработки.

Повторное притупление режущих кромок алмазного круга с помощью алмазного карандаша позволило опять же добиться после шлифования снижения параметра шероховатости обработки R_a до значений 0,2–0,3 мкм.

Опытами установлено также, что с уменьшением производительности обработки алмазный круг более длительное время сохраняет исходный режущий рельеф (после притупления режущих кромок) и обеспечивает при шлифовании меньшие значения параметра R_a .

Список литературы: 1. Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Теоретический анализ путей повышения точности и качества алмазно-абразивной обработки // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ. – Вип. 10, 2002. – С.197-202. 2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

Поступила в редколлегию 18.04.03