

В. И. Лавриненко, д-р. техн. наук, Киев, Украина,
В.Ю. Солод, канд. техн. наук, Днепродзержинск, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КРУГАМИ ИЗ СТМ С СОЧЕТАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ АБРАЗИВОВ В РАБОЧЕМ СЛОЕ КРУГА

В даній статті розглядаються питання формування мікронерівностей на оброблюваній поверхні при шліфуванні кругами з надтвердих матеріалів з урахуванням сполучення різних абразивів у робочому шарі круга. Показаний взаємозв'язок між висотними і кроковими параметрами шорсткості та особливості профілю мікронерівностей при різному сполученні абразивів (алмазів та кубічного нітриду бору).

В данной статье рассматриваются вопросы формирования микронеровностей на обрабатываемой поверхности при шлифовании кругами из сверхтвердых материалов с учетом сочетания различных абразивов в рабочем слое круга. Показана взаимосвязь высотных и шаговых параметров шероховатости и особенности профиля микронеровностей при различном сочетании абразивов (алмазов и кубического нитрида бора).

In given article questions of formation of microroughnesses on a processed surface are considered at grinding by wheels from superhard materials taking into account a combination of various abrasives in a working layer of a wheel. The interrelation high-rise and stepping parametres of a roughness and feature of a profile of microroughnesses is shown at a various combination of abrasives (diamonds and cube boron nitride)

Введение

Известно [1–3], что существует определенная связь между высотными и шаговыми параметрами шероховатости. Так, в работе [1] такая связь была уточнена для основных высотных параметров в зависимости от технологии обработки : для плосковершинной и отделочно-упрочняющей обработки $R_{max} = 5Ra$, для точения, строгания, фрезерования $R_{max} = 6Ra$, для шлифования $R_{max} = 7Ra$. Авторами [2] связь между высотными параметрами Ra и R_{max} выражена в виде $R_{max} = (6,472 \pm 0,225)Ra$ для шлифования кругами из кубонита стальных изделий. В работе [1] показано, что для большинства методов механической обработки при средней высоте микронеровностей шаг шероховатости S_m не превышает $40R_{max}$ (шлифование, строгание, фрезерование, растачивание стальных и чугунных деталей), а для неровностей с меньшей высотой значения их шага могут достигать $300R_{max}$. В работе [3] были изучены особенности формирования зависимости параметра R_{max} от Ra для различных условий обработки и показано, что такая зависимость сводится к ряду следующих простых соотношений, которые в определенной степени совпадают с выводами работы [1]. Например, для спеченной и необработанной поверхности твердых сплавов она близка к виду $R_{max} \approx 4Ra$. При лезвий-

ной обработке сталей (40Х, ШХ15, Х12М) резцами из Гексанита-Р зависимость больше отвечает виду $R_{max} \approx 6Ra$. Для абразивной обработки кругами из СТМ наиболее характерной будет зависимость близкая к виду $R_{max} \approx 8Ra$. Это характерно как для инструментальных материалов: быстрорежущих сталей, керамики, твердых сплавов, так и для незакаленной стали, нержавеющей сталей и титановых сплавов. Для чисто абразивной обработки, например кругами из электрокорунда, зависимость $R_{max} = f(Ra)$ более близка к виду $R_{max} \approx (6...8)Ra$. А вот при доводке керамики и покрытий зависимость $R_{max} = f(Ra)$ близка к виду $R_{max} \approx 10Ra$. В последнем случае свой вклад в повышение значения R_{max} вносит пористость данных материалов, поскольку при доводке она уже играет значительную роль.

Цель и постановка задачи

В данной статье, учитывая ее небольшой объем, мы хотели бы остановиться на связи между двумя основными высотными параметрами Ra и R_{max} , а также на связи между Ra и Sm . При этом, нас в большей степени будут интересовать особенности формирования микронеровностей обработанной поверхности при торцовом шлифовании кругами из СТМ для случая, когда у в рабочем слое имеется сочетание двух или трех шлифпорошков различных абразивов (алмазов и КНБ).

Реализация задачи

Рассмотрим, как изменяются эти закономерности, когда мы имеем дело с абразивным инструментом, рабочий слой которого состоит из сочетания различных абразивов (компактов шлифпорошков на основе микропорошков кубонита, смеси компактов со стандартными шлифпорошками кубонита, смеси компактов с алмазными шлифпорошками). При проведении лабораторных исследований общее количество испытанных абразивных смесей шлифпорошков в основе которых были микропорошки композиционных порошков кубонита составило 21 вариант. Был изготовлены круги формы 12A2-45° 125x5x3x32 – на связующем марки В2-08. Шлифовали образцы размерами 150x20x8 мм из быстрорежущей стали Р6М5. Обработка производилась без охлаждения.

Шероховатость обрабатываемых поверхностей контролировалась с помощью профилометра-профилографа модели SurfTest SJ-201 фирмы Mitutoyo (Япония), подключенного к компьютеру. Шероховатость обработанной поверхности оценивали по следующим основным параметрам: среднего арифметического отклонения профиля микронеровностей, Ra , мкм; максимальной высоты микронеровностей, R_{max} , мкм; среднего шага микронеровностей по базовой линии, Sm , мкм.

Анализ параметров микронеровностей обработанных поверхностей для четырех случаев сочетания абразивов в рабочем слое шлифовальных кругов (чистые компакты – КМ, компакты КМ и алмазы АС32, компакты КМ и кубонит КВ, компакты КМ с алмазами АС32 и кубонитом КВ) показал, что при

шлифовании быстрорежущих сталей соотношение R_{max}/R_a находится в диапазоне от 7,5 до 10, а средний показатель составляет 8,5, что соответствует тем данным, которые нами изложены выше. Характерно также и то, что разные сочетания абразивов не выделяются в отдельные области, а находятся в общей совокупности данных.

Теперь рассмотрим соотношения высотных и шаговых параметров шероховатости для исследованных в данной работе условий. Общие результаты исследований эксплуатационных показателей первой партии кругов с шлифпорошками на основе компактов микропорошков кубонита показали, что для них характерен особый механизм изнашивания зерен. Они (за исключением зернистости 160/125 и может быть частично 250/200) изнашиваются в значительной мере не сколами, а как бы послойно, и поэтому режущая способность зерна не возобновляется, возрастает контакт площадки скольжения зерна по обрабатываемой поверхности. С увеличением производительности шлифования



Рисунок 1 – Пример корреляционной связи между параметром шероховатости R_a и шагом микронеровностей S_m .

срезание материала ухудшается и растет эффективная мощность шлифования. Косвенным подтверждением гипотезы о послойном изнашивании зерен должна быть небольшая разница в величинах шероховатости, при достаточно ощутимом различии в величинах зернистостей, и увеличенный шаг неровностей в тех зернистостях, которые имеют неудовлетворительную режущую способность. Анализ данных по шероховатости обрабатываемой поверхности подтвердил данную гипотезу. Так, сравним три зернистости при одинаковой производительности шлифования – 120 $\text{мм}^3/\text{мин}$: 630/500 – $R_a=0,44$ мкм, 250/200 – $R_a=0,37$ мкм, 160/125 – $R_a=0,46$ мкм. Для 200 $\text{мм}^3/\text{мин}$: 250/200 – $R_a=0,93$ мкм, 200/160 – $R_a=0,86$ мкм, 160/125 – $R_a=0,72$ мкм, 125/100 – $R_a=0,76$ мкм. Видно, что производительности в 120

$\text{мм}^3/\text{мин}$ снижение зернистости компактов в кругах в 4 раза никак не повлияло на шероховатость, а при повышении производительности обработки наблюдается определенная тенденция к снижению шероховатости с уменьшением зернистости, но эта тенденция является нечеткой и принципиально боль-

шой разницы между, например, 250/200 и вдвое меньшей зернистостью – 125/100 мы не наблюдаем. В свою очередь, анализ связи между показателем Ra и шагом неровностей Sm (рис. 1) четко выявил, что именно на тех зернистостях, которые оказались совсем неработоспособными кругами (630/500, 200/160, 125/100), и наблюдается повышение значений шага неровностей.

Косвенным подтверждением указанного выше является также и характер профиля микронеровностей обрабатываемой поверхности такими кругами. Если для тех зернистостей, которые проявили себя как неработающие, характерным является более или менее равномерный профиль микрорельефа (рис. 2), то для зернистости 160/125, оказавшейся достаточно работоспособной, характерным является профиль микрорельефа со своеобразными повторяющимися „карманами”. Это как раз отражает то, что у такой зернистости наряду с четко выраженными компактами встречаются и так называемые „режущие” зерна, которые и придают такой своеобразности профилю микронеровностей (рис. 3).

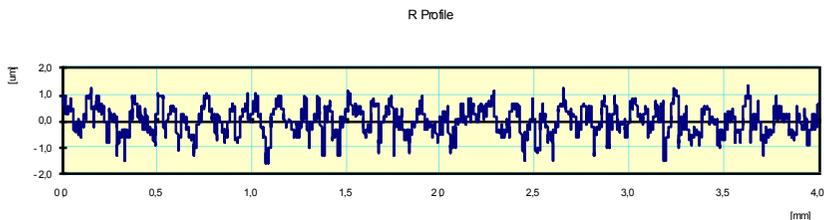


Рисунок 2 – Профиль микронеровностей обработанной поверхности кругом с зернистостью КМ 630/500.

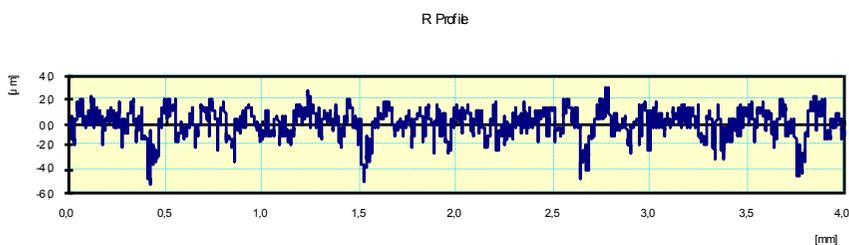


Рисунок 3 – Профиль микронеровностей обработанной поверхности кругом с зернистостью КМ 160/125.

Анализ приведенных выше данных позволяет сделать вывод о том, что вероятно тут имеет значение то, что в зернистости 160/125 (в общем объеме навески) были зерна, которые в какой-то мере были ближе к стандартным зернам КНБ, чем к компактам, что им и давало возможность удерживать ре-

жущую способность круга. Поэтому, на следующем этапе были изучены особенности профиля микронеровностей обрабатываемой поверхности после обработки кругами, когда в качестве абразива использовалась бы смесь стандартных зерен КНБ и зерен компактов из микропорошков кубонита. Сравнивались между собой круги со смешанными зёрнами из компактов кубонита зернистостью от КМ 125/100 до КМ 315/250 с добавлением стандартных зерен КВ 160/125 (КВ 125/100) в соотношении 50:50, то есть зернистость компактов изменялась, а стандартных зерен – не изменялась (160/125 или 125/100).

Рассмотрим, что же происходит в том случае, когда есть базовая зернистость и изменяющаяся компактная? Для производительности $200 \text{ мм}^3/\text{мин}$ имеем следующее: КМ 315/250 $Ra=0,66$ мкм, КМ 250/200 $Ra=0,63$ мкм, КМ 200/160 $Ra=0,75$ мкм, КМ 160/125 $Ra=0,51$ мкм, КМ 125/100 $Ra=0,58$ мкм. А для производительности в $400 \text{ мм}^3/\text{мин}$ имеем: КМ 250/200 $Ra=1,05$ мкм, КМ 200/160 $Ra=1,27$ мкм, КМ 160/125 $Ra=1,00$ мкм, КМ 125/100 $Ra=1,10$ мкм. Как видно, в обоих случаях шероховатость где-то приблизительно является одинаковой, несколько выпадает из общего ряда зернистость компакта – 200/160. Это свидетельствует о том, что зернистость компактов, как и предполагается из гипотезы, высказанной выше, никак не влияет на шероховатость из-за особенностей изнашивания этих компактов. Вместе с тем, наличие стандартных зерен кубонита КВ 125/100 (160/125), из-за своей более лучшей режущей способности, улучшает показатели шероховатости. Например, у чистых компактов при производительности в $200 \text{ мм}^3/\text{мин}$ диапазон Ra составил $0,72\text{--}0,93$ мкм, а у смешанной группы – $0,51\text{--}0,75$ мкм. Кроме того, обратим внимание на то, что у смешанных абразивов профиль микронеровностей достаточно равномерный и не характеризуется четким наличием тех „карманов”, на которые мы уже обращали внимание для чистых (см. рис. 3) компактов.

В целом, одновременное использование в шлифовальных кругах зерен шлифпорошков компактов на основе микропорошков кубонита и стандартных зерен кубонита несколько улучшает работоспособность кругов по сравнению с использованием исключительно шлифпорошков компактов, поскольку становится возможным достигать больших производительностей бесприжоговой обработки быстрорежущей стали – $300 \text{ мм}^3/\text{мин}$ при смеси и всего $200 \text{ мм}^3/\text{мин}$ при чистом компакте, а также несколько снизить шероховатость обрабатываемой поверхности (с $Ra=0,72$ мкм при компактах до $Ra=0,52$ мкм при смеси шлифпорошков кубонита). Следовательно, использование смесей шлифпорошков дает определенный эффект, поэтому на последнем этапе для сравнения были изучены эксплуатационные свойства кругов, когда сочетается смесь компактов КМ различной зернистости и стандартных алмазных зерен соответствующих зернистостей. Сравнивали между собой износостойкость кругов со смешанными зёрнами из компактов кубонита различной зернистости от КМ 125/100 до КМ 400/315 с добавлением стандартных алмазных

зерен АС32 соответствующих зернистостей от 400/315 до 100/80 в соотношении 50:50. Было изначально определено, что зернистость компактов и зернистость алмазов совпадали. Тем самым, мы имеем фактически ту же ситуацию, что и в первой группе, но теперь уже компактов в рабочем слое только 50%, а другие 50% занимают алмазы, которые по быстрорежущей стали имеют приближенный к компактам механизм изнашивания, поскольку на них также будут образовываться площадки износа, и это мы должны увидеть по характеру микронеровностей обработанной поверхности.

Напомним, что по первой группе компактов основной оказалась тенденция, когда снижение зернистости компактов до 160/125 выявилось наиболее эффективным с точки зрения износостойкости кругов. Логичным было бы ожидать такой же тенденции и в случае смеси компактов с алмазами. Так, для производительности в $120 \text{ мм}^3/\text{мин}$ имеем следующее : для КМ 400/315 – $Ra=0,53$ мкм, для КМ 315/250 – $Ra=0,44$ мкм, для КМ 250/200 – $Ra=0,28$ мкм, для КМ 200/160 – $Ra=0,42$ мкм, для КМ 160/125 – $Ra=0,27$ мкм, для КМ 125/100 – $Ra=0,36$ мкм. Из анализа этих данных можно сделать вывод о том, что в целом наблюдается тенденция в снижении шероховатости со снижением зернистости, хотя и есть выброс для зернистости 125/100. Посмотрим, что происходит при повышении производительности до $200 \text{ мм}^3/\text{мин}$: для КМ 250/200 – $Ra=0,44$ мкм, для КМ 200/160 – $Ra=0,49$ мкм, для КМ 160/125 $Ra=0,39$ мкм. Принципиальной разницы мы не наблюдаем, но обратим внимание на уровень значений Ra для этой группы – $0,4...0,5$ мкм. Сравним что давали круги с чистыми компактами для этой же производительности. Тут уровень значений Ra уже выходит на диапазон – $0,7...0,9$ мкм, т.е. примерно в 2 раза выше. А смесь компакта со стандартным кубонитом для $200 \text{ мм}^3/\text{мин}$ дает диапазон Ra в $0,5...0,8$ мкм. Как видим, смесь компактов с алмазами дает наименьшие показатели шероховатости обрабатываемой поверхности и, вероятно, связано с тем, что они изнашиваются не сколами, а как бы послойно, а потому режущая способность зерна не возобновляется, возрастает контакт площадки скольжения зерна по обрабатываемой поверхности и снижается шероховатость поверхности. Возникает вопрос о том, как это отразилось на профиле микронеровностей.

Вот тут мы и наблюдаем в особенно ярком виде формирование микронеровностей обрабатываемой поверхности с так называемыми „карманами”, на которые мы уже обращали внимание. Для кругов со смесью компактов КНБ и наличием алмазов при обработке стали Р6М5 это как раз и является наиболее характерным. Более ярко это наблюдается на больших зернистостях – 400/315. Кроме того, характерным является также то, что профили микронеровностей обрабатываемой поверхности такими кругами имеют аномально высокие шаги микронеровностей, что как раз и подтверждает высказанные нами выше предположения по поводу механизма изнашивания абразивных зерен в таких кругах.

Следовательно, одновременное использование в кругах зерен компактов и алмазных зерен ситуацию не улучшает с точки зрения износостойкости кругов и с точки зрения качества обрабатываемой поверхности, поскольку невозможно достичь производительной безприжоговой обработки быстрорежущей стали. Вместе с тем, выявлено, что именно при такой смеси в кругах возможно достичь снижения шероховатости обрабатываемой поверхности и специфического профиля микронеровностей, когда образуются так называемые „карманы”.

Выводы:

1. Анализ параметров микронеровностей обработанных поверхностей для четырех случаев сочетания абразивов в рабочем слое шлифовальных кругов показал, что при шлифовании быстрорежущих сталей соотношение R_{max}/R_a находится в диапазоне от 7,5 до 10, а средний показатель составляет 8,5, что соответствует тем данным, которые нами изложены выше. Характерно также и то, что разные сочетания абразивов не выделяются в отдельные области, а находятся в общей совокупности данных.

2. Выявлены условия, когда смесь компактов и алмазов одинаковой зернистости при соотношении 50 на 50 в рабочем слое позволяет получить специфический профиль микронеровностей обрабатываемой поверхности с необычно высокими показателями шага микронеровностей и наличием так называемых „карманов”. Рекомендуется использовать такую смесь абразивов в хонинговальных брусках для процесса плосковершинного хонингования, что позволит при необходимости получать поверхность с „карманами” для смазывающих веществ.

3. Приведенные исследования позволяют выявить пути направленного формирования необходимого микрорельефа обработанной поверхности введением различных абразивов в рабочий слой кругов для торцового шлифования.

Список использованных источников: 1. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с. 2. Рыжов Э.В., Корж Н.Я. Влияние технологических факторов на параметры шероховатости при шлифовании кругами из сверхтвердых материалов // Микрогеометрия и эксплуатационные свойства машин. – Рига: Зинатне, 1983. – С. 5–10. 3. Лавриненко В.И. Шероховатость обработанной поверхности: закономерности формирования и взаимосвязь ее параметров при обработке инструментом из СТМ // Сверхтвердые материалы. – 2003. – № 2. – С. 58–67.

Поступила в редколлегию 23.05.2012