

УДК 621.923

В. И. Лавриненко¹, В. Ю. Солод², В. А. Скрябин¹, И. В. Лещук¹¹ *Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины*² *Днепропетровский государственный технический университет МОН Украины*

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

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 разном сочетании абразивов (алмазов и кубического нитрида бора).

Ключевые слова: микронеровность, параметр шероховатости, шлифование, сверхтвердые материалы.

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 лезвийной обработке сталей (40X, 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, керамик, 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 $R_{\max} \approx (68)Ra$. 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 S_m . При этом, нас в большей степени будут интересовать особенности формирования микронеровностей обработанной поверхности при торцовом шлифовании кругами из СТМ для случая, когда 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.

Были изготовлены круги формы 12А2-45°125×5×3×32 – на связующем марки В2-08. Шлифовали образцы размерами 150×20×8 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, $Rmax$, 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 $Rmax/Ra$ 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 соотношение 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 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 мм³/мин: 630/500 – $Ra = 0,44$ мкм, 250/200 –

$Ra = 0,37$ мкм, 160/125 – $Ra = 0,46$ мкм. Для 200 мм³/мин: 250/200 – $Ra = 0,93$ мкм, 200/160 – $Ra = 0,86$ мкм, 160/125 – $Ra = 0,72$ мкм, 125/100 – $Ra = 0,76$ мкм. Видно, что при производительности в 120 мм³/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 большой 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 в кругах (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 такую своеобразность профилю микронеровностей (рис. 3).



Рис. 1. Пример корреляционной связи между параметром шероховатости Ra и шагом микронеровностей Sm

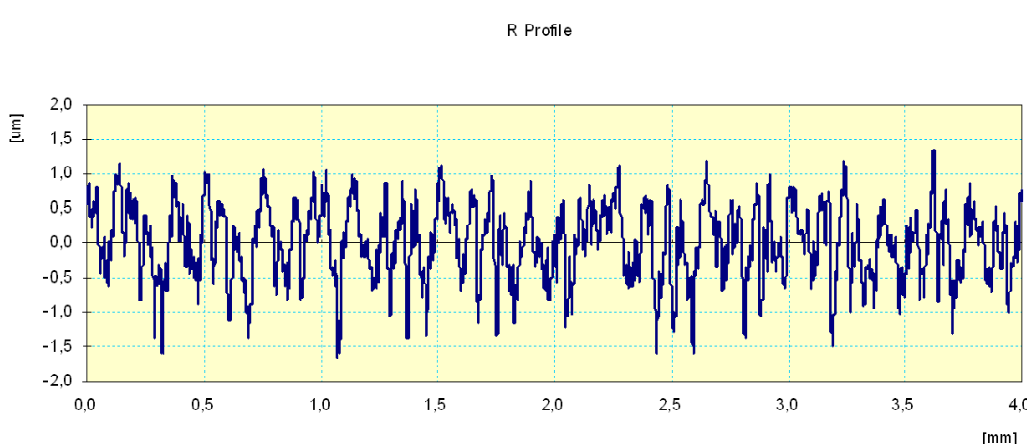


Рис. 2. Профиль микронеровностей обработанной поверхности кругом с зернистостью KM630/500

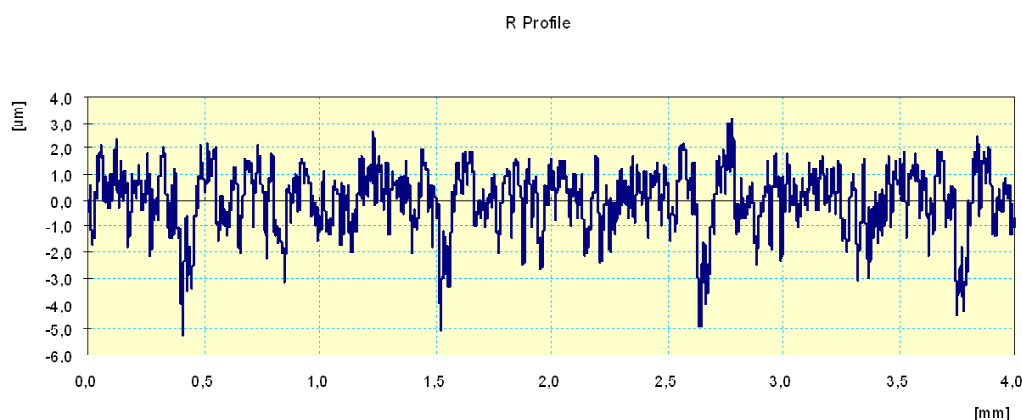


Рис. 3. Профиль микронеровностей обработанной поверхности кругом с зернистостью KM160/125

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 режущую 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 зернами из компактов кубонита зернистостью от KM 125/100 до KM 315/250 с добавлением стандартных зерен KB 160/125 (KB 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 мм³/мин имеем следующее: KM 315/250 — $Ra = 0,66$ мкм, KM 250/200 — $Ra = 0,63$ мкм, KM 200/160 — $Ra = 0,75$ мкм, KM 160/125 — $Ra = 0,51$ мкм, KM 125/100 — $Ra = 0,58$ мкм.

А для производительности в 400 мм³/мин имеем: KM 250/200 — $Ra = 1,05$ мкм, KM 200/160 — $Ra = 1,27$ мкм, KM 160/125 — $Ra = 1,00$ мкм, KM 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 KB 125/100 (160/125), из-за своей более лучшей режущей способности, улучшает показатели шероховатости. Например, у чистых компактов при производительности в 200 мм³/мин диапазон Ra составил 0,72–0,93 мкм, а у смешанной группы — 0,51–0,75 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 достичь больших производительностей бесприжоговой обработки быстрорежущей стали – 300 мм³/мин при смеси и всего 200 мм³/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 мм³/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 мм³/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 мм³/мин дает диапазон Ra в 0,5...0,8 мкм. Как видим, смесь компактов с алмазами дает наименьшие показатели шероховатости обрабатываемой поверхности и это, вероятно, связано с тем, что они изнашиваются не сколами, а как бы послыно, 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 (рис. 4). Кроме того, характерным является также то, что профили микронеровностей обрабатываемой поверхности такими кругами имеют аномально высокие шаги микронеровностей (рис. 5), 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

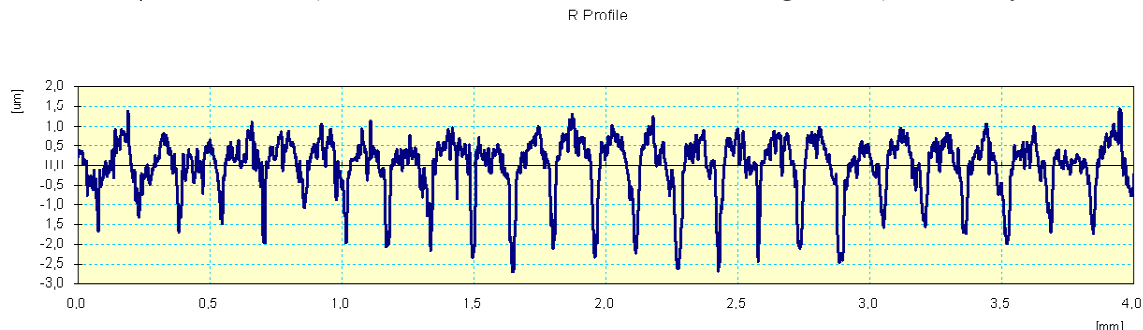


Рис. 4. Профиль микронеровностей обработанной поверхности кругом со смешанным шлифпорошком компакта КМ 400/315 и АС32 400/315

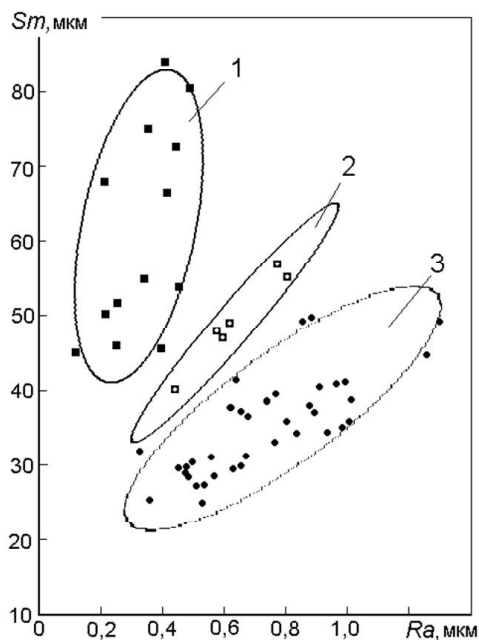


Рис. 5. Пример корреляционной связи между Ra и Sm :

1 – область формирования обработанной поверхности с четко выраженными «карманами» (см. рис. 4), 2 – с нечетко выраженными «карманами», 3 – область формирования типичной обработанной поверхности (см. рис. 2)

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}/Ra нахо-

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

Перечень ссылок

1. Демкин Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М. : Машиностроение, 1981. – 244 с.
2. Рыжов Э. В. Влияние технологических факторов на параметры шероховатости при шлифовании кругами из сверхтвердых материалов / Э. В. Рыжов, Н. Я. Корж // 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 / В. И. Лавриненко // Сверхтвердые материалы. – 2003. – № 2. – С. 58–67.

Поступила в редакцию 02.07.2010

Лавріненко В.І., Солод В.Ю., Скрябін В.О., Лещук І.В. Формування микронерівностей обробленої поверхні при шліфуванні кругами з нтм із сполученням різних абразивів у робочому шарі круга

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

Ключові слова: микронерівність, параметр шорсткості, шліфування, надтверді матеріали.

Lavrinenko V., Solod V., Skryabin V., Leschuk I. Formation of mikroroughnesses on a processed surface at grinding by wheels from superhard materials taking into account a combination of various abrasives in a working layer of a wheel

In given article questions of formation of mikroroughnesses 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 parameters of a roughness and feature of a profile of mikroroughnesses is shown at a various combination of abrasives (diamonds and cube boron nitride).

Key words: mikroroughness, parametre of a roughness, grinding, superhard materials.