

В.Г. ШКУРУПИЙ, канд. техн. наук, доцент, ХНЭУ, г. Харьков
Ф.В. НОВИКОВ, д-р техн. наук, профессор, ХНЭУ, г. Харьков

УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСОТЫ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ НА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ДОВОДКИ

Введение. При изготовлении ответственных деталей машин к шероховатости обрабатываемых поверхностей предъявляются высокие требования в связи с необходимостью обеспечения заданных эксплуатационных характеристик деталей (износостойкости, оптических свойств и т.д.). Шероховатость обрабатываемых поверхностей данных деталей формируется на финишных операциях, которые осуществляются, как правило, с использованием различных абразивных инструментов (шлифовальных кругов, хонинговальных головок, притиров и т.д.) [1]. Как показывает практика, наилучшие результаты достигаются на операциях доводки свободным абразивом (алмазной пастой и алмазным мелкозернистым порошком). В настоящее время накоплен большой опыт эффективного применения процессов доводки [2]. Вместе с тем, все возрастающие требования к показателям шероховатости поверхности при доводке деталей из труднообрабатываемых материалов предопределяют необходимость поиска новых технологических решений. Поэтому целью настоящей работы является теоретическое обоснование условий уменьшения высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности при доводке.

Основное содержание работы. При обработке абразивными зёрнами одного размера с углом при вершине 2γ (рис. 1) отношение параметров шероховатости поверхности $R_{max} / R_a = 4$, а положение средней линии микропрофиля обработанной поверхности определяется линией, разделяющей микропрофиль на две одинаковые части ($a = 0,5 \cdot R_{max}$) [3]. Относительная опорная длина микропрофиля обработанной поверхности $\varepsilon(y)$ принимает вид прямой линии. Исходя из этого, уменьшить параметр шероховатости R_a можно уменьшением параметра R_{max} , который зависит от количества зёрен n , участвующих в формировании шероховатости обработанной поверхности. Чем больше n , тем меньше параметр R_{max} . В идеале, при бесконечном увеличении количества зёрен n , можно получить фактически нулевое значение R_{max} . Это вытекает из зависимости для определения параметра шероховатости поверхности

$R_{max} = \frac{B}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n}$, полученной из условия (рис. 1,а): $2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot R_{max} \cdot n = B$, где B – ширина обработки, м; $n = n_0 \cdot i$;

$n_0 = k \cdot \frac{R_{max}}{\bar{X}} \cdot \pi \cdot D_{инстр} \cdot B$ – количество зёрен, расположенных на рабочей поверхности инструмента и участвующих в резании; k – количество зёрен, расположенных на единице площади рабочей поверхности инструмента (условная поверхностная концентрация зёрен), штук/м²; \bar{X} – размер зёрна (зернистость абразивного или алмазного порошка), м; $D_{инстр}$ – диаметр инструмента, м; $i = \tau / \tau_1$ – количество вращений инструмента за время τ ; $\tau_1 = \pi \cdot D_{инстр} / V_{инстр}$ – время одного вращения инструмента, с; $V_{инстр}$ – скорость инструмента, м/с. После преобразований получим

$$R_{max} = \sqrt{\frac{\bar{X}}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{инстр} \cdot \tau}} \quad (1)$$

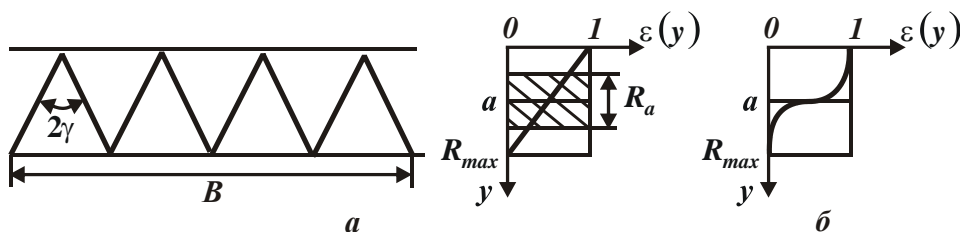


Рис. 1. Расчетная схема параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке (а) и график функции $\varepsilon(y)$ (б).

Из зависимости (1) вытекает, что уменьшить параметр шероховатости поверхности R_{max} можно уменьшением \bar{X} и увеличением параметров γ , k , $V_{инстр}$ и τ . Для данной схемы обработки за счет увеличения времени τ можно уменьшить параметр R_{max} вплоть до нуля. Однако при этом необходимо исключить перемещение обрабатываемой детали в радиальном направлении, в противном случае шероховатость поверхности с увеличением n будет уменьшаться лишь до определенной величины, после чего будет оставаться неизменной

или увеличиваться. Это вытекает из зависимости (1) с учетом того, что время τ формирования шероховатости поверхности не бесконечно, а ограничено перемещением обрабатываемой детали по нормали к рабочей поверхности круга на величину R_{max} , т.е. $\tau = R_{max} / S_{рад}$ (где $S_{рад}$ – скорость радиальной подачи обрабатываемой детали, м/с). После преобразований зависимость (1) выразится

$$R_{max} = \sqrt[3]{\frac{\bar{X} \cdot S_{рад}}{2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{инстр}}} \quad (2)$$

Как видно, параметр шероховатости поверхности R_{max} в данном случае определяется режимом обработки и характеристиками инструмента и не зависит от времени τ , т.е. является ограниченной величиной. Чем меньше $S_{рад}$, тем меньше R_{max} . Следовательно, достижение небольших значений R_{max} требует снижения производительности обработки. В связи с этим, эффективно на окончательном этапе обработки (при формировании шероховатости поверхности) использовать схему выхаживания, согласно которой сьем обрабатываемого материала происходит лишь под действием упруго-восстанавливающей силы с уменьшающейся во времени скоростью радиальной подачи. Это позволит обеспечить заданную шероховатость поверхности без существенного снижения производительности обработки.

Практика показывает, что в реальных условиях обработки относительная опорная длина микропрофиля обработанной поверхности $\varepsilon(y)$ может принимать самую разнообразную форму в связи с различными по размерам и форме зернами, а также в связи со случайным характером участия зерен в съеме материала и формировании шероховатости поверхности. Появление в общей массе зерен буквально одного зерна, по размеру и форме отличного от остальных, приводит к изменению вида функции $\varepsilon(y)$. Присутствие в общей массе зерен определенного количества зерен разных размеров приводит к существенному изменению вида функции $\varepsilon(y)$, например, показанному на рис. 1,б. Соотношение R_{max} / R_a может изменяться в широких пределах (от 4 до 33 [4]), хотя параметр шероховатости R_a при этом почти не изменяется, а изменение соотношения R_{max} / R_a происходит за счет увеличения параметра R_{max} . В этих условиях уменьшить шероховатость поверхности можно за счет снижения разброса размеров абразивных зерен и их зернистости на основе применения нанотехнологий.

Необходимо отметить, что добиться уменьшения шероховатости поверхности можно при обработке как свободным, так и связанным абразивом. Однако во втором случае зернистость абразивных зерен больше, поэтому трудно изготовить абразивные инструменты (шлифовальные круги, притиры и т.д.) малой зернистости. Естественно, обработка более крупными зернами приводит к увеличению высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности. В этом случае уменьшить шероховатость поверхности можно, например, за счет создания на шлифовальном круге плосковершинных зерен путем обтачивания круга алмазным карандашом [5]. При шлифовании по жесткой схеме абразивным или алмазным кругом с плосковершинными зернами высота микронеровностей на обрабатываемой поверхности может быть уменьшена в 10 и более раз. Эффект достигается за счет резания плосковершинными зернами, имеющими приблизительно одинаковую высоту выступания над уровнем связки. При этом в резании может участвовать небольшое количество зерен, т.е. формирование шероховатости поверхности может происходить за один проход круга, что позволяет существенно увеличить производительность обработки. При обработке свободным абразивом в формировании шероховатости поверхности должно участвовать значительно большее количество зерен, что предполагает более низкие показатели производительности обработки.

Экспериментально установлено, что наибольший эффект от создания площадок на вершинах режущих зерен достигается при шлифовании алмазными кругами на высокопрочных металлических связках. В этом случае за счет прочного удержания зерен в связке на их вершинах в процессе обтачивания круга алмазным карандашом образуются значительные по размерам площадки, что ведет к уменьшению высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности в процессе шлифования. Данный вывод вытекает из зависимости

$$R_{max} = \frac{1}{2 \cdot \text{tg} \gamma} \cdot \left(\frac{B}{n} - a_s \right), \quad (3)$$

полученной из условия: $n \cdot (2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot R_{max} + a_s) = B$, где a_s – длина площадки на вершине зерна, м.

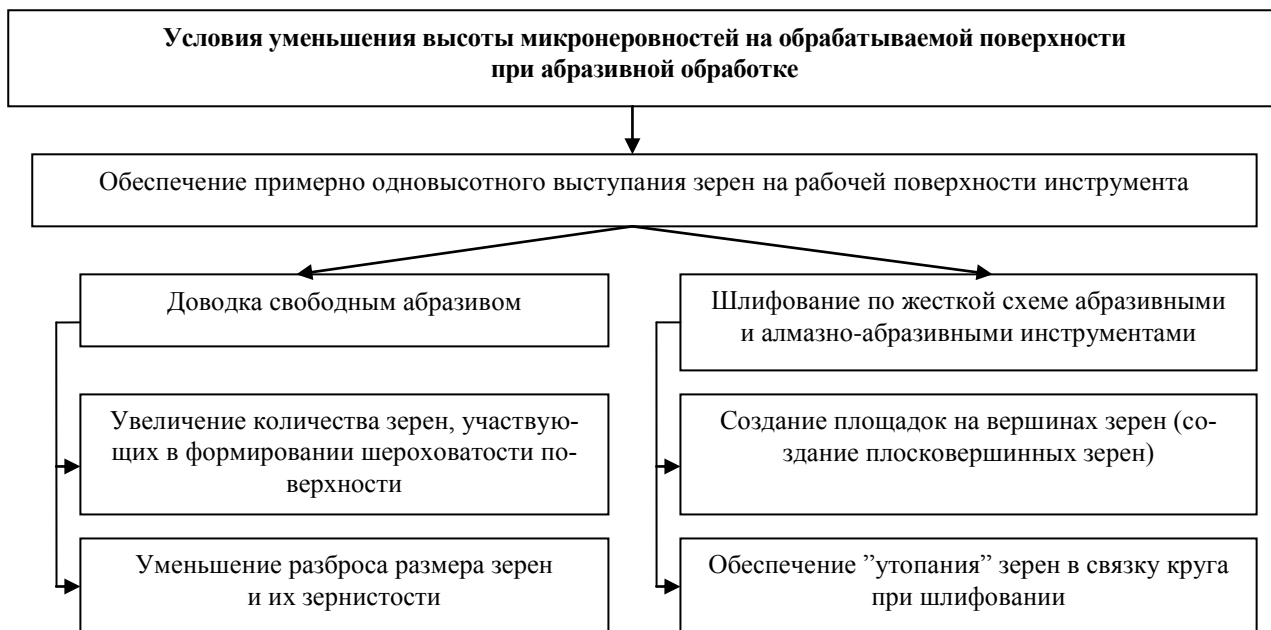


Рис. 2. Структурная схема условий уменьшения высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности при абразивной обработке.

Как следует из зависимости (3), с увеличением a_s параметр шероховатости поверхности R_{max} может уменьшаться вплоть до нуля (даже при небольшом количестве зерен n). Уменьшить R_{max} можно также увеличением количества зерен n за счет применения относительно мягких связок, обеспечивающих "утопание" зерен в связку при шлифовании и примерно одновысотное выступание вершин зерен [6]. К таким связкам можно отнести, например, органическую связку, которая применяется при изготовлении алмазных кругов (рис. 2).

Таблица 1

Шероховатость поверхности для различных составов

№ п/п	АСМ 3/2, %	ПВА, %	ПАВ, %	Аммиак, %	Вода, %	Съем металла, г	Шероховатость R_z , мкм	Коэффициент отражения $\rho_s, \%$
1	1,5	-	2,5	0,15	95,85	0,26331	0,08	98,4
2	6,0	-	2,5	0,15	91,35	0,28231	0,09	98,2
3	2,0	6,0	-	-	92,0	0,27312	0,09	99,0
4	3,0	6,0	-	-	91,0	0,41349	0,09	99,0
5	4,0	6,0	-	-	90,0	0,56331	0,10	98,1
6	5,0	6,0	-	-	89,0	0,64632	0,05	99,1
7	6,0	6,0	-	-	88,0	0,68922	0,04	99,2
8	7,0	6,0	-	-	87,0	0,65734	0,05	99,2
9	8,0	6,0	-	-	86,0	0,64931	0,06	99,1
10	9,0	6,0	-	-	85,0	0,63110	0,07	99,0
11	6,0	3,0	-	-	91,0	0,51006	0,09	98,2
12	6,0	4,0	-	-	90,0	0,63789	0,08	98,3
13	6,0	5,0	-	-	89,0	0,65123	0,05	99,0
14	6,0	6,0	-	-	88,0	0,67123	0,05	99,2
15	6,0	7,0	-	-	87,0	0,64341	0,04	99,2
16	6,0	8,0	-	-	86,0	0,62789	0,05	99,0

АСМ 3/2 – алмазный микропорошок; ПАВ – поливинилацетатная дисперсия; ПАВ – оксиэтилированные аминоспирты.

Несомненно, при шлифовании (даже алмазными кругами с плосковершинными зернами) невозможно обеспечить такие низкие значения шероховатости поверхности, которые достигаются при доводке свободным

абразивом. Поэтому проведем анализ технологических возможностей процесса доводки прецизионных деталей с зеркальными поверхностями. В этом случае обработку производят пеноканифольными полировальниками. Положительный результат получен при использовании доводочного алмазно-абразивного состава с поливинилацетатной дисперсией, что позволило устранить токсичность ранее применяемых составов и уменьшить микронеровности на поверхности. Рекомендуется следующее соотношение компонентов (вес, %): алмазный микропорошок (5-8); поливинилацетатная дисперсия (5-7); вода (остальное). Состав готовят смешением компонентов. Варианты состава и их рабочие характеристики приведены в табл. 1.

Поливинилацетатная дисперсия при оптимальном ее содержании в доводочном алмазно-абразивном составе обеспечивает фиксацию абразивных зерен на полировальнике. Продукты механической деструкции поливинилацетата способны химически взаимодействовать с металлом обрабатываемой поверхности, особенно с образующимися в процессе царапания режущими элементами зерен, гребешками, что обеспечивает повышение съема металла и сглаживание поверхности, и приводит к увеличению ее светоотражающей способности.

При увеличении содержания поливинилацетатной дисперсии вязкость доводочного алмазно-абразивного состава повышается и он оказывает демпфирующее действие на полировальник. Абразивные зерна при этом свободно перемещаются в зоне обработки, не оказывая значительного режуще-царапающего действия, а производительность процесса доводки уменьшается. Уменьшение же содержания поливинилацетатной дисперсии в составе ниже 5% приводит к потере эффекта, оказываемого ею на процесс доводки.

Содержание алмазного микропорошка в доводочном алмазно-абразивном составе свыше оптимального содержания (при капельном методе подачи суспензии в зону обработки) не приводит к повышению производительности процесса доводки, т.к. насыщение полировальника абразивными зернами может происходить до определенной степени, а затем алмазный микропорошок непроизводительно минует зону обработки.

Поливинилацетат и продукты его механической деструкции, происходящей при царапании абразивными (алмазными) зернами металлических поверхностей, способны образовывать прозрачную тончайшую пленку на обработанной поверхности, которая оказывает консервирующее действие на ювенильные металлические поверхности и, следовательно, уменьшает коррозионный процесс.

Сглаживание поверхности в процессе доводки обеспечивает высокую светоотражающую способность поверхностей, обрабатываемых с помощью разработанного доводочного алмазно-абразивного состава. Этот же состав может быть использован для обработки прецизионных деталей с заменой алмазного микропорошка обычными абразивами (макропорошками электрокорунда или карборунда).

Предлагаемый доводочный алмазно-абразивный состав может успешно применяться при доводочных процессах высокоточных деталей с зеркальными поверхностями, т.к. он обладает указанными выше достоинствами, а поливинилацетатная дисперсия является весьма доступным веществом.

Выводы. В работе теоретически обоснованы основные условия уменьшения высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности при абразивной обработке, состоящие в обеспечении примерно односотного выступания зерен на рабочей поверхности инструмента. Показано, что при доводке свободным абразивом уменьшить высоту микронеровностей на обрабатываемой поверхности можно увеличением количества зерен, участвующих в формировании шероховатости поверхности, и уменьшением разброса размера зерен и их зернистости. Показано также, что при шлифовании по жесткой схеме абразивными и алмазно-абразивными инструментами уменьшить высоту микронеровностей на обрабатываемой поверхности можно созданием площадок на вершинах зерен (созданием плосковершинных зерен) и обеспечением "утопания" зерен в связку круга при шлифовании, например, используя относительно мягкую органическую связку, которая применяется при изготовлении алмазных кругов.

Даны практические рекомендации по совершенствованию процесса доводки прецизионных деталей с зеркальными поверхностями с точки зрения существенного уменьшения высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности. Доказана эффективность применения в данном случае доводочного алмазно-абразивного состава с поливинилацетатной дисперсией, обеспечивающего сглаживание поверхности в процессе доводки и ее высокую светоотражающую способность. Этот состав может быть использован для обработки различных прецизионных деталей с заменой алмазного микропорошка обычными абразивами (макропорошками электрокорунда или карборунда).

Список литературы: 1. Сагарда А.А. Алмазно-абразивная обработка деталей машин / А.А. Сагарда, И.Х. Чеповецкий, Л.Л. Мишинаевский. – К.: Техніка, 1974. – 179 с. 2. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э.В. Рыжов. – К.: Наук. думка, 1984. – 272 с. 3. Новиков Ф.В. Аналитическое определение параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научно-технической конференции, Одесса – Киев: АТМ Украины. – 2009. – С. 140-144. 4. Шкурный В.Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 "Технологія машинобудування" / В.Г. Шкурний. – Одеса, 2006. – 21 с. 5. Новиков Ф.В. Повышение качества обработки при круглом наружном алмазном шлифовании специальных твердосплавных инструментов / Ф.В. Новиков, С.А. Дитиненко // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2004. – Вып. 67. – С. 74-85. 6. Новиков Ф.В. Условия формирования шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке / Ф.В. Новиков, В.П. Ткаченко // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ, 2001. – Вып. 60. – С. 171-176.

Поступила в редколлегию 5.05.2011г.