

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.924.

В. З. Зверовщиков, А. В. Понукалин, А. Е. Зверовщиков

О ФОРМИРОВАНИИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ТРУДНОДОСТУПНЫХ УЧАСТКАХ ПРОФИЛЯ ДЕТАЛИ ПРИ ОБЪЕМНОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКЕ ГРАНУЛИРОВАННЫМИ СРЕДАМИ

Аннотация. Рассматривается процесс формирования шероховатости деталей, поверхности которых образуют закрытые зоны при объемной обработке. Исследовано влияние геометрических характеристик рабочего тела на обрабатываемость труднодоступных зон. Проведены экспериментальные исследования равномерности центробежно-планетарной обработки сложнопрофильных деталей.

Ключевые слова: шероховатость, гранулированная среда, рабочее тело, контактирование, центробежно-планетарная обработка.

Abstract. The forming roughness details process is examined in this article. During volumetric processing (solid machining) the detail's surfaces are generated confined space. The working substance geometric characteristics influence on difficult of access zone machinability is researched. The experimental researches of evenness of figurine details centrifugal planetary treatment are lead.

Keywords: the roughness, the granulated environment, working body, contact, centrifugal-planetary processing.

Введение

В машиностроительном производстве на финишных операциях обрабатывается большое количество деталей сложной конфигурации, к качественным показателям поверхностей которых предъявляются высокие требования.

Наиболее часто при финишной обработке используют такие технологические методы, как тонкое шлифование, хонингование, суперфиниширование, алмазное и эльборовое точение и фрезерование, доводка, поверхностно-пластическое деформирование.

Однако номенклатура обрабатываемых деталей настолько разнообразна, что перечисленные методы не всегда позволяют обеспечить соответствие техническим потребностям, в частности, требуемую шероховатость поверхности.

При отделочно-зачистной обработке многих деталей перспективно использование объемной обработки гранулированными абразивными средами. Основным недостатком, присущим объемной обработке, является отсутствие стабильности шероховатости поверхности, особенно на труднодоступных участках детали, что обусловлено неодинаковыми условиями абразивного резания.

Для повышения стабильности необходимо стремиться создавать одинаковые условия для абразивного резания по профилю обрабатываемой детали. Однако, например, на деталях после штамповки часто встречаются сочетания вогнутых и выпуклых поверхностей, сопряженных под разными углами. Обеспечить одинаковые условия обработки таких участков профиля поверхности трудно из-за ограниченного доступа к ним частиц рабочей среды. При объемной обработке такие зоны детали с ограниченным доступом частиц рабочей среды можно отнести к закрытым, аналогично классификации зон труднодоступных поверхностей при лезвийной обработке. Эффективность обработки закрытой зоны зависит от взаимного расположения поверхностей, образующих зону, которая определяется углами взаимного расположения поверхностей, и соотношением размеров закрытой зоны и величины гранул шлифовального материала.

1. Анализ условий формирования шероховатости на закрытых для объемной обработки участках детали

Формирование шероховатости при объемной обработке обусловлено стохастическим характером взаимодействия абразивных частиц гранулированной среды с поверхностями детали. Такой характер взаимодействия определяет неравномерность обработки закрытых и открытых участков детали.

Рассматривая объемную обработку как отделочную, можно выделить два основных критерия эффективности обработки:

- 1 – достижение требуемых параметров микрорельефа;
- 2 – стабильность параметров шероховатости на различных участках обрабатываемой поверхности.

Исследователями механизма формирования шероховатости при различных способах объемной обработки даются рекомендации по обеспечению требуемой шероховатости поверхностей деталей в целом, но стабильность микрорельефа на отдельных участках поверхности ими не рассматривается. В то же время отсутствие стабильности параметров шероховатости по профилю детали влечет за собой или увеличение времени обработки для достижения требуемой шероховатости по всей поверхности или, в ряде случаев, применение трудоемких способов механической или ручной дополировки, что не всегда приемлемо.

Для выравнивания условий обработки по профилю деталей со сложными поверхностями важную роль играет оптимизация формы рабочих тел. Вероятное количество контактов абразивных гранул с обрабатываемой поверхностью в течение цикла обработки в закрытой зоне значительно меньше, чем с остальными поверхностями детали. Это приводит к медленному нивелированию шероховатости поверхности в закрытой зоне.

При объемной центробежной обработке поверхностей в контейнерах с планетарным вращением [1] детали типа «уголок» (рис. 1) можно выделить три зоны: I – «мертвая» зона, где обработка поверхности практически не происходит, так как гранулы шлифовального материала туда не проникают; II – зона нестабильной шероховатости (область неравновероятного попадания абразивных гранул); III – зона стабильной шероховатости, которая представляет собой поверхность, открытую для обработки.

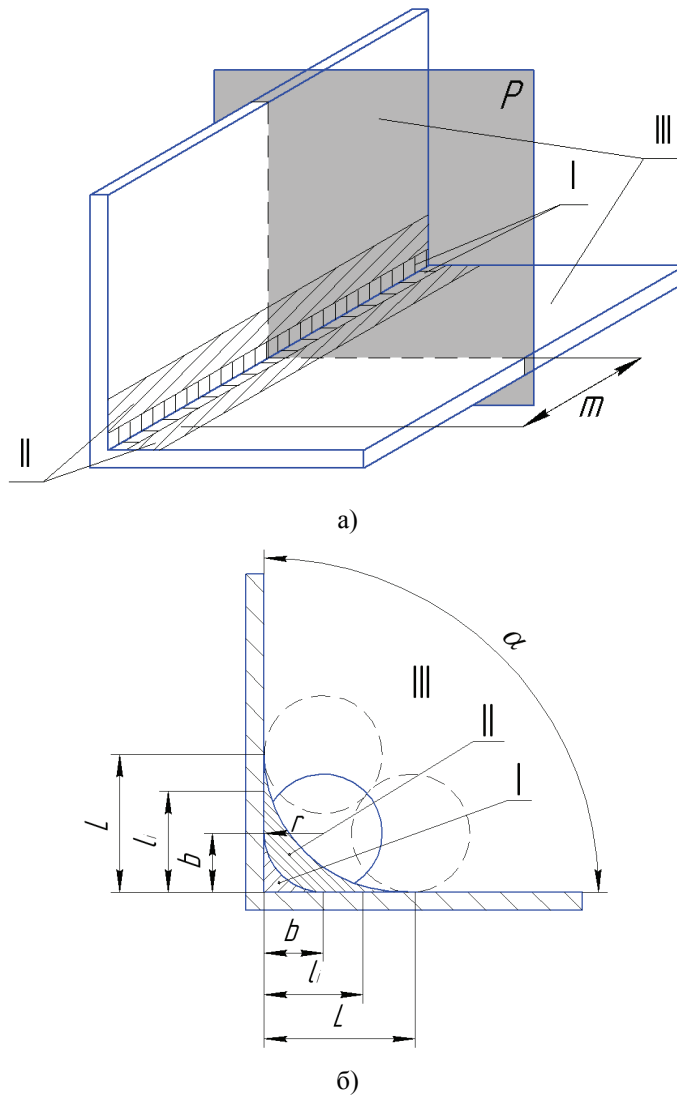


Рис. 1. Схема контакта обрабатывающих тел с деталью «уголок» в зоне сопряжения обрабатываемых поверхностей: а – общий вид детали; б – поперечное сечение детали

Штриховыми линиями на рис. 1 изображено возможное контактирование двух рабочих тел с поверхностями зоны II нестабильной шероховатости. При таком взаимодействии рабочих тел снижается вероятность их проникновения в зону II. Это обуславливает меньшее количество контактов на длине участка $L-b$ по сравнению с открытыми поверхностями. Следовательно, в этой зоне можно ожидать образование при обработке более грубой шероховатости поверхности, а l_i можно рассматривать как размерную характеристику поверхности в зоне II нестабильной шероховатости.

Размер «мертвой» зоны AB детали (рис. 2), в которой невозможно касание с поверхностью рабочего тела, при произвольном угле α сопряжения плоскостей определяется минимальным радиусом r тела.

Расстояние от вершины угла до окружности радиуса r составит

$$CD = OC - r.$$

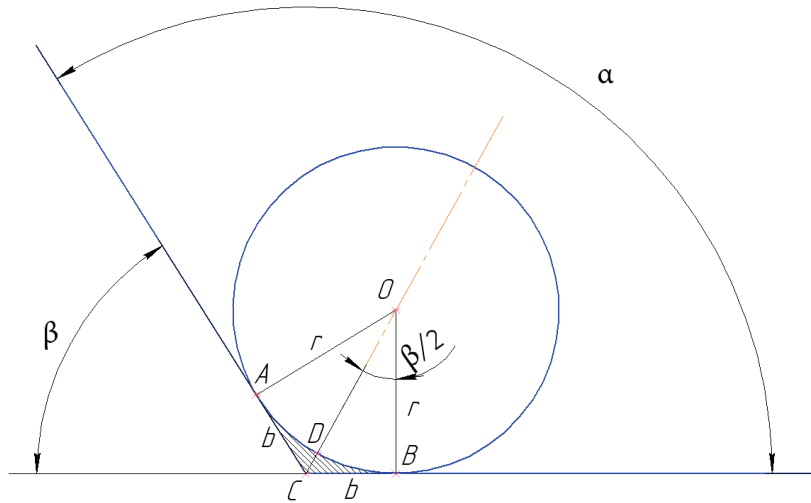


Рис. 2. Определение размеров «мертвой» зоны

Из геометрических соотношений после преобразований найдем

$$CD = r \left(\frac{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right).$$

Размер «мертвой зоны»:

$$CB = b = r \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (1)$$

Предположим, что край зоны нестабильной шероховатости соответствует возможности симметричного контакта двух рабочих тел с поверхностью детали (рис. 3). Тогда положение края зоны определится расстоянием L от вершины угла до касания рабочего тела с плоскостями уголка в точках C и D , которое найдем по выражению

$$L = \frac{r}{\sin \frac{\alpha}{2}} + r \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

или

$$L = \frac{r}{\sin \frac{\alpha}{2}} + b.$$

2. Экспериментальная часть

Для количественной оценки шероховатости в нестабильных зонах профиля детали проведен многофакторный эксперимент, который позволил получить модель влияния на шероховатость поверхности по параметру Ra текущего значения размерной характеристики l_i (рис. 1,б) в зоне нестабильной

обработки, а также времени обработки t , приведенного радиуса рабочего тела r , угла наклона обрабатываемых поверхностей α и расстояния m от рассматриваемой точки обрабатываемой поверхности до плоскости P поперечного сечения, проходящего через центр масс детали (рис. 1,а).

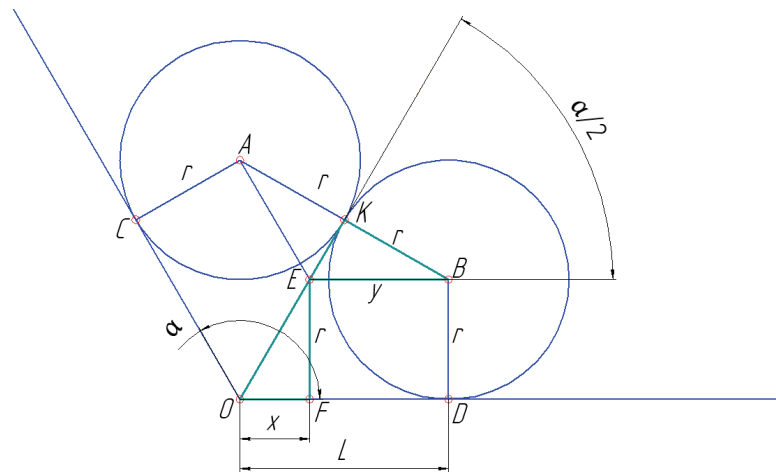


Рис. 3. Определение размера зоны нестабильной шероховатости

Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Кодовые обозначения, уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое обозначение факторов	Уровни факторов					Интервал варьирования факторов
		-1,414	-1	0	1	1,414	
Угол сопряжения поверхностей α , град	X1	83,8	90	105	120	126,2	15
Приведенный радиус гранулы r , мм	X2	3,2	4,08	6,12	8,16	9,0	2,04
Расстояние m от точки измерения до плоскости P , проходящей через центр масс детали, мм	X3	0,00	0,41	1,41	2,41	2,83	1,00
Время обработки t , мин	X4	17,9	20	25	30	32,1	5

Экспериментальные образцы с переменной величиной угла α сопряжения плоскостей уголка были изготовлены из стали 45. Для устранения влияния исходной шероховатости плоскости образцов были отполированы до шероховатости $Ra = 0,2 \dots 0,3$ мкм, что позволило считать параметры шероховатости, измеряемые после опытов, достоверными. Возрастание шероховатости объясняется увеличением интенсивности контактного взаимодействия рабочих тел (гранул) с обрабатываемой поверхностью при центробежной обработке.

Образцы обрабатывались в центробежно-планетарной установке в течение 20 мин при вращении водила с частотой $n = 120 \text{ мин}^{-1}$ абразивными гранулами фирмы «Rosler» на полимерной связке. По моменту инерции полимерной гранулы был рассчитан приведенный радиус шара с таким же моментом инерции.

Для построения модели формирования шероховатости поверхности в нестабильной зоне при варьировании основных технологических и конструктивных параметров был реализован полный многофакторный эксперимент типа 2^4 . В качестве параметра оптимизации была принята шероховатость поверхности по параметру Ra , мкм.

В результате обработки экспериментальных данных по известной методике [2] получена математическая модель для прогнозирования шероховатости поверхности в кодовых координатах:

$$y = 0,42 - 0,01584x_1 - 0,0424x_2 + 0,028x_3 - 0,012x_4 - 0,145x_1x_2 + 0,0133x_1x_3 - 0,0517x_2x_3 + 0,0585x_1x_4 - 0,1507x_2x_4 + 0,0164x_3x_4 + 0,402x_1^2 + 0,419x_2^2 + 0,393x_3^2 + 0,414x_4^2.$$

Проверка адекватности модели по критерию Фишера показала, что ее можно считать адекватной с доверительной вероятностью 0,95.

Для графической интерпретации полученной модели построены зависимости влияния отдельных факторов на шероховатость поверхности, которые представлены на рис. 4–7.

Анализ влияния угла сопряжения α на шероховатость поверхности (рис. 4) показывает, что при больших углах сопряжения плоскостей происходит увеличение шероховатости, что свидетельствует об интенсивной обработке исследуемой зоны. Очевидно, это связано с эффектом расклинивания рабочих тел в зоне ограниченного доступа (рис. 3).

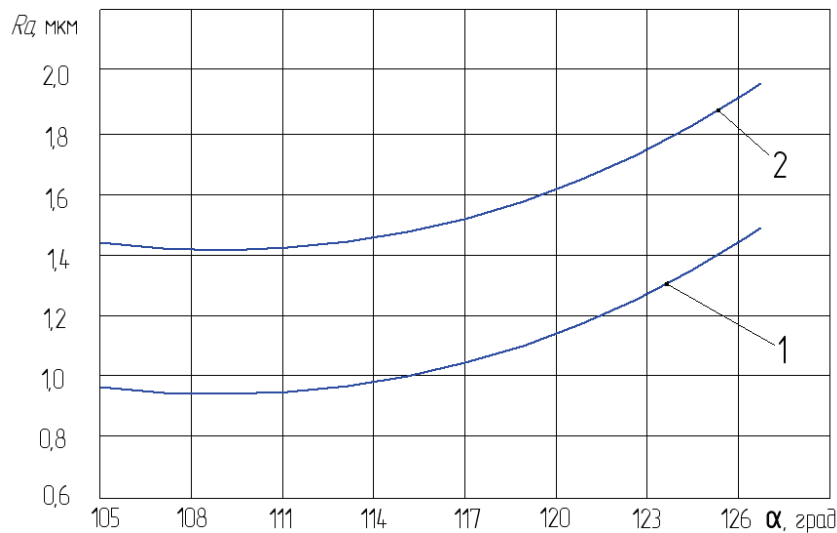


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности от угла сопряжения α обрабатываемых плоскостей: 1 – при $r = 8,16$ мм; 2 – при $r = 9$ мм

Зависимость шероховатости от приведенного радиуса рабочего тела (рис. 5) свидетельствует о том, что при малых размерах гранулы увеличива-

ется ее проникающая способность, а при больших размерах гранулы обеспечивается большее давление в контакте, что также приводит к увеличению шероховатости. Установлено наличие экстремальной зоны, в которой сочетание проникающей способности и контактного давления является наилучшим для удаления исходного поверхностного слоя заготовки. Лучшая проникающая способность увеличивает вероятное число контактов гранул с поверхностью зоны нестабильной шероховатости. Наибольшее контактное давление обеспечивает более эффективную обработку за меньшее число контактов. Соответственно оптимальное соотношение данных факторов определяет высоту микронеровностей в рассматриваемой зоне.

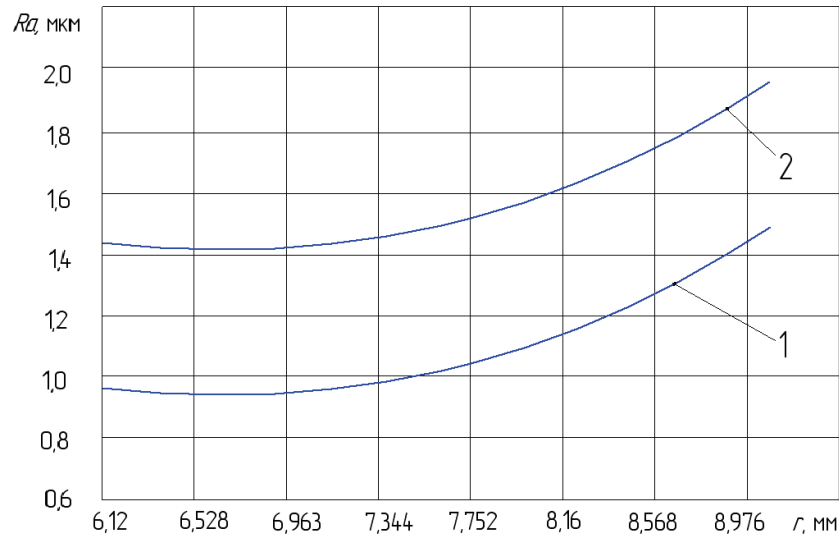


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности от приведенного радиуса гранулы: 1 – при $\alpha = 120^\circ$; 2 – при $\alpha = 126,2^\circ$

При измерении шероховатости образцов после обработки выдерживалось определенное расстояние m от места замера до плоскости P , проходящей через центр масс детали. Установлено, что по мере возрастания расстояния m значение шероховатости сначала уменьшается, а затем увеличивается (рис. 6). Это можно объяснить разностью распределения скоростей элементарных слоев частиц внутри скользящего слоя и скоростей поверхности образца [3].

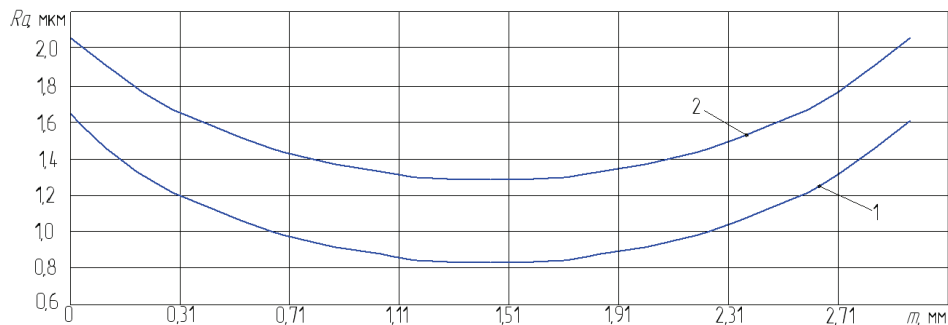


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности от расстояния m до плоскости P , проходящей через центр масс детали: 1 – при $\alpha = 120^\circ$; 2 – при $\alpha = 126,2^\circ$

Элементарные слои шлифовального материала, соответствующие центру масс детали, имеют малые скорости движения относительно обрабатываемых поверхностей. Поэтому поверхность детали, попавшая в эту зону, будет обрабатываться менее эффективно, так как скорость резания в исследуемом процессе эквивалентна скорости относительного перемещения детали и обрабатывающих тел.

Ударное воздействие рабочих тел на удаленные от центра масс участки обрабатываемой поверхности будет уменьшаться, соответственно эффективность обработки также будет снижаться.

При обработке полированной поверхности уголка вначале возникает большое количество наколов, максимально проявляется эффект образования «навалов», затем происходит постепенное выравнивание поверхности и затем формирование стабильной шероховатости (рис. 7).

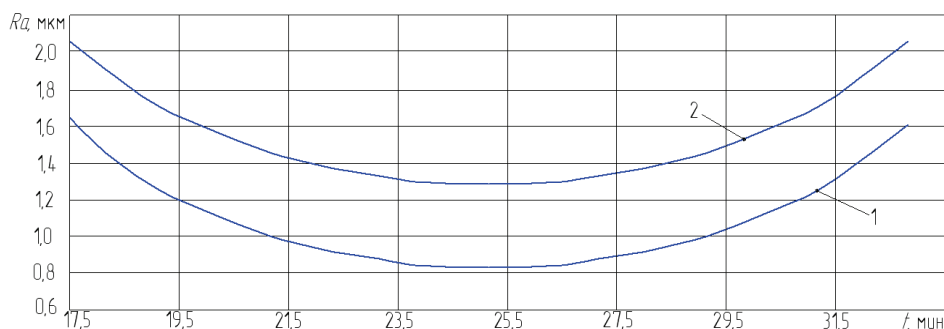


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности от времени обработки:

1 – при $\alpha = 120^\circ$; 2 – при $\alpha = 126,2^\circ$

Таким образом, полученные модели позволяют определить время, необходимое для формирования требуемой шероховатости в зонах нестабильной обработки. Это позволяет прогнозировать эффективность обработки детали сложной формы и прогнозировать шероховатость поверхности.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– эффективность объемной центробежно-планетарной обработки зависит не только от геометрических характеристик обрабатываемых деталей, но и от размеров рабочих тел, которые оказывают влияние как на производительность обработки, так и на качество обработанной поверхности;

– получена математическая модель, которая позволяет оценить влияние на шероховатость поверхности основных технологических факторов.

Список литературы

1. **Мартынов, А. Н.** Способ обработки деталей и устройство для его осуществления / А. Н. Мартынов [и др.] // А.с. 1627382 СССР, МКИ⁵ В24В 31/104. (СССР); Оpubл. 1991. – Бюл. № 6.
2. **Ящерицын, П. И.** Планирование эксперимента в машиностроении : справ. пособие / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Мн. : Высшая школа, 1985. – 286 с.

3. **Зверовщиков, В. З.** Определение скорости резания при объемной центробежно-планетарной обработке / В. З. Зверовщиков, А. Н. Мартынов, А. Е. Зверовщиков // Вестник машиностроения. – 1996. – № 9. – С. 25–27.
-

Зверовщиков Владимир Зиновьевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой технологии
машиностроения, Пензенский
государственный университет
E-mail: topr@pnzgu.ru

Zverovshchikov Vladimir Zinovyevich
Doctor of engineering sciences,
professor, head of sub-department
of mechanical engineering,
Penza State University

Понукалин Андрей Владимирович
инженер-конструктор, НИКИРЭТ –
филиал ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт»
им. М. В. Проценко» (г. Заречный)

Ponukalin Andrey Vladimirovich
Design engineer, Research and Design
Institute of Radioelectronics (NIKIRET) –
affiliated branch of the Federal Research
and Production Center “Start”
named after M. V. Protsenko (Zarechny)

E-mail: hon3112@mail.ru

Зверовщиков Александр Евгеньевич
кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии машиностроения,
Пензенский государственный
университет
E-mail: azwer@mail.ru

Zverovshchikov Alexander Evgenyevich
Candidate of engineering sciences,
associate professor, sub-department
of mechanical engineering,
Penza State University

УДК 621.924.

Зверовщиков, В. З.

О формировании шероховатости поверхности на труднодоступных участках профиля детали при объемной центробежной обработке гранулированными средами / В. З. Зверовщиков, А. В. Понукалин, А. Е. Зверовщиков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 3 (15). – С. 114–122.