

УДК 621.923.9

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДИСКОВЫМИ АБРАЗИВНЫМИ ЩЕТКАМИ

канд. техн. наук Д.Ф. УСТИНОВИЧ

(ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск)

Приведены результаты экспериментального исследования влияния основных технологических факторов обработки и конструктивных характеристик дисковых абразивных щеток на шероховатость поверхности коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т и сплава АМг5. Разработаны схема обработки и устройство для ее реализации, обеспечивающие задание угла $\varphi = 0 \dots 90^\circ$ между вектором подачи обрабатываемой поверхности и плоскостью вращения инструмента. Установлено, что за счет изменения скорости резания, величины подачи, зернистости абразива, количества ходов, величины радиальной деформации инструмента и его разворота относительно направления подачи детали можно обеспечить получение заданных значений параметра Ra шероховатости в достаточно широком диапазоне значений (0,23...2,33 мкм). Показано, что увеличение угла φ от 0 до 36° сопровождается существенным уменьшением Ra для всех исследуемых значений технологических факторов обработки. Сделан вывод о возможности управления параметрами качества поверхности посредством выбора рациональных технологических режимов обработки по предлагаемой схеме.

Введение. Физико-механические характеристики поверхностного слоя, формируемые в результате технологического процесса изготовления деталей машин, в значительной степени определяют их эксплуатационные свойства. Установлено, что шероховатость поверхности является одной из важнейших характеристик качества поверхностного слоя [1, 2]. Поэтому остается актуальной проблема разработки новых технологических методов, обеспечивающих повышение качества обработки, снижение эксплуатационных затрат, обладающих производительностью и экологической безопасностью [3, 4].

Применение финишной обработки полимерно-абразивными волоконными композитами позволило увеличить интенсивность массового абразивного микрорезания по сравнению с обработкой жестким инструментом, повысить производительность обработки и расширить технологические возможности отделочно-зачистных операций. Съем материала и формирование шероховатости поверхности производится абразивными компонентами композитов за счет наличия силового воздействия волокон и относительных перемещений детали и инструмента (вращательных, поступательных или осциллирующих). Метод характеризуется низкими температурами (310...430 К) и удельными давлениями (0,2...1,2·10⁵ МПа), позволяющими повысить эксплуатационные характеристики изделий и исключая образование в поверхностном слое прижогов, микротрещин, задигов, а также универсальностью и простотой реализации в условиях различных типов производств [5, 6].

Цель работы – исследование влияния технологических параметров процесса обработки и характеристик дискового полимерно-абразивного инструмента на шероховатость плоских поверхностей.

Методика исследований. Исследования проводились по схеме обработки, приведенной на рисунке 1, а, предполагающей наличие вращательного движения дискового инструмента 1, поступательного перемещения образца 2, а также задание некоторого угла φ между вектором подачи обрабатываемой поверхности и плоскостью вращения инструмента. Экспериментальная установка для реализации схемы обработки (рис. 1, б), размещенная на базе горизонтально-фрезерного станка мод. 6М82, состояла из обрабатывающего модуля с приводом вращения инструмента, поворотного механизма и устройства крепления заготовок.

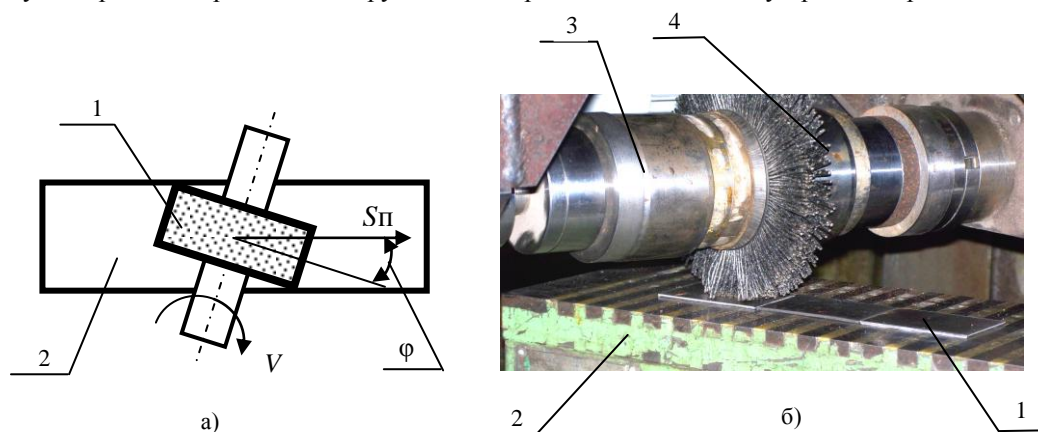


Рис. 1. Схема обработки (а) и рабочая зона экспериментальной установки (б)

Установка позволяла осуществлять вращение дисковой абразивной щетки, её разворот относительно вертикальной оси и поступательное перемещение образцов. При этом угол φ обеспечивался за счет разворота диска вокруг нормали к обрабатываемой поверхности, проходящей через точку контакта. Комплект образцов 1 устанавливали в оправку, которую располагали на магнитной плите 2, размещенной на столе станка. Обрабатывающий модуль 3 вместе с инструментом 4 разворачивали на требуемый угол с шагом 6° , определяемый по лимбу, и фиксировали его в этом положении. Образцам 1 сообщали поступательное перемещение, а дисковому инструменту 3 – вращательное движение вокруг собственной оси вращения. При этом волокна инструмента 4 совершали силовое абразивное воздействие на поверхность перемещающихся образцов 1. В каждой серии опытов обрабатывалась партия из 3 образцов. При обработке были приняты следующие значения технологических параметров: окружная скорость вращения инструмента (скорость резания) $V = 7,0; 14,0$ м/с; величина натяга (радиальной деформации) инструмента $\delta = 1 \dots 4$ мм; количество ходов $i = 1 \dots 21$; величина подачи образцов $S_{\Pi} = 100, 315, 500$ мм/мин. Использовались образцы размером $1 \times 50 \times 50$ мм. Исходная шероховатость поверхности образцов и свойства материалов образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства образцов

Материал	Твердость, <i>HV</i>	Шероховатость поверхности <i>Ra</i> исх., мкм	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести σ_T ($\sigma_{0,2}$), МПа	Относительное удлинение δ , %
12X18H10 ГОСТ 5949-75	236...265	0,453...0,588	510	196	40
AMg5 ГОСТ 13726-97	62...65	0,421...0,472	275	145	15

В качестве инструмента использовали дисковые щетки из полимерно-абразивного волокна диаметром 125 мм, шириной 12 мм, с величиной вылета ворса 25 мм, материал полимерной матрицы – полиамид ПА-6 [4, 6]. В качестве абразивного модификатора волокна применялся карбид кремния зеленый зернистостью $\Delta = 60; 160; 320$ мкм, концентрация которого составляла 24...32 %. Значения весового съема определяли на весах ВЛА-200М, шероховатость поверхности – на профилографе-профилометре мод. 252. Процесс обработки изучался с позиций обеспечения качества поверхностного слоя, за критерий которого была принята величина параметра *Ra* шероховатости поверхности. Измерение шероховатости осуществляли в направлении, перпендикулярном направлению подачи.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований представлены на рисунках 2 – 7. Анализ полученных результатов показывает, что для рассматриваемого метода обработки плоских поверхностей величина шероховатости поверхности образцов зависит от угла φ между векторами подачи и окружной скорости инструмента, зернистости абразивного модификатора Δ , величины натяга инструмента δ , скорости резания *V*, величины подачи S_{Π} и количества ходов *i*.

При значении угла $\varphi = 0^\circ$, характерном для традиционной обработки дисковым абразивным инструментом, с ростом количества ходов до $i = 6 \dots 9$ наблюдается уменьшение величины *Ra* (рис. 2).

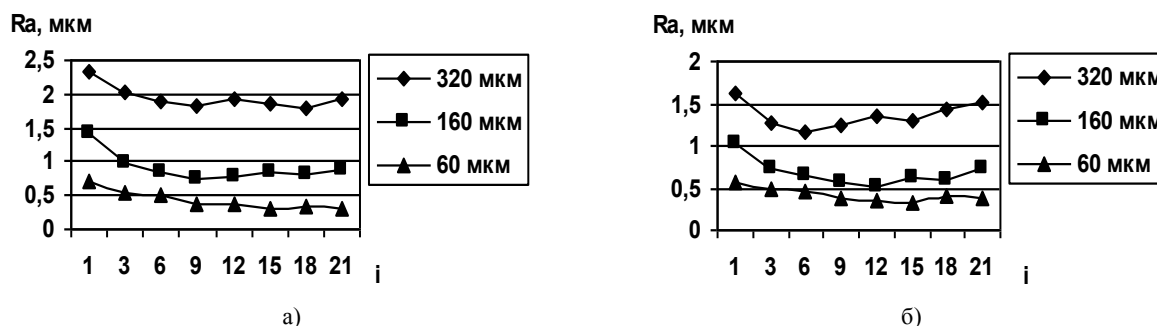


Рис. 2. Влияние количества ходов *i* на шероховатость поверхности при $\varphi = 0^\circ$:
а – AMg5; б – 12X18H10T

Дальнейшее увеличение *i* сопровождается стабилизацией значений параметра *Ra* или его некоторым возрастанием при обработке щетками исследуемых зернистостей, при этом увеличение зернистости модификатора приводит к росту значений шероховатости. Например, при обработке стали 12X18H10T щетками зернистостью 60 мкм и 320 мкм значения шероховатости поверхности отличаются в 2,49...4,09 раза, сплава AMg5 – в 3,28...5,98 раза. Это свидетельствует о необходимости снижения зернистости абразива с целью повышения качества поверхности и нецелесообразности использования многопроходной обработки (свыше $i = 6 \dots 9$) по критериям ухудшения качества и снижения производительности.

В отличие от традиционного, встречного или попутного, шлифования периферией круга, использование разворота инструмента относительно направления подачи детали приводит к изменению кинематических и динамических условий взаимодействия между ним и обрабатываемой поверхностью, уменьшению радиальной составляющей силы резания, изменению характера и ориентации поверхностных остаточных напряжений [7]. Процессы абразивного воздействия, упругой и пластической деформации поверхности, формирования рисок осуществляются под некоторым углом к направлению подачи, что обусловлено изменением направления вектора силового воздействия. Увеличение угла φ от 0 до 36° (рис. 3, а) сопровождается уменьшением Ra для всех исследуемых значений зернистости при обработке стали 12X18H10T, например, с 1,63 до 0,59 мкм, или в 2,76 раза ($\Delta = 320$ мкм); с 1,04 до 0,28 мкм, или в 3,71 раза ($\Delta = 160$ мкм); с 0,58 до 0,19, или в 3,05 раза ($\Delta = 60$ мкм). Существенное снижение Ra в 2,19 раза ($\Delta = 320$ мкм), в 2,13 раза ($\Delta = 160$ мкм) и в 1,73 раза ($\Delta = 60$ мкм) наблюдается уже при угле $\varphi = 18^\circ$ (сплав АМг5, рис. 3, б).

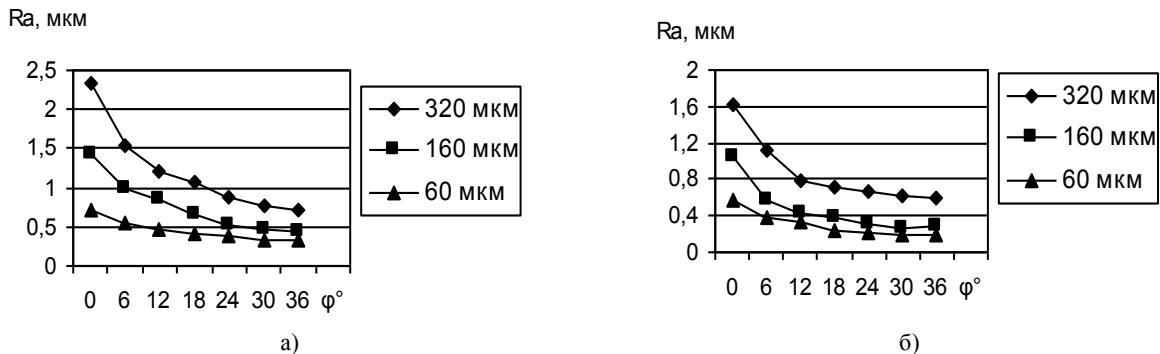


Рис. 3. Влияние угла разворота φ и зернистости абразива Δ на шероховатость поверхности при $S_n = 315$ мм/мин, $\delta = 1,0$ мм, $V = 14,0$ м/с:
а – АМг5; б – 12X18H10T

Таким образом, при одинаковых условиях шлифования за счет изменения только величины угла разворота инструмента можно получить различные значения параметров шероховатости поверхности.

Влияние угла наклона φ на шероховатость поверхности при различном числе ходов представлено на рисунке 4, а, б.

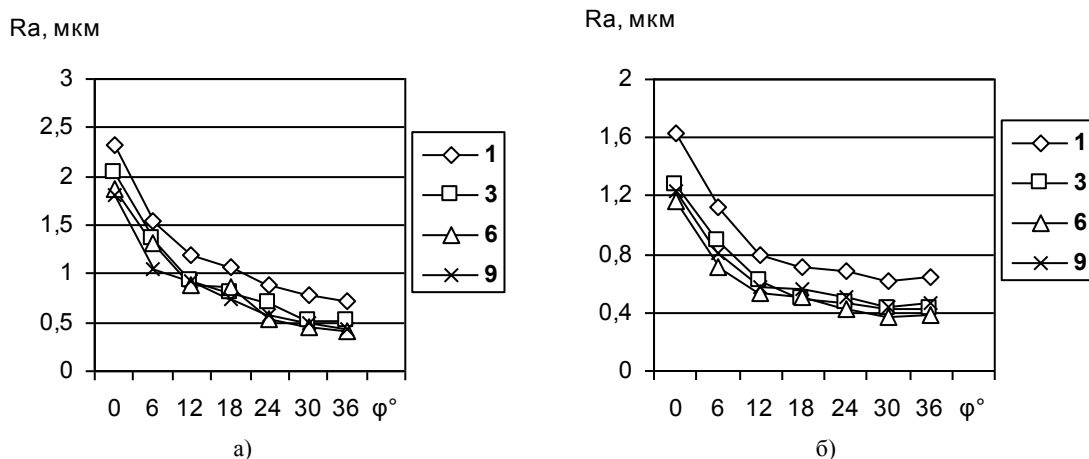


Рис. 4. Влияние угла наклона φ на шероховатость поверхности при $\Delta = 320$ мкм, $S_n = 315$ мм/мин, $\delta = 1,0$ мм, $V = 14,0$ м/с ($1 - i = 1$; $2 - i = 3$; $3 - i = 6$; $4 - i = 9$):
а – АМг5; б – 12X18H10T

При однопроходной обработке инструментом зернистостью 320 мкм наблюдается уменьшение характеристик микрорельефа поверхности во всем диапазоне изменения угла φ . С ростом количества ходов происходит уменьшение влияния угла разворота на снижение шероховатости, что вызвано усилением влияния конкурирующего процесса формирования развитой шероховатости поверхности. Это объясняется ударным действием волокон на обрабатываемую поверхность, дискретностью и эластичностью режущего контура инструмента. Увеличение количества ходов свыше $i = 6$ не приводит к существенному изменению высоты микронеровностей.

Обработка при изменении натяга от 1 до 4 мм и количестве ходов $i = 1 \dots 5$ приводит к снижению шероховатости, что объясняется увеличением силового воздействия и площади сектора полирующего

воздействия щетки в зоне контакта инструмент – поверхность (рис. 5). При данной величине вылета ворса (25 мм) наибольшее снижение шероховатости наблюдается при $\delta = 3 \dots 4$ мм. Дальнейшее увеличение δ не приводит к существенному уменьшению шероховатости. Рост натяга инструмента δ в указанном диапазоне сопровождается снижением значений Ra для сплава АМг5 с 0,99 до 0,81 мкм, или в 1,22 раза ($i = 2$), с 0,93 до 0,89 мкм, или в 1,05 раза ($i = 3$) и с 0,67 до 0,44 мкм, или в 1,41 раза ($i = 5$). При обработке стали 12Х18Н10Т зафиксировано уменьшение Ra с 0,71 до 0,45 мкм, или в 1,56 раза ($i = 3$) и с 0,58 до 0,39 мкм, или в 1,49 раза ($i = 5$).

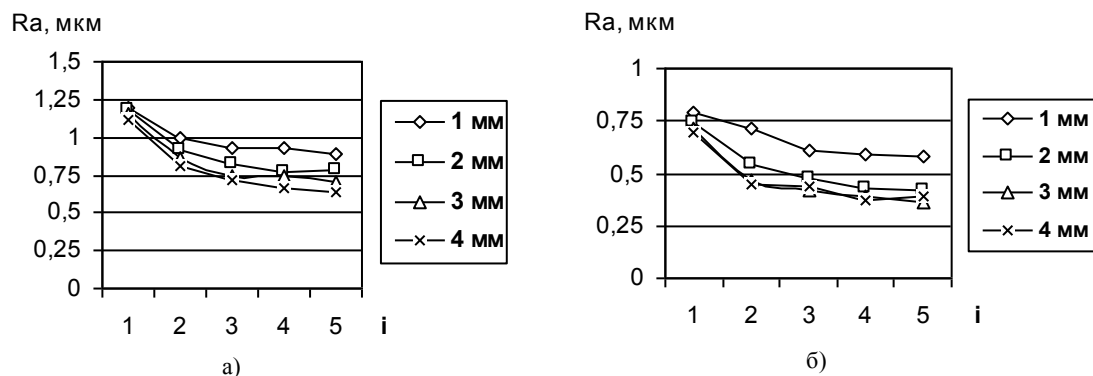


Рис. 5. Влияние натяга δ на шероховатость поверхности при $i = 1 - 5$, $\varphi = 12^\circ$, $\Delta = 320$ мкм, $S_{II} = 315$ мм/мин, $V = 14,0$ м/с: а – АМг5; б – 12Х18Н10Т

При увеличении скорости резания в 2 раза (с 7,0 м/с до 14,0 м/с) при обработке сплава АМг5 шероховатость поверхности снижается в 1,46...1,79 раза ($\Delta = 320$ мкм) и в 1,33...1,65 раза ($\Delta = 160$ мкм), при обработке стали 12Х18Н10Т – в 1,26...1,58 раза ($\Delta = 320$ мкм) и в 1,24...1,52 раза ($\Delta = 160$ мкм). Снижение шероховатости поверхности при увеличении V объясняется увеличением общего количества ударных воздействий и микросрезов материала, следы которых затем сглаживаются и пластически деформируются ворсом щетки в зоне скольжения. Возрастание длины пути абразивных зерен в единицу времени интенсифицирует указанные явления (рис. 6, а, б). Увеличение зернистости абразивного модификатора с $\Delta = 160$ мкм до $\Delta = 320$ мкм приводит к росту значений шероховатости поверхности стали 12Х18Н10Т (рис. 6, б) для всех исследованных значений скорости резания – соответственно с 0,55...0,34 мкм до 0,93...0,62 мкм, или в 1,69...1,98 раза ($V = 7,0$ м/с); и с 0,42...0,26 мкм до 0,74...0,42 мкм, или в 1,62...1,92 раза ($V = 14,0$ м/с).

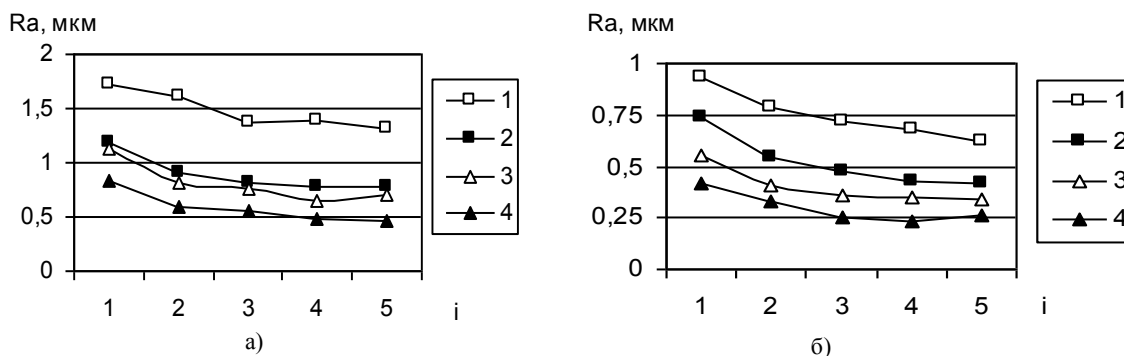


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности от скорости резания при $\varphi = 12^\circ$, $\delta = 2,0$ мм, $S_{II} = 315$ мм/мин (1 – $V = 7,0$ м/с, $\Delta = 320$ мкм; 2 – $V = 14,0$ м/с, $\Delta = 320$ мкм; 3 – $V = 7,0$ м/с, $\Delta = 160$ мкм; 4 – $V = 14,0$ м/с, $\Delta = 160$ мкм): а – АМг5; б – 12Х18Н10Т

Следует отметить, что увеличение размера зерна абразивного модификатора сопровождается пропорциональным увеличением диаметра волокна полимерно-абразивного композита. Это вызывает возрастание давления на обрабатываемую поверхность и повышение сил резания [8]. Волокна большего диаметра входят в зону резания с ударом, сопровождающимся отскоком и вибрацией, что обусловлено повышенной жесткостью волокна. Следствием этого является возрастание глубины внедрения зерен в обрабатываемый материал.

С ростом продольной подачи от 100 мм/мин до 500 мм/мин шероховатость поверхности увеличивается для всего исследованного диапазона ходов при обработке сплава АМг5 – с 0,89 до 1,78 мкм ($i = 1$), с 0,66 до 1,39 мкм ($i = 3$), с 0,56 до 1,07 мкм ($i = 5$); стали 12Х18Н10Т – соответственно с 0,52 до 1,23 мкм, ($i = 1$), с 0,38 до 0,62 мкм ($i = 3$), с 0,34 до 0,59 мкм ($i = 5$). Зависимости имеют одноподобный характер, количественные показатели которых определяются различием физико-механических свойств исследуемых материалов (рис. 7).

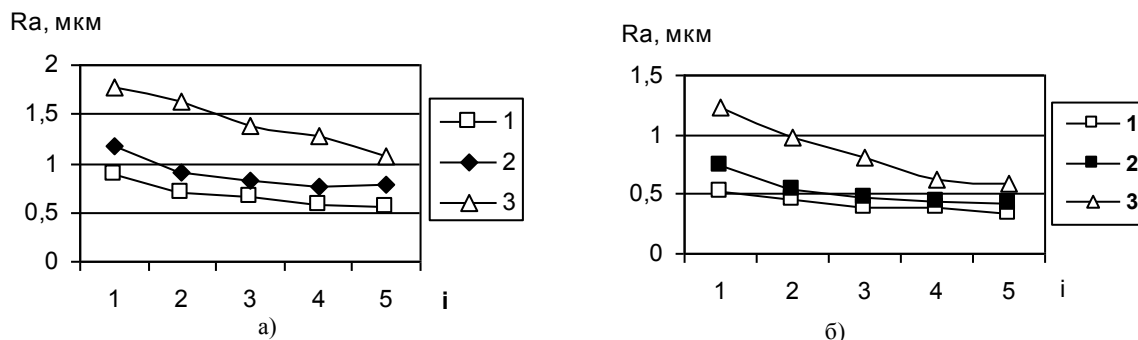


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности от величины подачи S_p при $\varphi = 12^\circ$, $\delta = 2,0$ мм, $V = 14,0$ м/с; $\Delta = 320$ мкм (1 – $S_p = 100$ мм/мин; 2 – $S_p = 315$ мм/мин; 3 – $S_p = 500$ мм/мин): а – АМг5; б – 12Х18Н10Т

Полученные результаты объясняются возрастанием количества формообразующих взаимодействий абразивных зерен и полимерной матрицы с поверхностью в единицу времени, что сопровождается интенсификацией пластической деформации и превалированием выглаживания в зоне обработки, и свидетельствуют о предпочтительности снижения продольной подачи с целью минимизации параметров микрорельефа поверхности.

Выводы. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что на шероховатость плоских поверхностей образцов из сплава АМг5 и стали 12Х18Н10Т существенное влияние оказывает величина угла разворота дискового полимерно-абразивного инструмента относительно направления подачи заготовки. За счет изменения основных технологических параметров обработки (скорости резания, величины подачи, зернистости абразива, количества ходов и величины натяга) можно обеспечить получение заданных значений параметра Ra шероховатости поверхности в достаточно широком диапазоне значений (0,23...2,33 мкм). Установленные закономерности формирования характеристик микропрофиля являются основой для совершенствования технологии и оборудования для обработки плоских поверхностей деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжов, Э.В. Контактное взаимодействие твердых тел при статических и динамических нагрузках / Э.В. Рыжов, Ю.В. Колесников, А.Г. Сулов. – Киев: Наукова думка, 1987. – 160 с.
2. Горохов, В.А. Технология обработки материалов: учеб. пособие / В.А. Горохов. – Минск: Бел. наука, 2000. – 438 с.
3. Горохов, В.А. Способы упрочняюще-отделочной обработки материалов / В.А. Горохов, Н.В. Спиридонов. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 96 с.
4. Устинович, Д.Ф. Эластичный абразивный инструмент для отделочно-зачистной обработки / Д.Ф. Устинович // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Минск, 3 – 5 окт. 2007 г.; ГНУ «ФТИ НАНБ». – Минск, 2007. – С. 142 – 146.
5. Устинович, Д.Ф. Классификация методов обработки полимерно-абразивными волоконными композициями / Д.Ф. Устинович // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 13 – 17 сент. 2004 г.: в 4-х т. / ДонНТУ. – Донецк, 2004. – Т. 3. – С. 198 – 200.
6. Устинович, Д.Ф. Эластичный полимерно-абразивный инструмент с дискретным режущим контуром / Д.Ф. Устинович, В.И. Прибыльский, А.Г. Мочайло // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. 15 междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 15 – 20 сент. 2008 г.: в 4-х т. / ДонНТУ. – Донецк, 2008. – Т. 3. – С. 241 – 244.
7. Яркович, В.М. Косоугольное шлифование маложестких деталей / В.М. Яркович // Прогрессивные технологии обработки маложестких деталей: тез. обл. междунар. науч.-техн. конф., Тольятти, 12 – 13 мая 1987 г.; ТПИ. – Тольятти, 1987. – С. 85 – 86.
8. Устинович, Д.Ф. Прогрессивная технология удаления заусенцев эластичным инструментом / Д.Ф. Устинович, В.И. Прибыльский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. – 2005. – № 6. – С. 135 – 139.

Поступила 29.04.2009