

На правах рукописи

Елин Андрей Владимирович

**Повышение эффективности и качества обработки
полимербетонов шлифованием (на примере синтегран)**

Специальность 05 03 01 – Технология и оборудование механической
и физико-технической обработки

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2008



Работа выполнена в ГОУ ВПО "Российском университете дружбы народов"

Научный руководитель

Рогов Владимир Александрович

доктор технических наук, профессор
Зав Кафедрой технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
ГОУ ВПО "Российский университет дружбы народов"

Официальные оппоненты

Балыков Александр Викторович

доктор технических наук, профессор
Кафедры «инструментальная техника
и технологии формообразования»
Московского государственного технологического
университета «Станкин»

Гришин Виктор Михайлович

зав отделом ОАО «ЭНИМС», к т н , доцент

Ведущая организация

ОАО «Красный Пролетарий»

Защита состоится "23" сентября 2008 г в 13 00 часов на заседании диссертационного совета Д212 203 16 в Российском университете дружбы народов по адресу 113090, г Москва, Подольское шоссе, д 8/5, аудитория П 109

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского университета дружбы народов (117198 г Москва, ул Миклухо-Маклая, д 6)

Автореферат разослан "8" сентября 2008 г

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент



В В Соловьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в машиностроении все большее распространение приобретают новые композиционные материалы. Они имеют ряд преимуществ перед обычными конструкционными материалами: более легкие по сравнению со сталью и чугуном, не проводят электрический ток, не подвержены коррозии, имеют высокие демпфирующие свойства. Так же эти материалы более технологичны, т.к. компоненты не требуют плавления, заготовки получаются более точными и ниже по стоимости.

Таких материалов в последнее время появляется все больше. Они имеют различный химический состав, но обладают рядом сходных параметров. В основном эти материалы состоят из наполнителя, либо армирующих частиц, и связующего. Армирующие элементы могут иметь различную пространственную ориентацию. Одним из таких материалов является синтегран.

Синтегран применяется для изготовления базовых деталей практически всех типов станков и в первую очередь, особо точных, вместо блоков натурального гранита, при изготовлении деталей специальных станков, оснований измерительной техники, приборов и другого оборудования, деталей, к материалам которых предъявляют особые требования – например немагнитность, коррозионная стойкость, малая теплопроводность.

Выполненные из синтегрana детали обладают повышенной по сравнению с чугуном виброустойчивостью, высокой размерной стабильностью в результате чего увеличивается производительность станка, повышается стойкость режущего инструмента (особенно керамического) и главное возрастает класс точности обработки. При этом снижается трудоемкость механической обработки базовых деталей за счет уменьшения припусков на обработку рабочих поверхностей и получения заготовок с уже готовыми резьбовыми отверстиями для крепления сопряженных деталей.

Но так как в процессе литья мы не можем получить отвечающую ТУ заготовку, возникает необходимость механической обработки: шлифование, фрезерование, полирование, доводка, шабрение. Одним из наиболее эффективных методов обработки является плоское шлифование. Эта обработка необходима на поверхностях сопряжения, поверхностях с закладными элементами, столах высокоточных станков и контрольно-измерительных машин.

Но данный процесс обработки синтегрana малоизучен и сильно отличается от обработки металлов, это объясняется природой материала.

Процесс шлифования данного материала представляет собой совокупность хрупкого разрушения с упруго-пластической деформацией. Учитывая, что основным элементом материала является щебень, который подвергается хрупкому разрушению, естественно будет то, что для построения математической модели процесса резания будет использована теория хрупкого разрушения.

Целью работы является обеспечение требуемого качества обработанной поверхности изделий из полимербетонов путем автоматизированного подбора режимов шлифования

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи

- Провести анализ литературных источников по строению, физико-механическим свойствам и обработке полимербетонов, используемых в станкостроении,
- Разработать алгоритмы и компьютерные программы для проведения анализа процесса шлифования полимербетонов и визуализации результатов на ЭВМ,
- Разработать методику и экспериментальный стенд для исследования процесса шлифования заготовки из полимербетона,
- Провести экспериментальные исследования по выявлению влияния параметров режимов шлифования на значение величины микронеровностей
- Провести экспериментальные исследования по выявлению влияния параметров резания на плоскостность шлифованной поверхности обработанной детали
- Подготовить рекомендации для выбора режимов резания и инструмента
- Подготовить рекомендации для выбора режимов резания

Методы исследования Решение поставленных задач осуществлялось проведением теоретических и экспериментальных исследований, разработкой технологических решений и практическим применением полученных результатов. Теоретико-экспериментальные исследования заключались в выявлении совокупного влияния технологических факторов на качество обработанной поверхности шлифованием. Использовались основные положения теории упругости, пластичности, технологии хрупких материалов, физических методов обработки.

Научная новизна Дано экспериментально-теоретическое обоснование влияния параметров шлифования на качество обработанной поверхности детали из полимербетона.

Предложена и реализована математическая модель для прогнозирования значения шероховатости обработанных полимербетонов в зависимости от свойств материала, параметров инструмента и режимов шлифования.

Разработана методика автоматизированного расчета режимов шлифования полимербетонов для обеспечения заданных параметров обработанной поверхности.

Практическая полезность Разработаны практические рекомендации по назначению режимов шлифования полимербетонов для обеспечения заданных значений шероховатости поверхности.

Разработан экспериментальный стенд для определения составляющих сил резания при шлифовании.

Разработан экспериментальный стенд для определения отклонения от плоскостности поверхности заготовки.

Рекомендации внедрены на производственных предприятиях, что подтверждено актом внедрения

Реализация и апробация работы Отдельные разделы работы и работа в целом обсуждалась на заседаниях кафедры Технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов РУДН, на научно-технических конференциях Инженерного факультета РУДН в 2006-2008 гг. Современные технологии в машиностроении IX Международная научно-практическая конференция Пенза, 2005 г. Современные технологии в машиностроении XI Международная научно-практическая конференция Пенза, 2007 г.

Публикации. По данной работе опубликовано 6 работ

Структура и объем работы. Диссертация, включая введение, четыре главы, выводы, рекомендации и приложения составляет 186 страниц машинописного текста, в том числе 76 рисунков, 28 таблиц, 10 приложений и список цитируемой литературы из 126 наименований

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и основные направления исследований

В первой главе проведен анализ литературы по обработке композиционных материалов шлифованием, который показал, что данная тема мало изучена. Отдельной частью рассмотрена обработка хрупких неметаллических материалов, таких как стекло.

Проведен анализ применяемого инструмента для обработки

Анализ показывает, что с целью повышения эффективности обработки необходимо увеличить фактическую площадь контакта и подбирать параметры инструмента. Одним из таких параметров является опорная кривая. Параметры опорной кривой можно уменьшить, повышая зернистость и уменьшая концентрацию алмазов, увеличивая пористость связок. При обработке стекол есть рациональные области применения алмазов различной зернистости. Концентрация алмазов так же оптимизируется условиями обработки. Так, при черновом шлифовании наиболее рациональная концентрация алмазов во вставках 75-100% (3-4 по ГОСТ 16181-82Е). Фактическую площадь контакта, абсолютное сближение поверхностей и контактную податливость кругов наиболее эффективно можно увеличивать, повышая модуль упругости корпуса круга.

Есть устройства и процессы, которые различными методами обеспечивают постоянство силы P_v при шлифовании. Но из-за своего несовершенства эти системы не получили распространения в машиностроении. На практике эти устройства применяются для исследования процессов резания. В оборудовании электронной промышленности для шлифования используют станки, где поддерживается постоянное усилие прижима инструмента к детали. Обычно это схема торцевого шлифования, по

которой обрабатывают полупроводниковые пластины, различную керамику и стекла

Применение при шлифовании экранов кинескопов эластичных или композиционных алмазных кругов с прерывистой рабочей поверхностью сделало этот процесс более производительным. Однако качество предварительной обработки получается невысокое, компенсируют это последующими длительными операциями доводки. Для такого производства характерен высокий расход алмазов, в пределах 0,8-1,2 мг/г.

Придание наклона дискретной рабочей поверхности, состоящей из запрессованных в эластичную матрицу алмазоносных элементов, что присуще кругам типа АТЭ, способствует равномерности износа элементов.

Установлено, что для обработки неметаллических материалов типа керамики, ферритов, полупроводников, стекол следует использовать алмазный шлифовальный инструмент с прерывистой рабочей поверхностью. Так прерывистое шлифование неметаллов более производительное. По сравнению с обработкой непрерывной алмазоносной поверхностью оно обеспечивает снижение на 30-50 % сил резания и на 40-50% температуры шлифования.

В данном обзоре литературы затронуты только некоторые проблемы методически связанные с темой диссертации. Анализ этих публикаций показал, что существуют определенные проблемы, прояснение которых способствовало бы дальнейшему развитию теории и практики применения структурно-неоднородных материалов в станкостроении.

В конце главы поставлены цель и задачи, поставленные для достижения данной цели.

Вторая глава посвящена методикам исследования шероховатости. Рассмотрены основные методы определения шероховатости.

- контактные,
- бесконтактные

Описаны методики, по которым работают приборы, построенные использующие данные методы.

Рассмотрены щуповой метод измерения поверхности. Описаны его устройство, методы работы, области применения и различные модификации с техническими характеристиками. Также рассмотрены бесконтактные методы.

Во-первых это методы светового сечения, теневого сечения, микроинтерференционные, с применением растров. Описаны принципы действия этих методов, представлены схемы данных методов (рис 1 и рис 2).

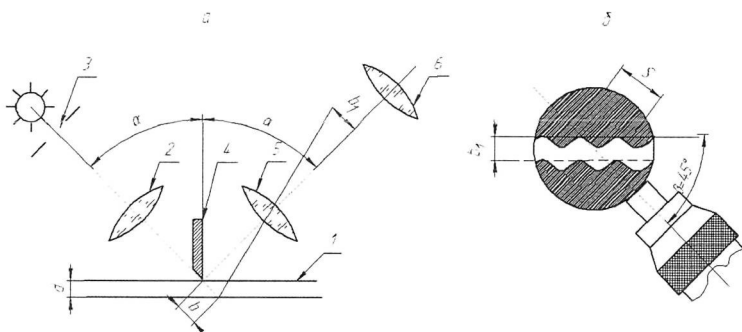


Рис.1. Схема для определения шероховатости методом светового сечения



Рис.2. Схема искривления интерференционных полос микроинтерференционного метода.

Во-вторых рассмотрено лазерное профилометрирование на базе профилографа-профилометра «ДЕДАЛ-ЛСПП» рис.3. Описаны принципы работы, точность и области применения.

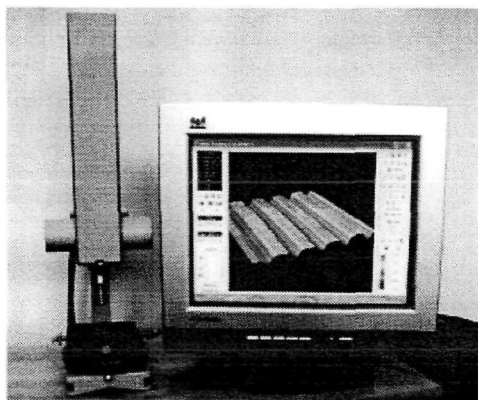


Рис.3. Профилограф-профилометр «ДЕДАЛ-ЛСПП».

По результатам анализа установлено, что для измерения шероховатости у минералов предпочтительней применение оптических методов контроля, так как минералы могут иметь трещины в которые при контактном методе измерения могут западать измерительные иглы и пирамиды. В частности

самым современным методом является лазерное профилометрирование. Которое и применялось в данной работе для определения значения шероховатости.

Третья глава посвящена моделированию исследуемого процесса резания синтетгранов в зависимости от режимов резания.

В работе представлена математическая модель зависимости шероховатости и величины нарушенного слоя обработанной поверхности композиционных материалов от режимов резания. Выведены формулы расчетов площадей контакта инструмента с заготовкой. Определены составляющие сил резания.

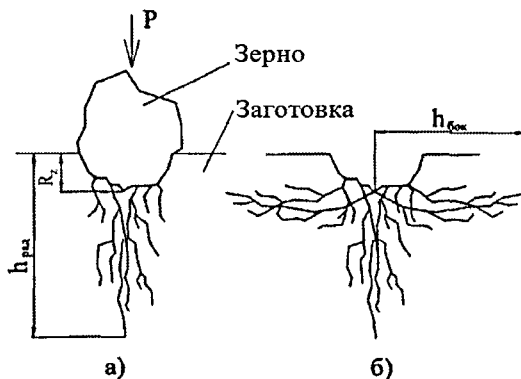


Рис 4. Схема образования нарушенного слоя при наложении (а) и снятии (б) нагрузки на абразивное зерно.

Определена зависимость прогнозирования значения шероховатости R_z в зависимости от режимов резания, параметров инструмента и обрабатываемого материала.

$$R_z = \sqrt[3]{\frac{[9 P^2 (1 - \mu^2)]^2}{16 R_{аб} E^2}} \quad (1)$$

где μ – коэффициент Пуассона полимербетона, МПа 10^4

E – модуль упругости полимербетона,

$R_{аб}$ – радиус абразивного зерна, мкм

P – сила действующая на единичное зерно, Н

$$P = \frac{P_x}{S_{кон} n_p} \quad (2)$$

где P_x – сила действующая на площадь контакта, Н

$S_{\text{кон}}$ – площадь контакта режущей кромки круга с заготовкой, мм²

n_p – количество режущих зерен на единице площади, 1/мм²

Для определения силы P_x используется формула

$$P_x = 3 \cdot 72 \cdot C_z \cdot R \cdot t \cdot \frac{S}{V_K} \quad (3)$$

где C_z – коэффициент (для синтетрана $C_z=180-200$) МПа,

t – глубина резания, мм,

S – продольная подача, м/мин,

V_K – скорость резания, м/с

Количество режущих зерен n_p на единице площади 1мм² определяется по формуле

$$n_p = \frac{\sqrt[3]{\left[\frac{10^9 \cdot k \cdot 3}{400 \cdot \pi \cdot b_1^2 \cdot b_2 \cdot 4} \right]^2}}{5} \quad (4)$$

где k – концентрация алмаза в инструменте, %,

b_1 и b_2 – длины малой и большой оси эллипсоида соответственно, мкм

Для определения величины нарушенного слоя использовались формулы 5

и 6

$$h_{\text{бок}} = \sqrt{\frac{(E/H_\mu)^{3/4}}{K_{\text{IC}} \cdot H_\mu^{1/4}}} \cdot P^{5/8} \cdot (\text{ctg} \varphi)^{5/6} \quad (5)$$

где H_μ – микротвердость, МПа,

φ – угол при вершине, град ,

K_{IC} – критический коэффициент интенсивности напряжений

$$K_{\text{IC}} = \sqrt{\frac{2E\gamma}{1-\mu^2}}, \quad \gamma = \frac{G_k}{2},$$

где G_k – вязкость разрушения, определяющая способность материала сопротивляться распространению трещины, Дж/м²,

$$h_{\text{pad}} = \frac{H_\mu \alpha \Psi P}{2\gamma \beta^2 E}, \quad (6)$$

где $\Psi=(1-\mu^2)(1-2\mu)^2/2\pi^4$ – безразмерная упругая постоянная, α –

постоянная, зависящая от формы зерна, $\alpha=2/\pi$, $\beta=\left(\frac{E}{3(1-\mu)\sigma_r}\right)^{1/3}$ –

относительная величина, определяющая размеры пластической зоны (рис 3 2),

σ_r – предел текучести материала заготовки, МПа

Толщина нарушенного слоя после царапания единичным зерном равна максимальному значению или боковой трещины, образовавшейся под действием силы P_y , или радиальной, образовавшейся под действием силы P_x

При переходе от рассмотрения процесса образования нарушенного слоя при воздействии одного абразивного зерна к образованию нарушенного слоя от группы зерен, необходимо ввести некоторые коррективы. Это связано с тем, что в канавку, процарапанную одним зерном, попадает другое зерно, которое вызывает скачкообразное увеличение трещины (если сила, с которой действует это зерно, превышает силу страгивания P_c трещины, т.е. $P > P_c$) на величину a

$$P_c = \left[\frac{32\pi K R \gamma}{3(1-\mu^2)^2(1-2\mu)^2(1-\mu^2)} \right] \left(\frac{y^4}{a^3} \right), \quad (7)$$

$$\text{где } a = \left(\frac{4KPR}{3E} \right)^{1/3}, \quad K = \frac{9}{16} \left[(1-\mu^2) + (1-\mu_1) \frac{E}{E_1} \right],$$

где μ_1 , E_1 – соответственно коэффициент Пуассона и модуль упругости алмаза

Если сила прижима абразивных зерен к хрупкому телу превышает силу страгивания трещины P_c , то первоначальная трещина скачкообразно увеличивается на величину a и, следовательно, увеличивается толщина нарушенного слоя

$$h_{nc} = h_{e3} + a, \quad (8)$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{4KPR}{3E}}, \quad (9)$$

где h_{nc} – толщина нарушенного слоя при увеличении трещины, м

На основе данной математической модели в среде Visual Studio 2005 была написана оригинальная программа, алгоритм работы данной программы представлен на рис. 7. Результатом данной программы является прогнозируемое значение шероховатости R_z обработанной поверхности синтетического алмаза. По результатам расчетов в данной программе были построены поверхности отклика значения шероховатости в зависимости от режимов резания, данные поверхности представлены на рисунках 5 - 6

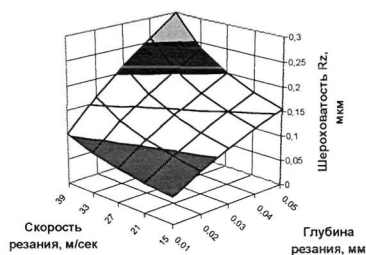


Рис. 5. Поверхность отклика построенная по результатам программы для синтеграна

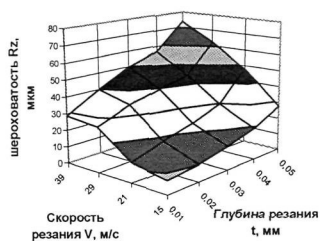


Рис. 6. Поверхность отклика, построенная по результатам программы для материала Nanex

Данная программа позволяет подобрать оптимальные режимы резания для получения заданного качества обработанной поверхности.

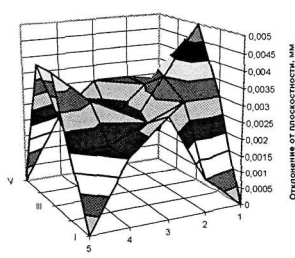
В четвертой главе приведены результаты исследований и проведенных экспериментов.

Были проведены исследования плоскостности обработанных шлифованием образцов синтеграна. Исследования проведены двумя способами. В первом способе использовался классический метод определения с использованием поверочной линейки и концевых мер. Во втором случае измерения производились на универсальном микроскопе с закрепленной на нем многооборотной рычажно-зубчатой головкой.

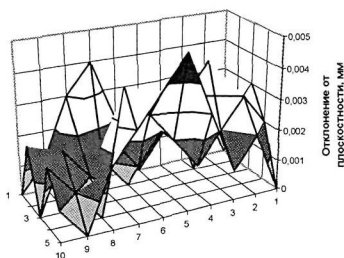


Рис. 7. Алгоритм работы программы

По результатам, полученным во время измерений были построены поверхности отклика представленные на рисунках 8 и 9.



а



б

Рис. 8. Поверхность отклика плоскостности образца 100x200: а) способ №1; б) способ №2.

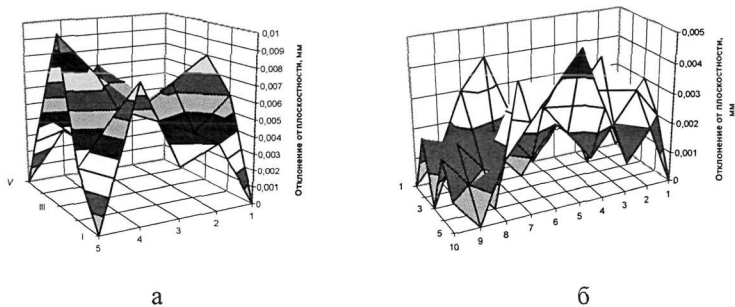


Рис. 9. Поверхность отклика плоскостности образца 200x400: а) способ №1; б) способ №2.

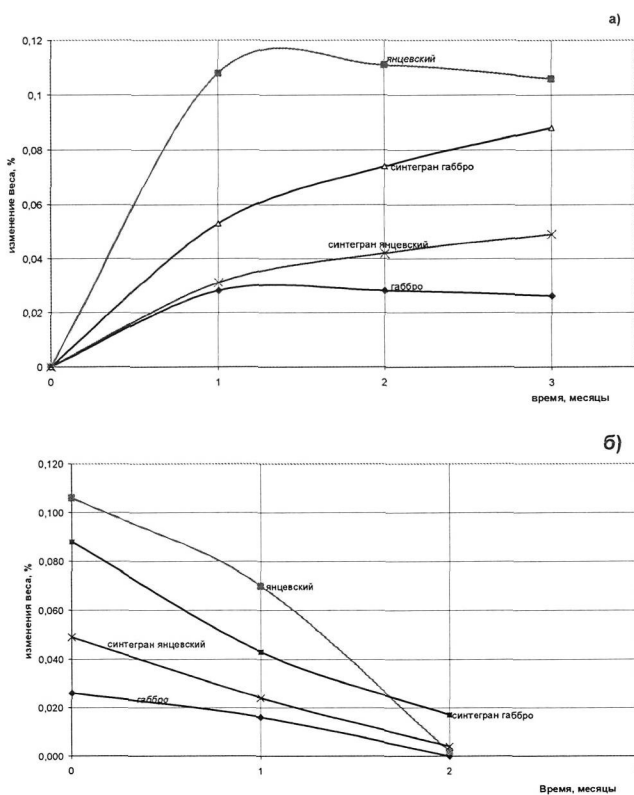


Рис. 10. Изменение веса образцов натуральных гранитов и синтегранов, а) при нахождении в жидкой среде, б) при последующей выдержке на воздухе.

Исследования показали, что данные полученные с помощью второго метода наиболее точно отображают профиль поверхности и дают представление от плоскостности исследуемой поверхности

Поскольку обработка синтеграна должна осуществляться с использованием СОТЖ В работе были проведены исследования влияния СОТЖ на некоторые отечественные синтегранные и импортные аналоги В данном исследовании рассматривались изменение веса и линейных размеров образцов размерами 160х40х40 результаты некоторых из них представлены на рисунках 10 и 11

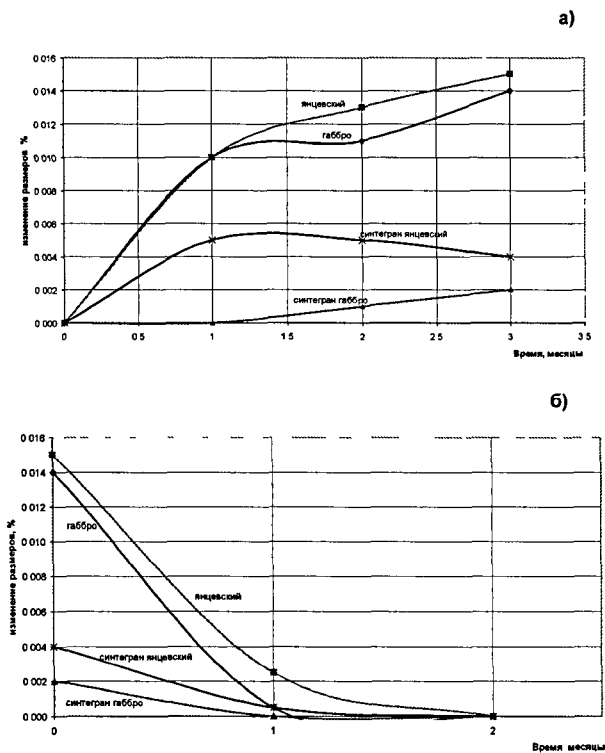


Рис 11 Изменение размеров образцов натуральных гранитов и синтегранов, а) при нахождении в жидкой среде, б) при последующей выдержке на воздухе

Также в данной работе проведено исследование влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности Данное исследование проводилось на трех различных образцах синтеграна и материала GetaCore

По проведенным экспериментам были проведены полнофакторные эксперименты 2^2 . По данным экспериментам были получены математические модели и построены поверхности отклика.

Для синтетического с различным режущим инструментом были получены следующие зависимости.

Обработка алмазным сегментным шлифовальным кругом 125x5x22,2x20 гранит 100 professional.

$$R_z = e^{-33,2312} \cdot V^{4,119+0,73281 \ln t} \cdot t^{-3,8343}$$

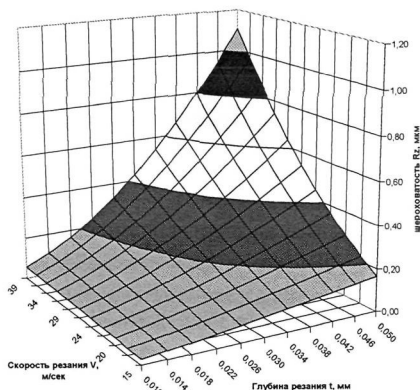


Рис. 12. Поверхность отклика.

Обработка алмазным сегментным шлифовальным кругом 125x5x22,2x20 гранит 75 professional.

$$R_z = e^{-2,6788} \cdot V^{0,43805-0,0341 \ln t} \cdot t^{1,0008}$$

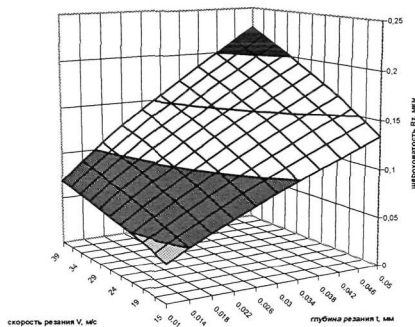


Рис. 13. Поверхность отклика.

Обработка материала GetaCore проводилась алмазным сегментным шлифовальным кругом 125x5x22,2x20 гранит 100 professional.

$$R_z = e^{-0,9291} \cdot V^{0,24666-0,0864 \ln t} \cdot t^{1,9285}$$

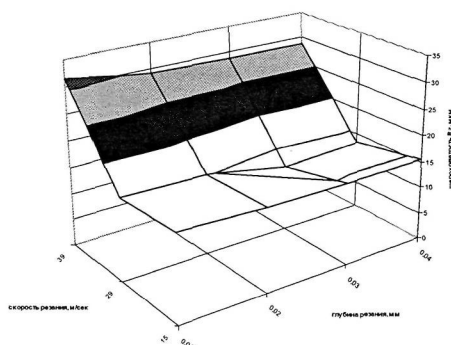


Рис.14. Поверхность отклика GetaCore

Также исследован реальный снимаемый припуск при обработке. И выявлено что, при увеличении глубины резания увеличивается погрешность шлифования рис. 15. Это происходит в основном из-за податливости материала. В меньшей степени на это влияет жесткость станка.

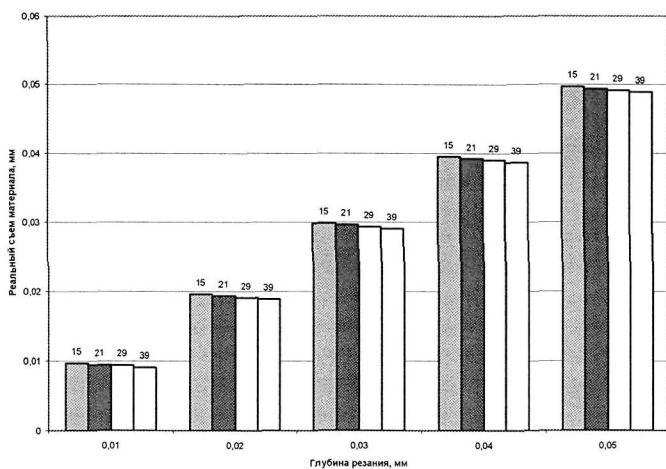


Рис.15. Реально снимаемый припуск при обработке на различных скоростях при изменении глубины резания.

В работе произведен анализ экономической эффективности замены чугунной траверсы на траверсу из композиционного материала. При выпуске данного изделия серией 10 шт. технологическая себестоимость выпуска

деталей данного наименования из синтетрана выгоднее производства из чугуна на 93000 руб

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Основные научные результаты и выводы диссертационной работы заключаются в следующем

1 В результате выполненной работы определены диапазоны режимов резания обеспечивающих эффективность и качество обработки полимербетонов шлифованием

2 Разработаны алгоритмы и компьютерные программы для расчета значения прогнозируемой величины шероховатости и величины нарушенного поверхностного слоя полимербетонов при шлифовании, которые позволяют за короткий период времени (не более 10 мин, с учетом времени ввода исходных данных) получить прогнозируемую высоту микронеровностей по параметру R_z и величину нарушенного поверхностного слоя полимербетонов в мкм

3 Разработана методика проведения экспериментов и созданы экспериментальные стенды для определения сил, возникающих при шлифовании, для последующего сравнения с расчетными данными применяемыми при математическом моделировании

4 При экспериментальных исследованиях влияния параметров режимов резания и инструмента на значение величины микронеровностей установлено при увеличении скорости резания от 15 до 39 м/с происходит увеличение величины микронеровностей поверхности изделий из полимербетонов значения R_z с 0,02 до 1,2 мкм

5 При экспериментальных исследованиях влияния параметров режимов резания и инструмента на значение величины микронеровностей установлено при увеличении глубины резания с 0,01 до 0,05 мм происходит увеличение величины микронеровностей поверхности изделий из полимербетонов значения R_z с 0,01 до 1,15 мкм

6 Проведенные исследования показали, что для повышения эффективности обработки полимербетонов предпочтительно использовать сегментные алмазные круги со следующими параметрами

Марка абразивного материала	АС15, АС20,
Зернистость круга, в зависимости от желаемого качества получаемой поверхности	80/63, 100/80,
Связка	В2-01,
Твердость инструмента	СМ1-С2

Использование шлифовальных кругов выходящих за рамки рекомендованных значительно снижает качество обработанной поверхности полимербетонов Исследования показали, что при использовании абразивного материала марки АС6 происходит более интенсивный износ круга и увеличение значения R_z до 1,5 мкм при тех же режимах шлифования

7 Исследования показали, что для обработки изделий из КМ шлифованием предпочтительно устанавливать следующие режимы резания - скорость резания 15 – 27 м/с,

- глубина резания	0 01 – 0 03 мм,
- продольная подача	0 5 – 1 5 м/мин,
- поперечная подача	0 01 – 0 04 мм

Полученные результаты подтверждены актом внедрения на ООО «СБЕстанко» и используются в учебном процессе каф «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Российского университета дружбы народов и каф «Технологии машиностроения» Егорьевского технологического института филиала МГТУ «Станкин»

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях

1 Елин А В Опыт механической обработки синтеграна // Современные технологии в машиностроении IX Международная научно-практическая конференция Сборник статей Пенза, 2005 г , с 88-90

2 Позняк Г Г, Елин А В Определение зависимости качества обработанного поверхностного слоя композиционного материала от режимов обработки // Вестник Ивановского государственного университета «Физика, химия и механика трибосистем», Выпуск IV, 2007 г , с 59-64

3. Елин А В Математическая модель определения шероховатости синтеграна в зависимости от режимов резания // Современные технологии в машиностроении XI Международная научно-практическая конференция Сборник статей Пенза, 2007 г , с 166-169

4 Рогов В А, Елин А В, Кузьмин Н Н Исследование влияния смазывающе-охлаждающей жидкости на свойства конструкционного материала на основе бетона // Производство проката №5, 2008 г , с 42-45

5 Рогов В А, Елин А В Математическая модель определения шероховатости композиционных материалов в зависимости от режима обработки СТИН, 2008 - №4 - С 31 - 34

6 Рогов В А, Елин А В Влияние СОТС и водосодержащих эмульсий на линейные размеры образцов изготовленных из композиционных материалов ОНЖ, 2008 - №2 С 57 – 62

Елин Андрей Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ
ПОЛИМЕРБЕТОНОВ ШЛИФОВАНИЕМ (НА ПРИМЕРЕ СИНТЕГРАНА)**

Диссертация посвящена обеспечению заданных геометрических параметров обработанной поверхности изделий из полимербетонов путем автоматизированного подбора режимов шлифования. Предложена математическая модель зависимости шероховатости поверхности от взаимного влияния следующих факторов: параметров резания, параметров инструмента, схемы контакта инструмента и заготовки и физико-механических свойств материала.

**INCREASE OF EFFICIENCY AND QUALITY OF PROCESSING
POLYMERIC CONCRETE GRINDING (ON AN EXAMPLE SYNTHETIC
GRANITE)**

The dissertation is devoted to maintenance of the set geometrical parameters of the processed surface of products from polymeric concrete by the automated selection of modes of grinding. The mathematical model of dependence of a roughness of a surface from mutual influence of the following factors is offered: parameters of cutting, parameters of the tool, the circuit of contact of the tool and preparation and physic mechanical properties of a material.