

Оптимизация технологического процесса гидроабразивной резки деталей из авиационных материалов

Работа выполнена на производственных мощностях РВПК ПАО «Роствертол» и Донском государственном техническом университете (ДГТУ) на кафедре «Технология машиностроения» и

Верченко Алексей Викторович

Научный руководитель:
Зав. кафедрой
«Технология машиностроения»,
доктор технических наук,
профессор Тмаркин М.А.

Ростов-на-Дону
2018

Актуальность научной работы



Вертолет Ми-26Т

Самолет Бе-200

На предприятии ПАО «Роствертол» гидроабразивная резка используется для раскроя толстолистовых авиационных материалов таких как сталь, титановые сплавы, алюминий, капролон, оргстекло и т.д.

Развитие современного парка металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ требует развития заготовительного производства. Для создания опытных образцов техники требуется изготовление заготовок приближенных по форме к форме детали. Изготовление штампованных заготовок или отливок является нецелесообразным, в виду финансовых и временных затрат на подготовку производства.



Установка 5-ти координатной гидроабразивной резки фирмы «FLOW»

Гидроабразивное резание – вид абразивной обработки, при которой разрезание материала производится тонкой струей смеси воды и абразива, выпускаемой с высокой (сверхзвуковой скоростью) и под высоким давлением (6000 Бар). Процесс представляет собой эрозионное разрушение под действием рабочей струи, при котором мелкие частички абразива снимают слой микростружки, а вода эвакуирует из зоны резания.

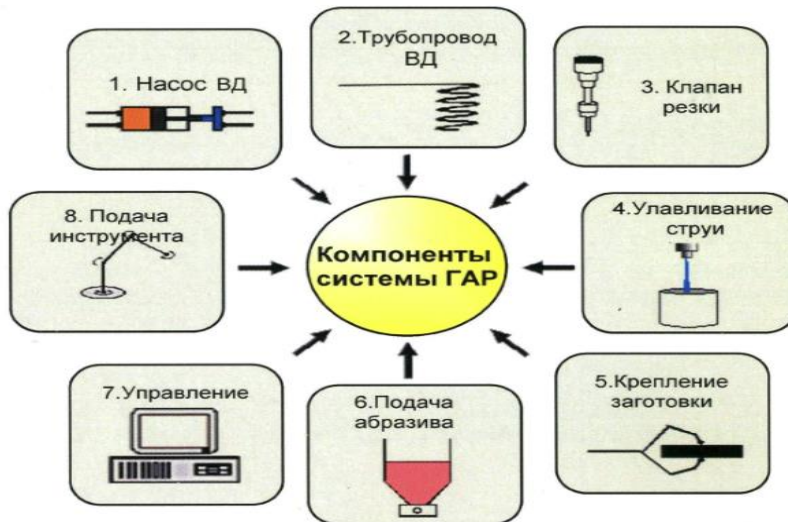
Анализ показал отсутствие зависимостей для прогнозирования шероховатости поверхности реза от всех технологических параметров обработки (давление струи, зернистость, размер, расход абразива, физико-механические параметры материала и т.д.). Технолог на производстве сталкивается с трудностью определения не только шероховатости поверхности реза, но и размеров зоны гладкого и волнистого реза. Отсутствие адекватных теоретических моделей формирования профиля шероховатости не позволяет выполнять оптимизацию процесса резки, с учетом требований заданной шероховатости.

Описание технологии гидроабразивной резки

Процесс гидроабразивного резания происходит тонкой струей смеси воды с абразивом, выпускаемых с высокой скоростью и под высоким давлением порядка 6000 Бар.



Схема образования гидроабразивной режущей струи



Принципиально можно выделить два типа резки: резка только водой (гидрорезка) и резка с примешиванием абразива (гидроабразивная резка).

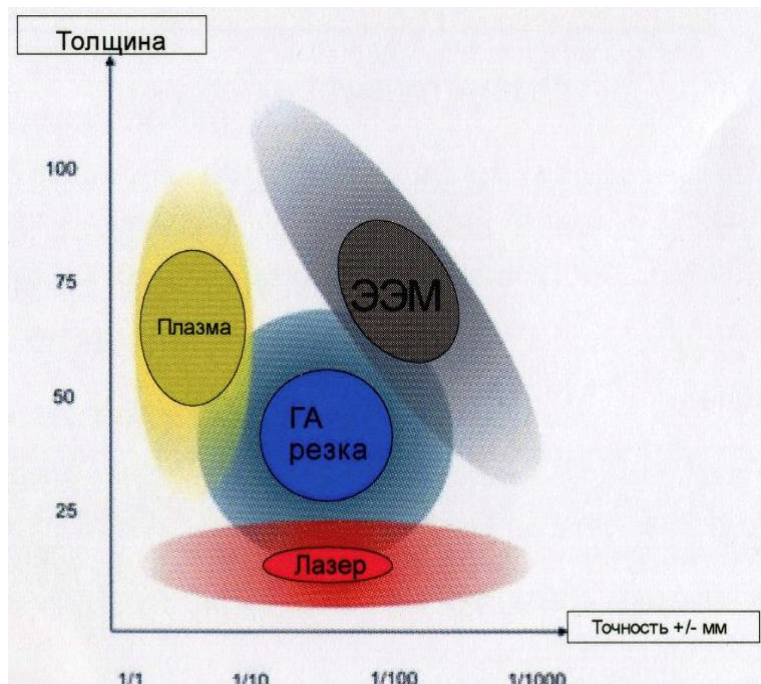
При резки гидроструей происходит вымывание материала. Резка гидроструей подходит для резки неметаллических материалов пластика, оргстекла, камня и т.д.

С примешиванием абразива происходит микроразрушение материала, а вода служит ускорителем этого процесса. При резке гидроабразивной струей повышается качество и производительность резки, по сравнению с гидроструей.

Преимущества технологии гидроабразивной резки

Перед другими видами раскроя материалов гидроабразивная резка имеет ряд преимуществ:

- Резка практически любых материалов и их комбинаций (металл, пластмасса, стекло, камень, дерево, композитные материалы)
- Отсутствует термическое воздействие, исключая изменение структуры обрабатываемого материала. Незначительная механическая нагрузка на деталь.
- Огромный спектр толщин разрезаемого материала. Толщина резки металлов от 0,1 до 300 мм.
- Резка контуров сложной формы и обработка 3D геометрии.
- Высокая производительность и качество резки.



Сравнение эффективности различных методов раскроя

В сравнении с лазерной резкой:

- Нет ограничения по толщине материала
- Возможность обрабатывать светоотражающие материалы такие как медь, алюминий, титан.
- Отсутствует термическое воздействие на материал заготовки.

В сравнении с плазменной резкой:

- Нет оплавления кромок и не образуется грат
- Более широкий диапазон обрабатываемых материалов и толщин
- Более высокая точность криволинейных профилей

В сравнении с фрезерованием:

- Более высокая скорость обработки сквозных отверстий и резки по контуру
- Более качественная обработка тонколистовых деталей

В сравнении с электроэрозионной обработкой:

- Значительно более высокая скорость резки
- Возможность резки как токопроводящих так и не токопроводящих материалов

Дефекты возникающие при гидроабразивной резке

Неравномерность распределения шероховатости по сечению реза

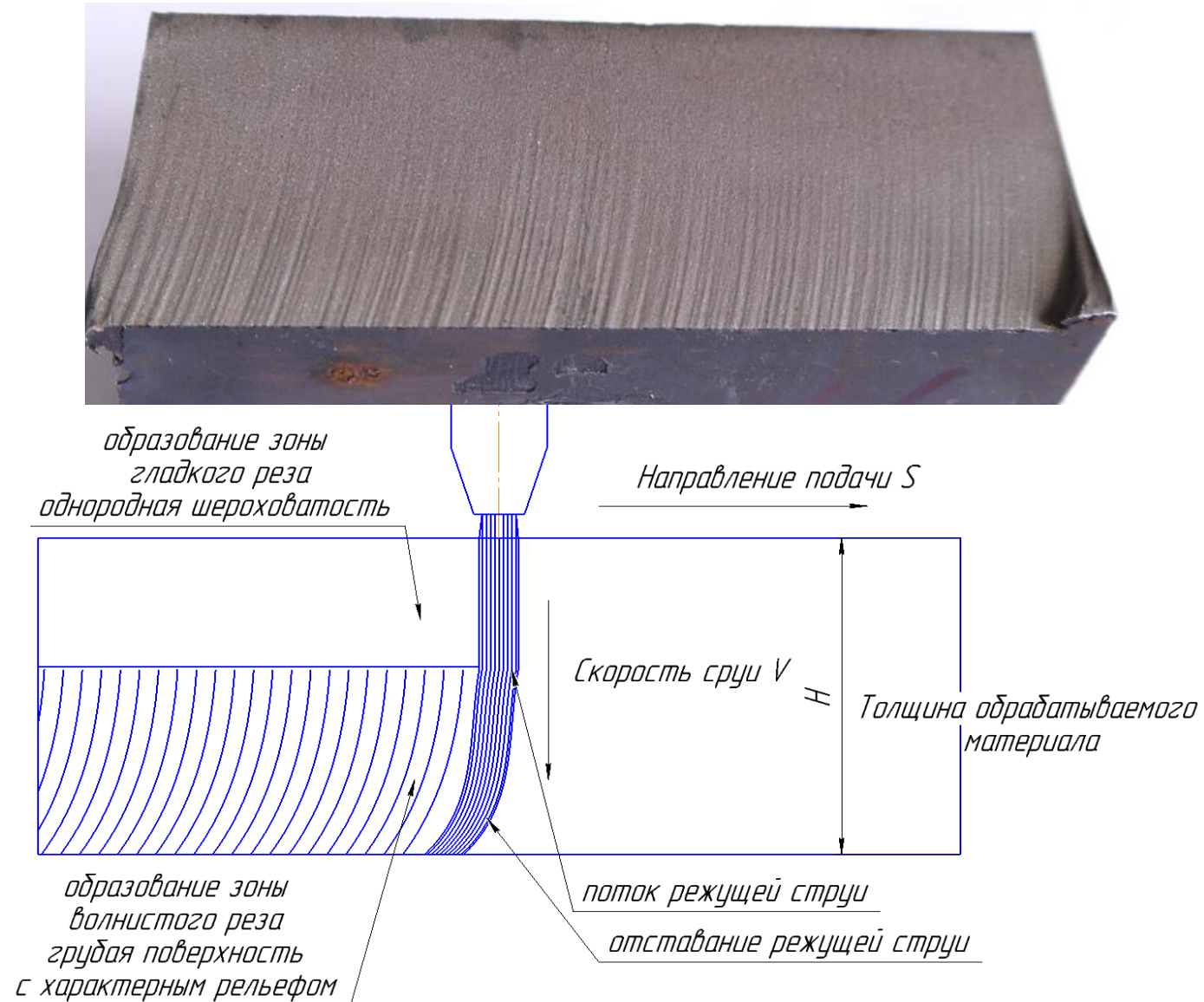


Схема движения режущей струи и образования зоны волнистого и гладкого реза

Цель и задачи исследования

Цель работы: заключается в повышении эффективности процесса гидроабразивной резки за счет оптимизации режимов обработки на основе разработки адекватной теоретической модели формирования шероховатости поверхности на различных глубинах сечения реза.

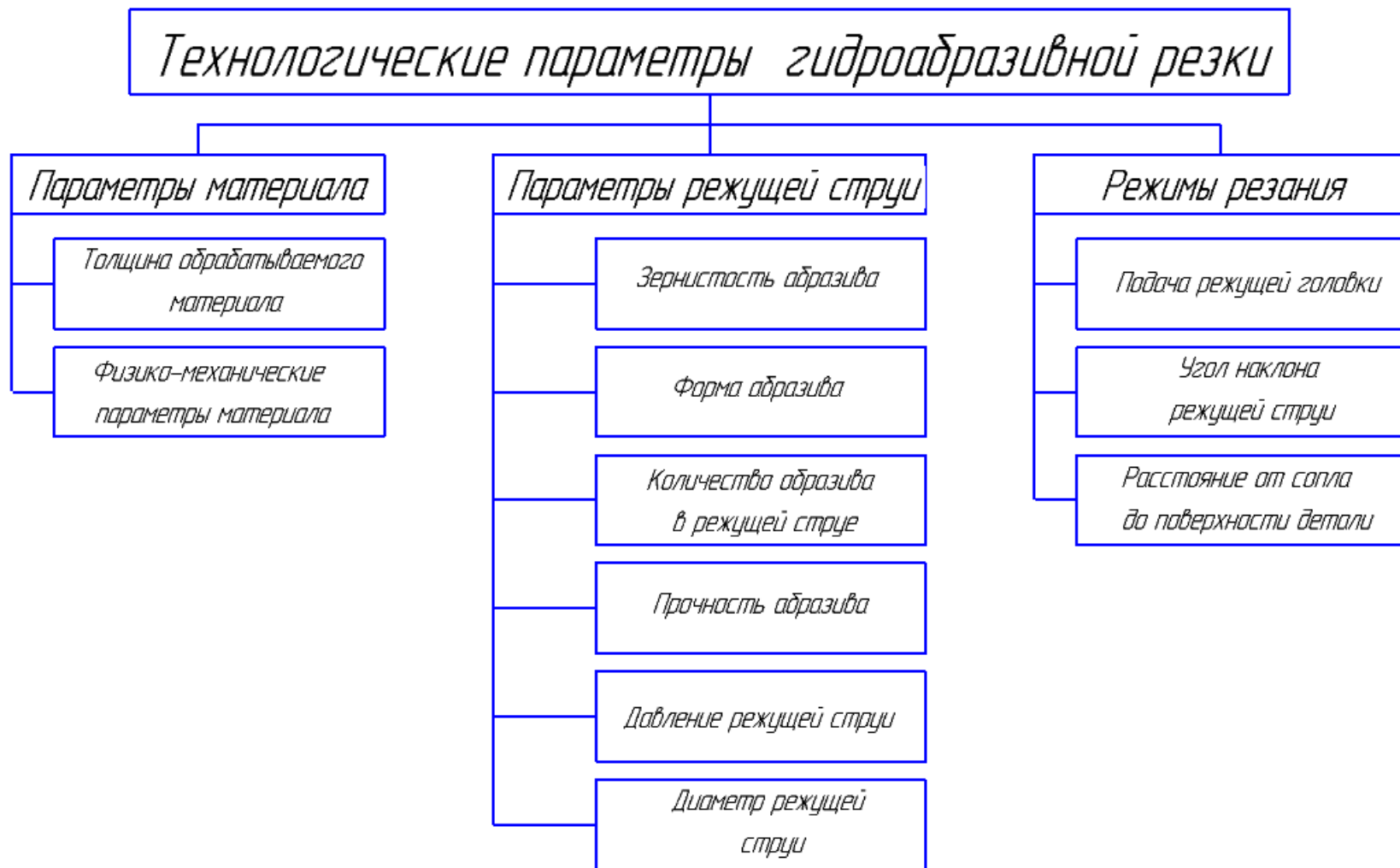
Задачи исследования:

1. Теоретические и экспериментальные исследования формирования профиля шероховатости поверхности реза в зависимости от параметров обработки и глубины сечения реза;
2. Теоретические исследования образования зоны волнистого реза в зависимости от технологических параметров процесса;
3. Разработка методического обеспечения прогнозирования качества поверхности реза;
4. Разработка методики оптимизации технологического процесса гидроабразивной резки.

Научная новизна: Получены количественные зависимости влияния режимов обработки и физико-механических свойств обрабатываемого материала на шероховатость поверхности реза. Получены регрессионные модели, описывающие формирование шероховатости поверхности реза для различных материалов по глубине сечения реза при изменении технологических параметров обработки (подача, расход абразива, глубина измерения шероховатости, толщина обрабатываемого материала). Получены зависимости формирования шероховатости на полимер-композиционных материалах (ПКМ), при обеспечении необходимых термо-физических свойств материала. Предложена методика и алгоритм оптимизации процесса по наименьшей себестоимости реза с учетом заданных требований шероховатости.

Технологические параметры гидроабразивной резки

Процесс гидроабразивного резания сложный, малоизученный процесс. На качество и производительности резки влияет целый ряд технологических параметров.



Теоретические исследования процесса формирования шероховатости поверхности реза

Схема внедрения частиц при резании
Схема образования зоны волнистого реза

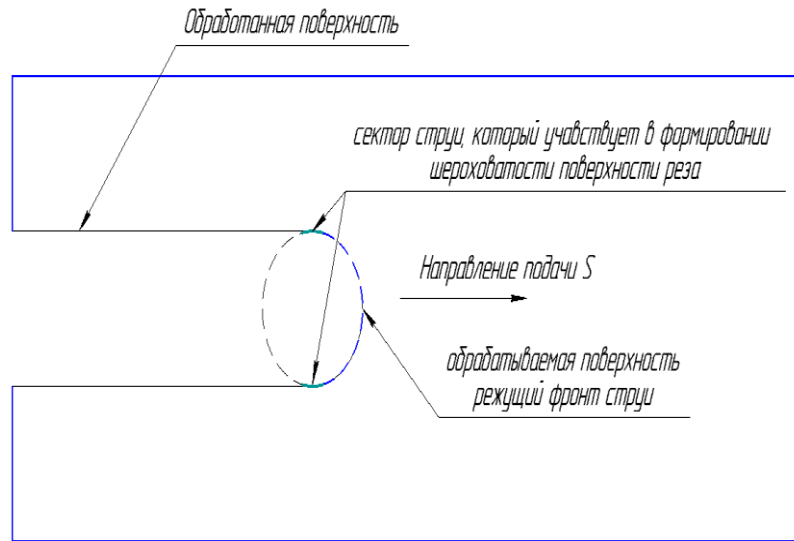
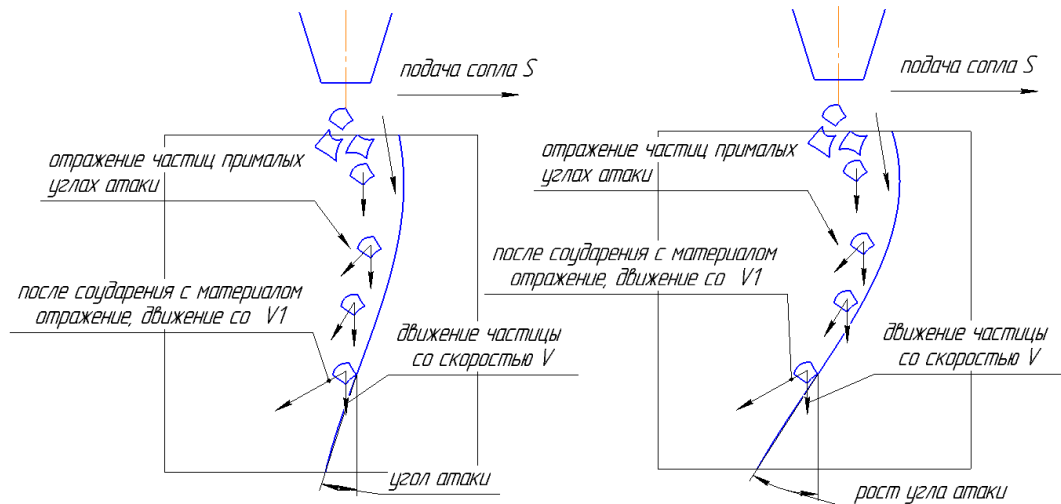
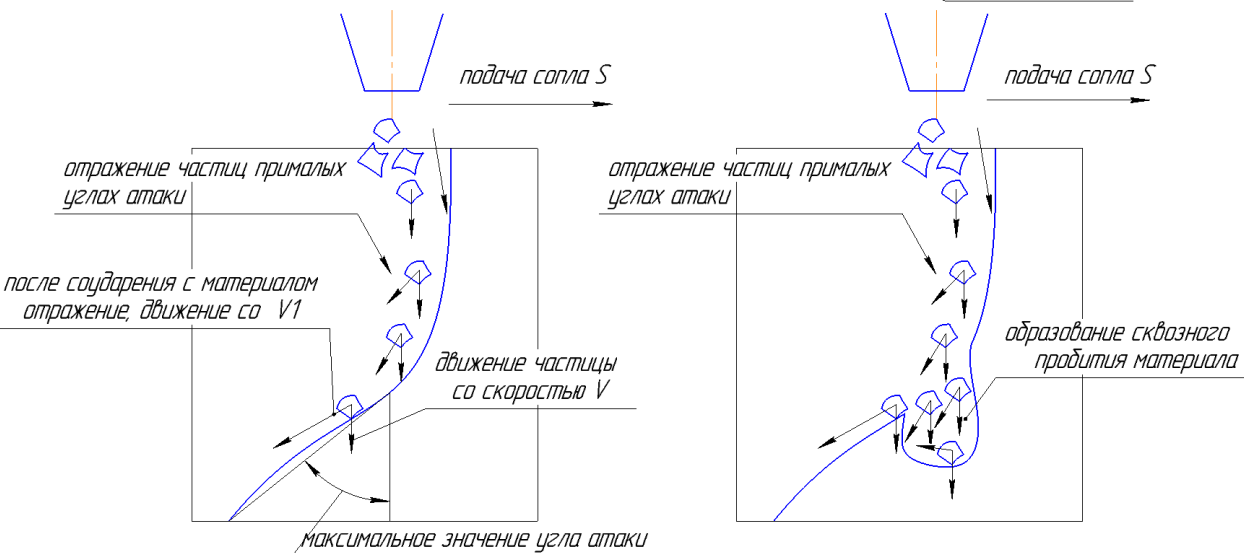


Схема разрезания материала режущей струей



Теоретические исследования процесса формирования шероховатости поверхности реза

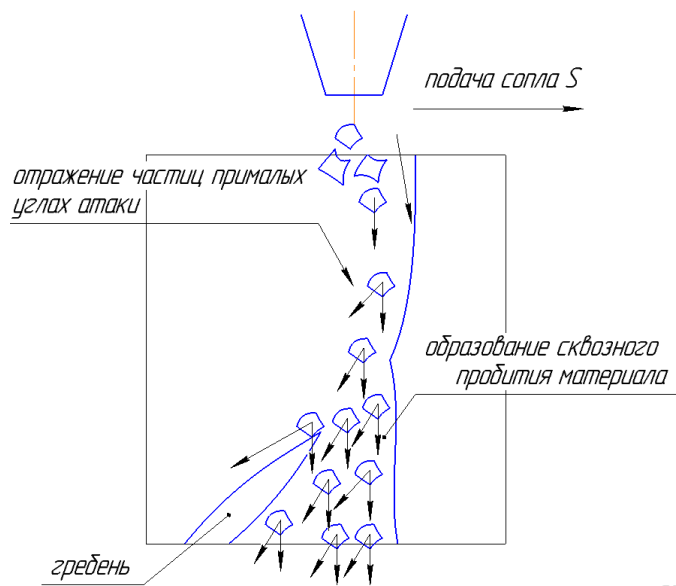


Схема образования зоны волнистого реза

Максимальная глубина внедрения частицы

$$h_{\max} = DK_L \sin \alpha \sqrt{\frac{2P_{\text{дин}} \rho_{\text{ч}}}{3c \rho_{\text{см}} k_s \sigma_s}}$$

Формула для нахождения шероховатости:

$$Ra = 10.18 K_{\alpha}^{Ra} \sqrt{2R^2 \cdot K_L \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{дин}} \cdot \rho_{\text{ч}}}{\lambda \cdot 3 \cdot c \cdot \rho_{\text{см}} \cdot K_S \cdot \sigma_S}}}$$

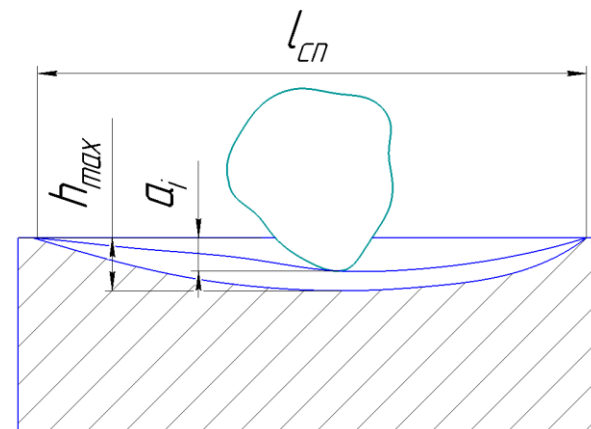
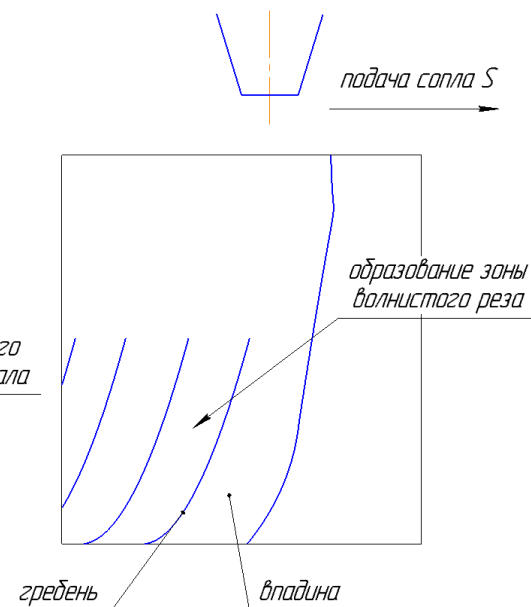


Схема образования царапины при малых углах внедрения

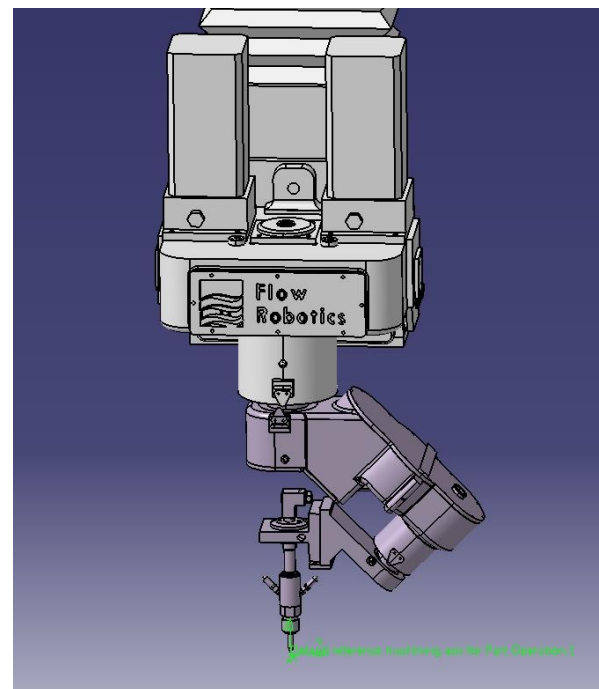
где $\rho_{\text{ч}}$ – плотность материала частиц, кг/м³; k_s – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхности детали на площадь фактического контакта, K – объемная концентрация частиц в рабочей жидкости, $P_{\text{дин}}$ – динамическое давление смеси, Па; $\rho_{\text{см}}$ – плотность рабочей смеси жидкости и частиц кг/м³, R – радиус частицы, м; K_L – коэффициент потерь, учитывающий расстояние от сопла до поверхности обрабатываемой детали, c – коэффициент оценивающий несущую способность контактной поверхности, λ – это число полезных взаимодействий в единицу времени

Методика проведения эксперимента.

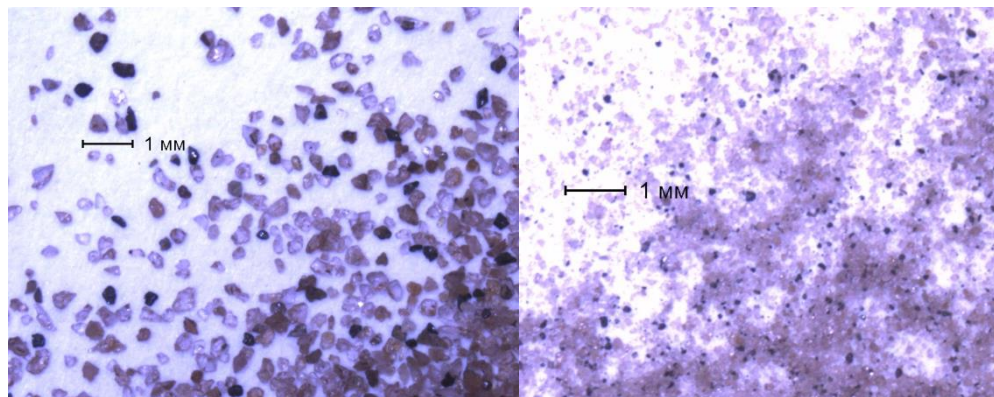
Оборудование для проведения эксперимента



Установка гидроабразивной резки фирмы «Flow»



Режущая головка с двумя поворотными осями



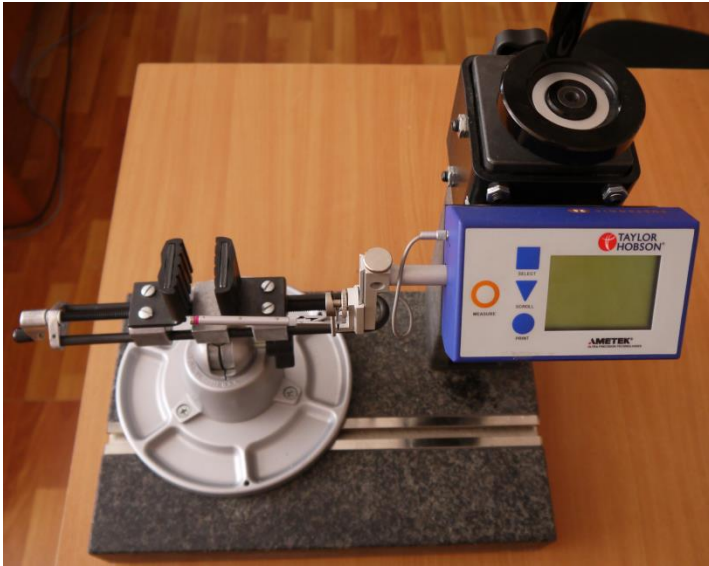
Гранатовый абразив а) до процесса резки, б) после процесса резки



Калибрующие кольца для подачи абразива

Методика проведения эксперимента.

Оборудование для проведения эксперимента



Цифровой профилометр Surtronic 25
фирмы Taylor Hobson



Цифровой микроскоп MarVision MM220 для
измерения размера зерен абразива

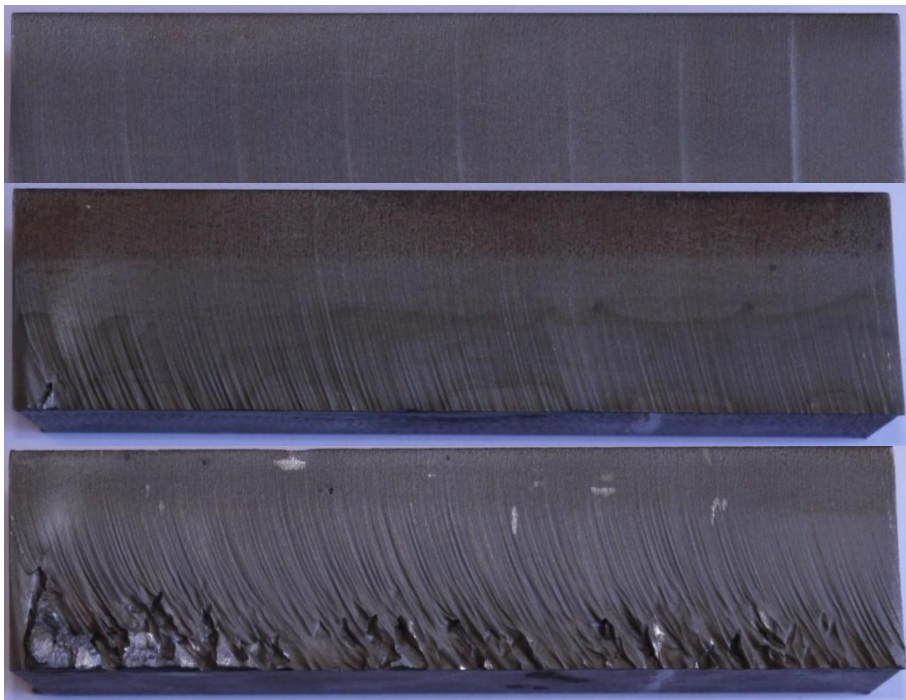


Калориметр DSC 200 F3 Maia



Твердомер TP-150P

Экспериментальные исследования



Образцы из стали 30ХГСА при изменении подачи от 5 до 120 мм/мин



Образцы из закаленной стали 30ХГСА при изменении подачи от 5 до 120 мм/мин



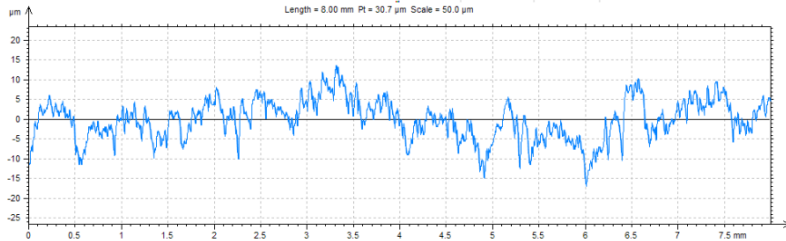
Образцы из алюминиевого сплава Д16Т при изменении подачи
от 5 до 40 мм/мин
от 85 до 125 мм/мин
от 165 до 20 мм/мин



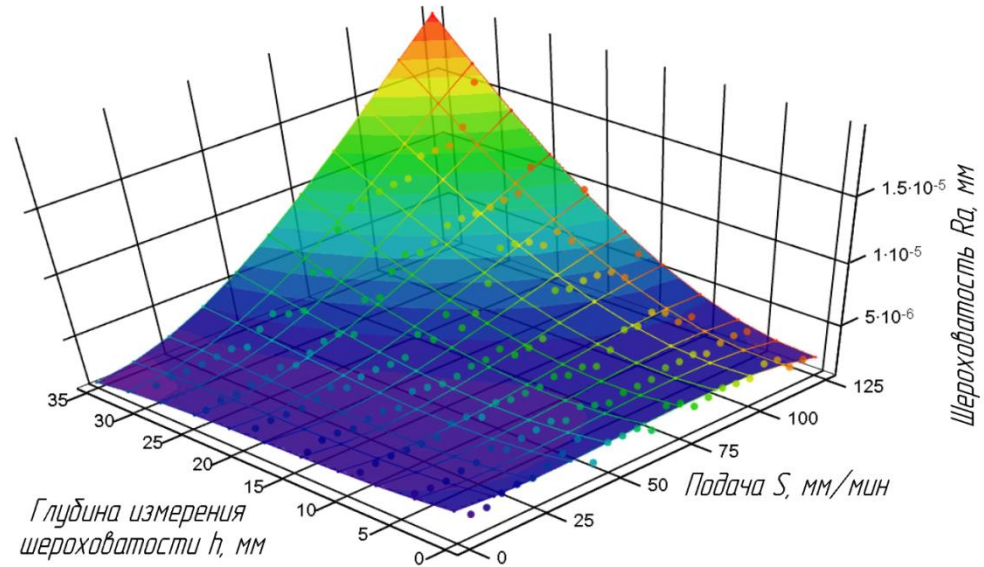
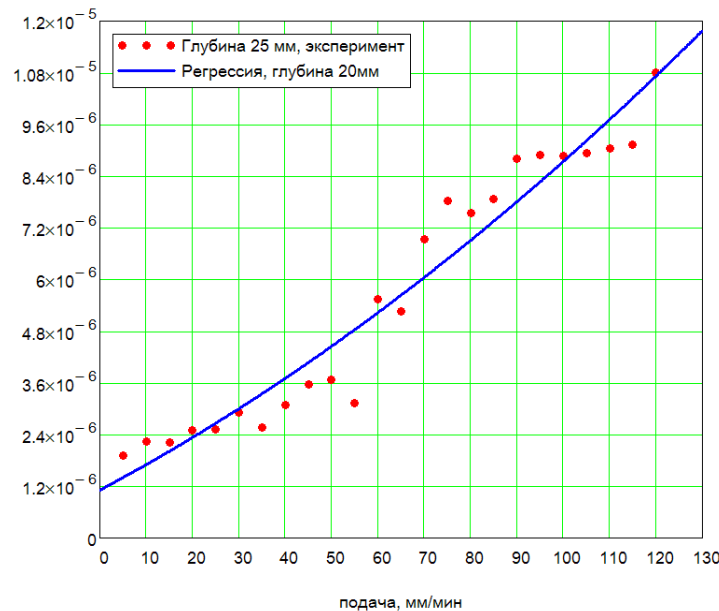
Экспериментальные исследования

Подача 5мм/мин. Глубина 5мм

ISO 4287		
Amplitude parameters - Roughness profile		
Rz	14.8	µm Gaussian filter, 0.8 mm
Ra	2.44	µm Gaussian filter, 0.8 mm



Профилограмма поверхности реза стали 30ХГСА на глубине 5мм при подача 5мм/мин



Двухфакторная зависимость шероховатости поверхности реза от величины подачи и глубины измерения шероховатости реза для стали 30ХГСА

$$Ra = 3.602 \cdot 10^{-6} - 3.225 \cdot 10^{-8} \cdot S - 1.35 \cdot 10^{-7} \cdot h - 1.963 \cdot 10^{-9} \cdot S \cdot h + 2.439 \cdot 10^{-11} \cdot S^2 \cdot h + 9.569 \cdot 10^{-11} \cdot S \cdot h^2 + 8.116 \cdot 10^{-10} \cdot S^2 + 6.191 \cdot 10^{-11} \cdot h^2 - 5.056 \cdot 10^{-12} \cdot S^3 - 1.202 \cdot 10^{-10} \cdot h^3$$

двухфакторное уравнение регрессии для определения величины шероховатости поверхности реза для стали 30ХГСА.

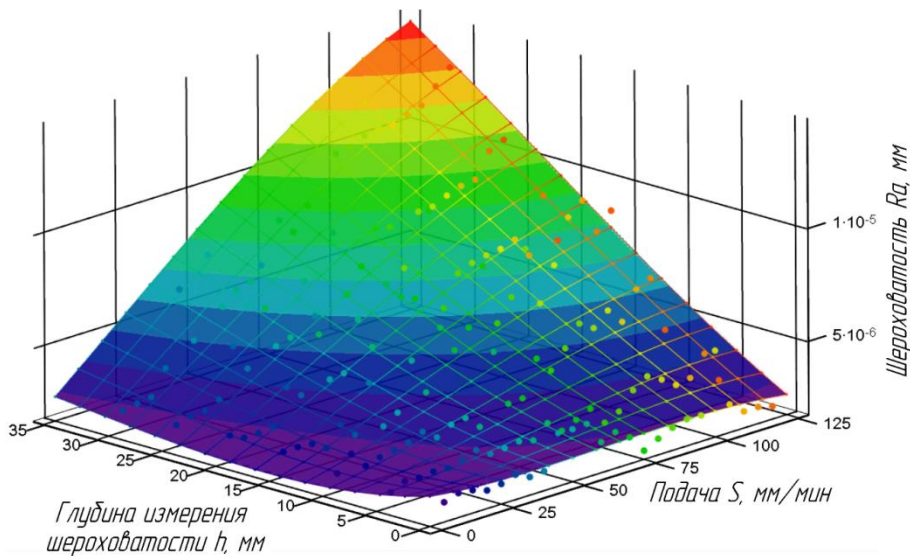
S – подача сопла мм/мин,

h – глубина измерения шероховатости

Зависимость шероховатости поверхности реза на глубине 25мм

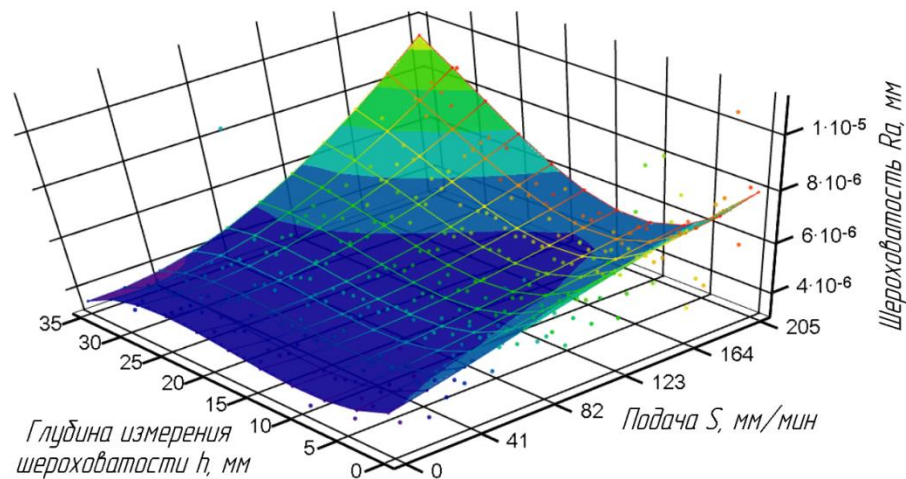
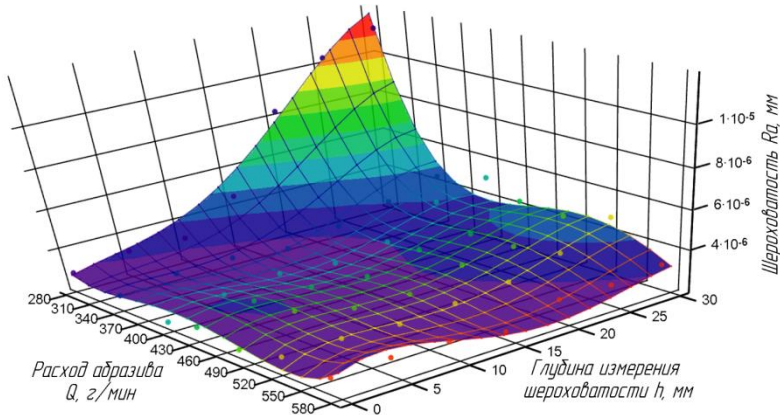
$$Ra_{25} = 1.109 \cdot 10^{-6} + 5.715 \cdot 10^{-8} \cdot S + 1.912 \cdot 10^{-10} \cdot S^2$$

Экспериментальные исследования



Двухфакторная зависимость шероховатости поверхности реза от величины подачи и глубины измерения шероховатости реза для закаленной стали 30XГСА

$$Ra = 3.091 \cdot 10^{-6} - 1.819 \cdot 10^{-8} \cdot S - 1.429 \cdot 10^{-7} \cdot h + 4.101 \cdot 10^{-9} \cdot S \cdot h - 6.565 \cdot 10^{-12} \cdot S^2 \cdot h - 1.456 \cdot 10^{-11} \cdot S \cdot h^2 + 3.491 \cdot 10^{-10} \cdot S^2 + 6.054 \cdot 10^{-9} \cdot h^2 - 1.852 \cdot 10^{-12} \cdot S^3 - 6.222 \cdot 10^{-11} \cdot h^3$$



Двухфакторная зависимость шероховатости поверхности реза от величины подачи и глубины измерения шероховатости реза для алюминиевого сплава Д16Т

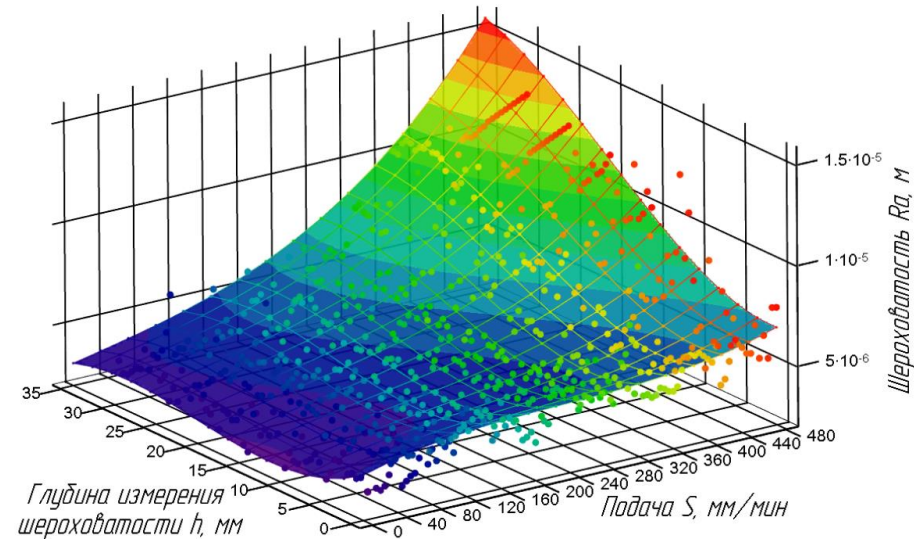
$$Ra = 4.882 \cdot 10^{-6} - 1.412 \cdot 10^{-8} \cdot S - 1.983 \cdot 10^{-7} \cdot h - 2.233 \cdot 10^{-9} \cdot S \cdot h + 4.112 \cdot 10^{-12} \cdot S^2 \cdot h + 5.087 \cdot 10^{-11} \cdot S \cdot h^2 + 4.118 \cdot 10^{-11} \cdot S^2 + 1.455 \cdot 10^{-8} \cdot h^2 - 1.821 \cdot 10^{-13} \cdot S^3 - 2.856 \cdot 10^{-10} \cdot h^3$$

Двухфакторная зависимость шероховатости поверхности реза от величины расхода абразива и глубины измерения шероховатости реза для стали 30XГСА

$$Ra = 1.213 \cdot 10^{-4} - 1.222 \cdot 10^{-6} \cdot Q + 4.961 \cdot 10^{-6} \cdot h - 3.65 \cdot 10^{-8} \cdot Q \cdot h + 8.78 \cdot 10^{-11} \cdot Q^2 \cdot h - 2.136 \cdot 10^{-10} \cdot Q \cdot h^2 + 4.62 \cdot 10^{-19} \cdot Q^2 + 3.627 \cdot 10^{-8} \cdot h^2 - 7.589 \cdot 10^{-12} \cdot S^3 + 9.706 \cdot 10^{-10} \cdot h^3 + 1.233 \cdot 10^{-13} \cdot Q^2 \cdot h^2 - 6.703 \cdot 10^{-14} \cdot Q^3 \cdot h + 2.089 \cdot 10^{-12} \cdot Q \cdot h^3 + 4.572 \cdot 10^{-15} \cdot Q^4 + 2.089 \cdot 10^{-12} \cdot h^4$$

Экспериментальные исследования

Гидроабразивная резка композиционных материалов



Образцы из композиционного материала при увеличении подачи

Двухфакторная зависимость шероховатости поверхности реза от величины подачи и глубины измерения шероховатости реза для композиционного материала типа стеклопластик-титан

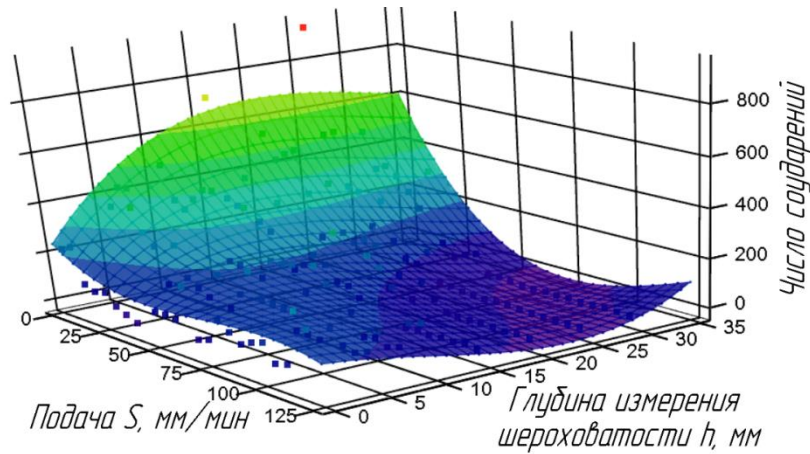
$$Ra = 2.706 \cdot 10^{-13} \cdot S \cdot h - 3.157 \cdot 10^{-10} \cdot h + 1.886 \cdot 10^{-8} \cdot h^2 - 3.062 \cdot 10^{-7} \cdot h - 1.301 \cdot 10^{-10} \cdot S \cdot h + 1.469 \cdot 10^{-12} \cdot S^2 \cdot h + 4.288 \cdot 10^{-6} + 1.324 \cdot 10^{-8} \cdot S - 5.142 \cdot 10^{-11} \cdot S^2 + 7.308 \cdot 10^{-14} \cdot S^3$$



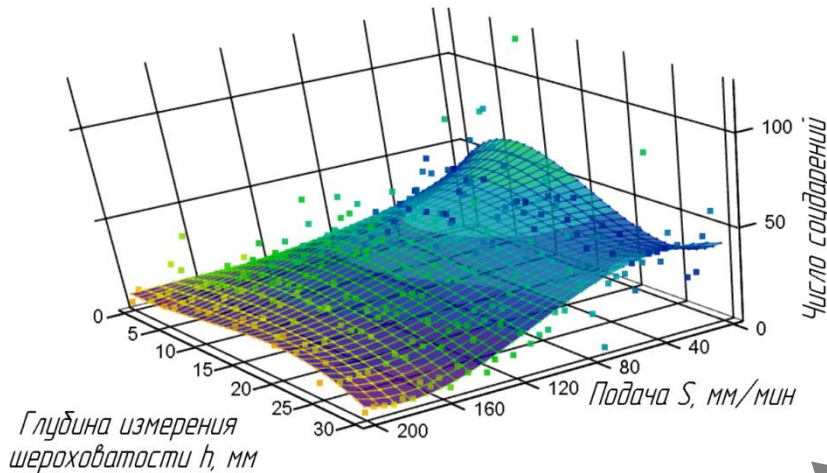
← Термограмма ПКМ до и после гидроабразивной резки

Экспериментальные исследования

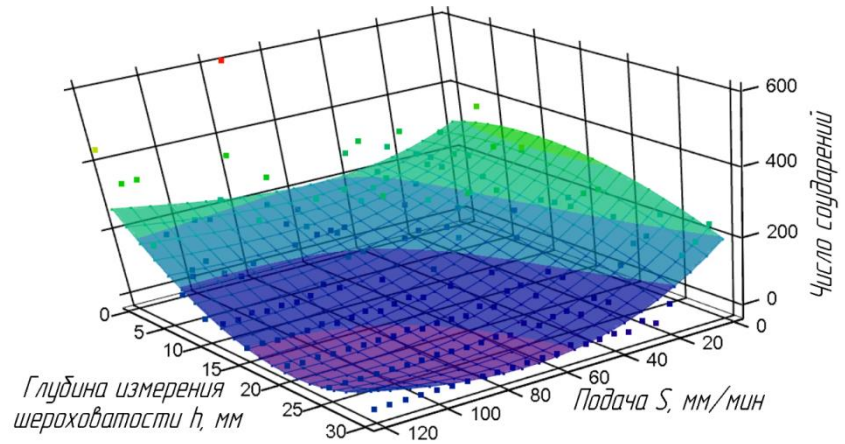
Определение числа полезных соударений λ



Формирование λ при изменении подачи и изменении глубины измерения шероховатости для материала 30XГСА твердостью 20HRC



Формирование λ при изменении подачи и изменении глубины измерения шероховатости для материала Д16Т



Формирование λ при изменении подачи и изменении глубины измерения шероховатости для материала 30XГСА твердостью 30HRC

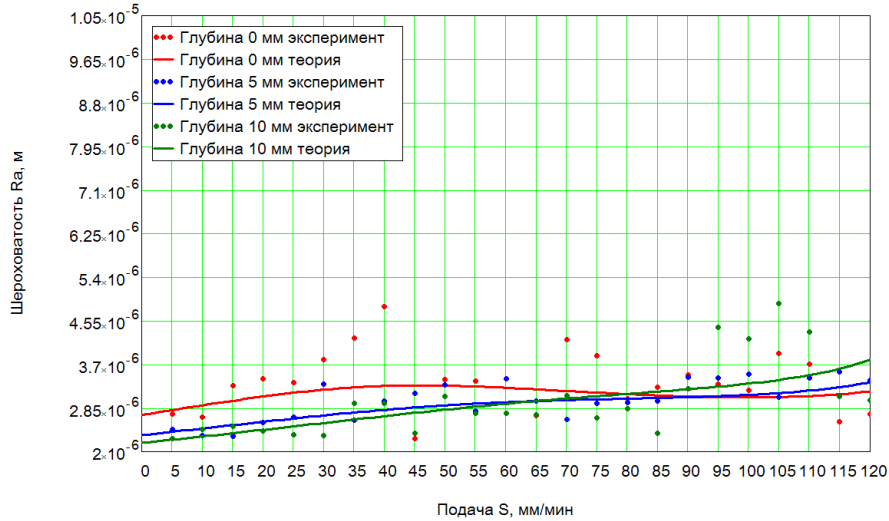
$$\lambda = \frac{Ra_{теор}}{Ra_{эксн}}$$

$$\lambda = 9.657 \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot h^2 + 0.017 \cdot h^3 - 1.711 \cdot h^2 + 49.435 \cdot h - 0.7 \cdot S \cdot h + 2.214 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 \cdot h + 237.124 - 6.54 \cdot S + 0.104 \cdot S^2 - 4.761 \cdot 10^{-4} \cdot S^3$$

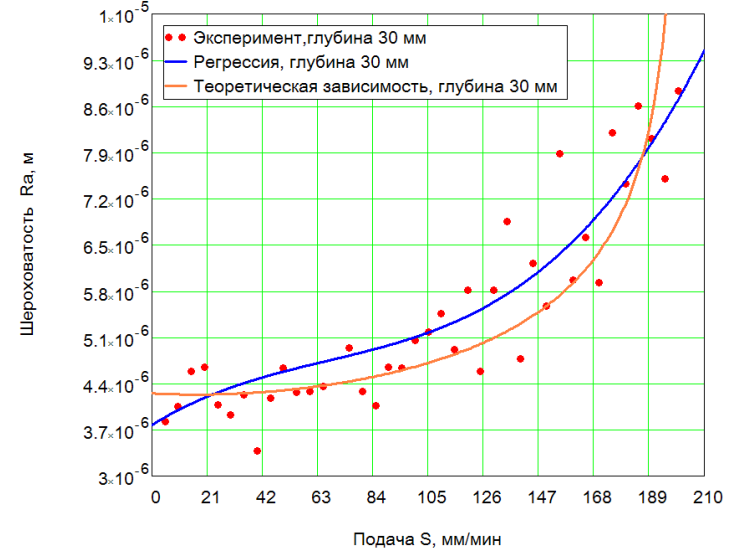
$$\lambda = 8.613 \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot h^2 + 2.624 \cdot 10^{-3} \cdot h^3 - 0.439 \cdot h^2 + 7.746 \cdot h - 0.352 \cdot S \cdot h + 4.977 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 \cdot h + 288.04 - 3.655 \cdot S - 0.044 \cdot S^2 - 1.262 \cdot 10^{-4} \cdot S^3$$

$$\lambda = -7.89 \cdot 10^{-5} \cdot S \cdot h^3 - 2.645 \cdot 10^{-5} \cdot h^4 + 0.014 \cdot h^3 - 0.649 \cdot h^2 + 2.79 \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot h^2 + 3.958 \cdot 10^{-6} \cdot S^2 \cdot h^2 + 7.46 \cdot h + 0.024 \cdot S \cdot h - 5.726 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 \cdot h + 1.319 \cdot 10^{-6} \cdot S^3 \cdot h + 36.581 - 0.804 \cdot S + 8.076 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 - 3.395 \cdot 10^{-5} \cdot S^3 + 5.016 \cdot 10^{-8} \cdot S^4$$

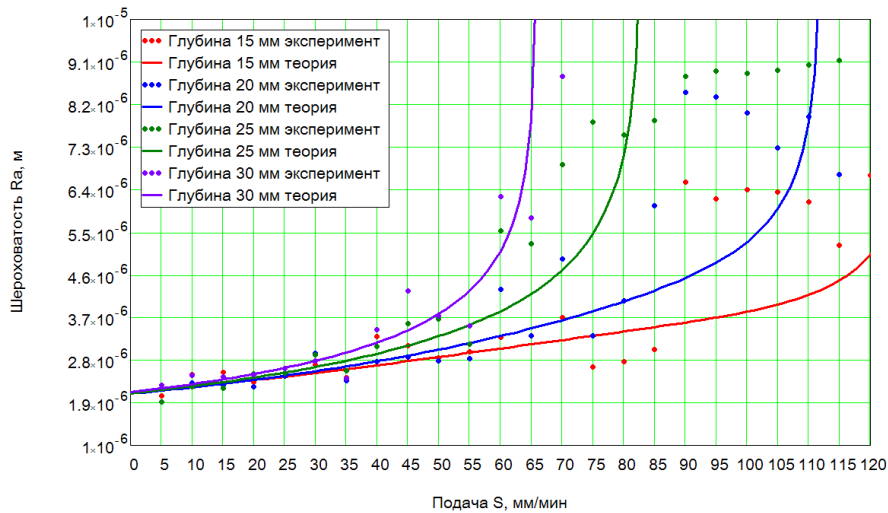
Расчет шероховатости поверхности реза



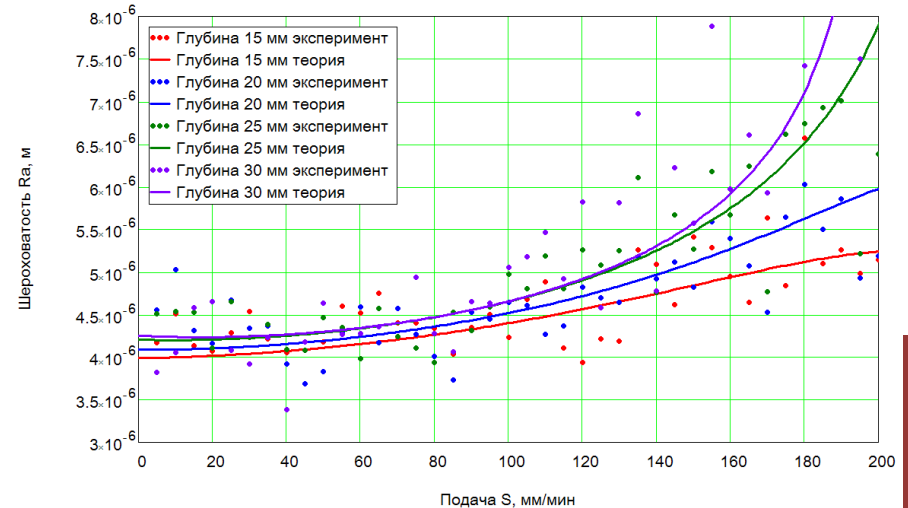
Шероховатость поверхности реза
материала сталь 30ХГСА



Шероховатость поверхности реза
материала Д16Т на глубине 30мм



Шероховатость поверхности реза
материала сталь 30ХГСА



Шероховатость поверхности реза
материала Д16Т

Применение результатов исследований

Оптимизация процесса гидроабразивной резки детали «Скоба»



Деталь скоба после механической обработки на станках с ЧПУ

Применение методики оптимизации технологических процессов гидроабразивной резки прошло промышленные испытания в ц.35 Механического завода РВПК ПАО «Роствертол», что подтверждается наличием акта промышленных испытаний.

Исходные данные		Результаты расчета
Обработка до оптимизации согласно серийной технологии	Материал – сталь 30ХГСА, σ_s - 490 МПа, Исх. шероховатость R_a – 6,3 мкм; Диаметр частиц D – 0,08 мм; Давление струи P – 405,3 МПа; Расход абразива $Q=395$ г/мин, длина реза $L= 1717$ мм, глубина измерения $h = 30$ мм	Шероховатость: R_a – 2,6 мкм; Подача S – 25 мм/мин, Время реза $T_{\text{реза}}$ – 0,907ч Стоимость реза $C_{\text{реза}}$ -2126руб
Обработка по режимам, предложенным после оптимизации ТП	Материал – сталь 30ХГСА, σ_s - 490 МПа, Исх. шероховатость R_a – 6,3 мкм; Диаметр частиц D – 0,08 мм; Давление струи P – 405,3 МПа; Расход абразива $Q=395$ г/мин, длина реза $L= 1717$ мм, глубина измерения $h = 30$ мм	Шероховатость: R_a – 6,126 мкм; Подача S – 63 мм/мин, Время реза $T_{\text{реза}}$ – 0,36ч Стоимость реза $C_{\text{реза}}$ -843,51руб

Основные результаты и выводы по работе

1. Произведено повышение эффективности процесса гидроабразивной резки за счет оптимизации режимов обработки на основе разработки адекватной теоретической модели формирования шероховатости реза.
2. Разработанные технологические рекомендации позволили улучшить шероховатость обработанной поверхности, уменьшить высоту зоны волнистого реза.
3. Результаты исследований позволили получить зависимость изменения шероховатости реза от режимов резания, толщины и вида материала, отличающиеся возможностью определения величины зоны гладкого и волнистого реза.
4. На основе данных экспериментов получены уравнения, описывающие формирование числа полезных соударений в единицу времени λ , которые используются для расчета теоретических значений шероховатости.
5. При сравнении результатов теоретических и экспериментальных исследований шероховатости обработанной поверхности разница между теоретическими и экспериментальными значениями не превышает 15%.
6. Разработано методическое обеспечение оптимизации технологических параметров процесса резки с учетом достижения заданной шероховатости и обеспечения минимальной себестоимости реза, отличающееся учетом основных технологических параметров ($P_{\text{дин}}$, S , h , Q и т д) и изменения величины шероховатости поверхности по глубине сечения реза.
7. Разработан алгоритм расчета оптимальных параметров технологических процессов гидроабразивной резки листовых материалов с целью увеличения производительности обработки.
8. Разработанная методика оптимизация технологических процессов гидроабразивной резки позволила минимизировать затраты в 2,5 раза при достижении требуемой шероховатости поверхности реза, что подтверждено результатами промышленных испытаний.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по НИР и ИД ДГТУ



А.И. Сухинов

2017 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер ПАО «Роствертол»

И.Б. Сычев

И.Б. Сычев

2017 г.

АКТ

промышленных испытаний

методики выбора оптимальных режимов резания при гидроабразивной резке

Настоящий акт составлен по результатам промышленных испытаний процесса гидроабразивной резки толстолистовых материалов с применением методики оптимизации, учитывающей себестоимость реза. Испытания проводились в период с 1 марта по 15 августа 2017 г. в цехе №35 Механического завода.

Цель испытаний – определение качества, поиск оптимальных режимов гидроабразивной резки толстолистовых авиационных материалов, таких как сталь, алюминиевые сплавы, композиционные материалы. Проведение оптимизации процесса на примере изготовления детали «Скоба».

Объект испытаний – деталь «Скоба» изготавливается на Механическом заводе путем раскроя плиты 30ХГСА на установке гидроабразивной резки Flow с дальнейшей механической обработкой в ц. 57. Основным требованием к качеству получаемой заготовки является получение заданных требований шероховатости поверхности реза $Ra_{\text{из}}=6,3\text{мкм}$.

В серийной технологии изготовления детали применялись следующие режимы обработки: подача $S=25$ мм/мин, диаметр частиц $D=0,08$ мм; давление струи $P=405,3$ МПа; расход абразива $Q=395$ г/мин.

Методика испытаний.

Для определения качества процесса гидроабразивной резки изготавливали несколько пробных образцов прямоугольной форме, на которых происходило ступенчатое увеличение подачи S от 5 до 120 мм/мин через каждые 15 мм реза. После этого производили замеры шероховатости реза на различных глубинах по сечению реза (0, 5, 10, 15 и т.д. мм) на цифровом профилометре Surtronic 25 Taylor Hobson. После соответствующих расчетов было предложено принять за оптимальные режимы резания следующие: диаметр частиц $D=0,08$ мм; давление струи $P=405,3$ МПа; расход

абразива $Q=395$ г/мин; подачу сопла $S=63$ мм/мин.

На заданных режимах была изготовлена деталь, проводилось измерение шероховатости поверхности реза на характерных участках, которые показали, что шероховатость поверхности реза находится в допуске $Ra \leq Ra_{\text{доп}}$.

По результатам испытаний установлено, что применение режимов резания полученных в результате оптимизации процесса гидроабразивной резки позволяет снизить время обработки детали с 0,907 до 0,36ч. При этом себестоимость реза уменьшается с 2126руб до 843,51руб. Применение данных режимов обработки позволяет в 2,5 раза снизить трудоемкость и стоимость изготовления детали по сравнению с серийной технологией.

От ДГТУ:

Профессор, д.т.н.,
Зав. Кафедрой
«Технология
«машиностроения
М.А. Тамаркин

Аспирант
А.В. Верченко

От ОАО «Роствертол»:

Директор МЗ
Е.Н. Кириченко

Главный технолог МЗ
Н.Н. Дерябина

В.В.В.В.

Основные публикации и апробация работы

Публикации в изданиях перечня ВАК Минобрнауки РФ:

1. Повышение эффективности гидроабразивной резки толстолистовых авиационных материалов / А.В. Верченко, М.А. Тамаркин, А.А. Кишко // Вестник МАИ, Т.24, №2 – М.: МАИ, 2017 – с. 104-114
2. Повышение качества гидроабразивной резки деталей из авиационных материалов / А.В. Верченко, М.А. Тамаркин, А.А. Кишко // Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева №2(41) – Рыбинск: РГАТУ, 2017. – с. 88-96.
3. Исследование шероховатости поверхности реза при гидроабразивной резке / А.В. Верченко, М.А. Тамаркин // Вестник ДГТУ №2(89). – Ростов н/Д: ДГТУ, 2017. – с. 116-130.
4. Механизация процесса абразивной обработки деталей из композиционных материалов / А.В. Верченко, М.А. Тамаркин, Н.В. Козулько // Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева №2(41) – Рыбинск: РГАТУ, 2017. – с. 75-82.

Апробация работы на научно-технических конференциях и форумах:

1. Юбилейная конференция студентов и молодых ученых, посвященная 85-летию ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, 2015г.
2. VI Всероссийская научно-техническая конференция молодых специалистов, посвященная 90-й годовщине образования ОАО «УМПО», Уфа, 2015.
3. Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2015, г. Пермь.
4. VIII Всероссийский межотраслевой молодежный конкурс научно-технических работ и проектов в области авиационной и ракетно-космической техники и технологий «Молодежь и будущее авиации и космонавтики», г. Москва, 2016г.
5. Международный молодежный форум «Будущее авиации и космонавтики за молодой Россией», Рыбинск-Москва-Жуковский, 2017г.
6. Международный междисциплинарный форум молодых ученых «Приоритетные направления развития науки, технологий, техники», г. Новосибирск, 2017г.
7. Международная научно-практическая междисциплинарная конференция «Технологии, инновации и предпринимательство», г. Санкт-Петербург, 2017г

Благодарю за внимание!