

На правах рукописи

УДК 621.002.68+
+621.9.04+621.914.1

Гордеев Евгений Николаевич



**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУЖКИ
ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ОТХОДОВ МЕТАЛЛОВ И ПЛАСТ-
МАСС**

Специальность 05.03.01 – «Технологии и оборудование механической и физико-
технической обработки»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Челябинск – 2009

Диссертация выполнена на кафедре «Технология машиностроения, станки и инструмент» филиала Южно-Уральского государственного университета в г. Златоусте.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Сергеев Сергей Васильевич,
доцент кафедры «Технология машиностроения,
станки и инструмент» филиала ГОУ ВПО
«Южно-Уральский государственный
университет» в г. Златоусте.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Шаламов Виктор Георгиевич,
профессор кафедры «Станки и инструмент»
ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный
университет», г. Челябинск;
кандидат технических наук
Истомин Виктор Михайлович,
директор АОЗТ «СКВ Инструмент», г.Златоуст.

Ведущее предприятие – открытое акционерное общество
«НИИ Гермес», г. Златоуст.

Защита состоится « 25 » ноября 2009 г., в 14-00 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.06 в Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 201а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан « 24 » октября 2009 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Щуров И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Диспергированные металлы, в виде гранул, стружки и порошков широко используются в различных отраслях промышленности в чистом виде или в смеси с неметаллическими порошками, из которых изготавливают изделия со специальными свойствами. Для исключения физико-химических превращений при переработке отходов исходного сырья во вторичное применяют элементную стружку, получаемую в результате механического измельчения отходов используемого материала. Измельчение резанием получило распространение для вязких и пластичных материалов (цинк, алюминий, медь, большая часть термопластов), поскольку позволяет перерабатывать такие материалы. Измельченный материал должен, прежде всего, представлять собой отдельные элементы стружки, обладающие заданными размерами, поскольку его неравномерный гранулометрический состав приводит к браку и ухудшению физико-механических свойств получаемого изделия. Широко применяемый в промышленности способ измельчения резанием не позволяет стабильно получать отделяемые элементы стружки требуемых размеров, вследствие усадки, неупорядоченного дробления и отсутствия возможности управления её размерами. Фрезерование, один из немногих видов обработки, при котором практически при любых режимах резания гарантированно получается элементная стружка, размеры которой можно прогнозировать. Однако, при измельчении фрезерованием значения режимов резания близки к режимам, используемым для чернового фрезерования. Кроме того известно, что длина контакта зуба фрезы с обрабатываемым материалом за один оборот, определяющая продольный размер профиля стружки в радиальной плоскости фрезы, зависит только от глубины резания и диаметра фрезы, а эти величины при измельчении составляют десятки и сотни миллиметров. По этой причине, получаемая на выходе стружка будет обладать хоть и стабильными, но относительно крупными размерами (порядка 5...20 миллиметров), также невозможно получать требуемые размеры элементов стружки и управлять этими размерами. Такая стружка не может быть использована в качестве вторичного сырья готового к применению в производстве. Учитывая необходимость переработки возрастающего количества твердых промышленных и бытовых отходов и отмеченные недостатки существующих способов измельчения, совершенствование процесса измельчения фрезерованием является актуальной задачей, которую можно решить

на основе принципиально новых подходов.

Данная работа выполнялась в рамках приоритетных направлений научно-исследовательской работы Высшей школы, разработанных Министерством образования и науки РФ по теме «Технология переработки промышленных и бытовых отходов» при финансовой поддержке РФФИ (проект №07–01–96–052) на 2007–2008 годы, по госбюджетной НИР (№ 01.19.08) проводимой ЮУрГУ по заданию Федерального агентства по образованию на 2008–2009 гг., при финансовой поддержке Всероссийской программы «Старт 07» (Госконтракт №4897р/7319) на 2007–2009 годы, также работа является обладателем гранта аспирантов и молодых ученых 2002 года губернатора Челябинской области.

Цель работы. Повышение эффективности обеспечения требуемых размеров срезаемых элементов стружки при вибрационном фрезеровании отходов металлов и пластмасс, посредством управления принудительными колебательными перемещениями инструмента.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать частную геометро-кинематическую модель процесса формообразования срезаемых элементов стружки при вибрационном фрезеровании, позволяющую управлять размерами этих элементов параметрами принудительных колебаний инструмента.

2. Используя разработанную модель и учитывая влияние механических свойств материала на параметры принудительных колебаний фрезы, определить условия и технологические параметры при которых стабильно обеспечивается получение элементов стружки с требуемыми размерами.

3. Экспериментально проверить теоретические зависимости и условия, при которых обеспечиваются требуемые размеры элементов стружки, с учетом влияния механических свойств материала.

4. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработать методику проектирования операции вибрационного фрезерования отходов металлов и пластмасс.

5. Внедрить результаты исследований в производство и учебный процесс.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением традиционных подходов и непротиворечивостью существующим принципам теории резания, сходимостью теоретических и экспериментальных результатов, использованием при проведении экспериментов известных методик математической

статистики и аттестованных приборов, успешным внедрением результатов на производстве.

Научная новизна работы

– Разработана частная геометро-кинематическая модель процесса формообразования срезаемых элементов стружки в виде уравнений траектории перемещения вершины зуба фрезы, совершающей помимо вращательного, колебательное перемещение в радиальном направлении в перерабатываемом материале. Это позволяет определить размеры получаемого профиля элементов стружки в зависимости от параметров колебаний инструмента

– Установлены зависимости изменения амплитуды, фазы и частоты колебаний фрезы при их самовозбуждении, от механических свойств измельчаемого материала.

– Определены условия, обеспечивающие гарантированное получение требуемых размеров элементов стружки, в виде амплитуды минимально необходимой для разделения стружки на элементы и амплитуды необходимой для получения мелкодисперсной стружки.

– Установлена взаимосвязь размеров элементов стружки с технологическими параметрами процесса вибрационного фрезерования, в частности, с амплитудой и соотношением частоты колебаний и частоты вращения.

Лично автором разработана частная геометро-кинематическая модель формообразования профиля отделяемых элементов стружки при фрезеровании с принудительными колебаниями инструмента, определены условия, обеспечивающие гарантированное получение требуемых размеров элементов стружки; получена методика проектирования операции вибрационного измельчения фрезерованием; разработана конструкция экспериментальной установки для вибрационного фрезерования.

Отличием от результатов, полученных другими авторами, являются частная геометро-кинематическая модель процесса формообразования профиля отделяемых элементов стружки при фрезеровании с принудительными колебаниями инструмента и условия, в виде минимально необходимой амплитуды для разделения стружки на элементы обеспечивающей гарантированное получение требуемых размеров элементов стружки и амплитуды необходимой для получения мелкодисперсной стружки.

Теоретическое значение результатов исследований. Полученные результаты открывают возможность моделирования процессов формообразования элементов стружки, при работе инструментов совершающих принудительные колебательные перемещения.

Практическая ценность работы:

– Разработаны инженерная методика и пакет прикладных программ, для компьютерного моделирования процесса вибрационного фрезерования и расчета размеров получаемых элементов стружки, что ускоряет выбор рациональных технологических параметров этого процесса.

– Спроектировано, изготовлено и внедрено в производство новое оборудование для вибрационно-фрезерного измельчения бракованных деталей и отходов металлов с временным сопротивлением до 100...120 МПа, термопластов и реактопластов с временным сопротивлением до 55 МПа, позволяющее гарантированно получать заданные размеры элементов стружки: для металлов – в диапазоне – 0,04...1,5 мм; для термопластов и реактопластов – в диапазоне – 0,05...7 мм, при высокой производительности процесса. Данное оборудование внедрено на пяти машиностроительных предприятиях Челябинской области.

На защиту выносятся:

– Механизм принудительного вибрационного фрезерования и математические зависимости отражающие условия управляемого формообразования, обеспечивающие стабильное получение требуемых размеров отделяемого элемента стружки.

– Зависимость параметров принудительных колебаний фрезы от механических свойств перерабатываемых материалов.

– Инженерная методика и расчет параметров технологической операции вибрационного фрезерования отходов металлов и пластмасс.

– Новое устройство для измельчения отходов металлов и пластмасс до требуемых размеров элементов стружки.

Реализация результатов работы. Практическое применение разработок позволяет на этапе технологической подготовки процесса переработки отходов задавать требуемые размеры срезаемых элементов и управлять ими непосредственно в производственных условиях. По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработано оборудование для измельчения фрезерованием материалов: металлов с временным сопротивлением до 100...120 МПа, термо-

и реактопластов с временным сопротивлением до 55 МПа. Результаты экспериментов и производственных испытаний вибрационного измельчения материалов фрезерованием подтвердили теоретические выводы о работоспособности данного метода и показали стабильность обеспечения размеров измельченного материала. Новое оборудование в сравнении с существующим, обладая не меньшей производительностью и долговечностью, позволяет получить вторичное сырье с более равномерным гранулометрическим составом. Материалы исследований внедрены в учебный процесс подготовки инженеров по специальностям 151001 и 220301 в дисциплинах «Металлорежущие станки», «Технологические процессы в машиностроении». Внедрение разработанного вибрационно-фрезерного станка на ОАО «Златоустовский часовой завод» г. Златоуст, на ООО «ПРЕСС» г. Златоуст, в НПК «ФИБРОЛИТ» г. Сатка и модернизация существующего оборудования на ОАО «Катав-Ивановский приборостроительный завод», на ОАО «АГРЕГАТ» г. Сим, обеспечило требуемую размерную точность срезаемых элементов стружки, увеличив содержание годного гранулята с 10...30% (по существовавшей технологии) до 60...95% и снижение количества бракованных изделий, получаемых из вторсырья с 3,5...6% до 0,4...0,7%. Экономический эффект от внедрения новой технологии и оборудования по сравнению с существующими составил 1,2 млн. руб.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при разработке технологических процессов переработки отходов металлов, композиционных материалов и пластмасс.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях «Аэрокосмическая техника и высокие технологии», г. Пермь, ПГТУ, в 2000 г.; «Проблемы механики современных машин», г. Улан-Удэ, ВСГТУ, в 2000 г.; «Автоматизация и информатизация в машиностроении», г. Тула, ТулГТУ, в 2000 г.; «Снежинск и наука», г. Снежинск, СФТИ, в 2000 г.; «Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия», г. Орёл, ОрёлГТУ, в 2000 г.; «Вибрационные машины и технологии», г. Курск, КурскГТУ, в 2001, 2003 гг.; «Машиностроение и металлообработка», Кировоград (Украина), КГТУ, в 2003 г.; Курган, в 2005 г.; ЮУрГУ, г. Челябинск, в 2008 г., «Безопасность критических инфраструктур и территорий», УрОРАН, г. Екатеринбург, в 2008 г.

Публикации по теме диссертационной работы. Опубликовано 23 работы, в

том числе 3 в журнале из перечня ВАК, 3 патента на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация, объемом 165 страницы основного текста, 89 рисунков, 4 таблиц, состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка из 119 наименований и приложения с актами внедрения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дается общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, научная новизна и практическая ценность.

В **первой главе** показано, что эффективность измельчения металлов фрезерованием определяется процессом формообразования отделяемых элементов измельчаемого материала, то есть элементов стружки. В работах российских и зарубежных ученых отмечалось, что кинематика резания определяет форму и размеры стружки. Получение элементной стружки может достигаться за счет установки на режущую часть стружколомателей и стружкозавивателей (Грановский Э.Г., Хлудов С.Я., Хайкевич Ю.А., Аверьянова И.Э. и др.), либо изменяя кинематику резания – за счет колебаний режущего инструмента (Подураев В.Н., Кумабэ Д., Жарков И.Г., Смирнов Р.М. и др.). Изученные разработки ведущих ученых в этой области позволили выявить, что существующие математические модели процесса отделения элемента стружки и её формообразования не содержат зависимостей, используя которые можно управлять размерами отделяемого элемента и гарантированно получать даже после фрезерования требуемый гранулометрический состав. Однако определено, что управление процессом отделения элементов стружки возможно за счет изменения кинематических перемещений инструмента, посредством принудительного наложения на него управляемых колебаний.

Во **второй главе** выполнен кинематический анализ перемещений вершины зуба фрезы 1, диаметра D (рис. 1) при сообщении ей совместно вращения вокруг оси O_o , с частотой ω , и радиальных, принудительных колебаний, с частотой ω_k , с амплитудой A , осуществляемое при вращении эксцентрика 2 с частотой ω_k относительно точки $O_э$. Траектория перемещения вершины зуба формируется в результате сложения трех движений: главного движения резания D_f в виде равномерного вращения фрезы с частотой ω , равномерного движения подачи D_{s1} с подачей S , м/с, и колебательного движения подачи в радиальном направлении осуществляемое вращательным движением эксцентрика D_{s2} . Для перемещения вер-

шины зуба в координатах xu , фрезеруемого материала получена зависимость

$$\begin{cases} x=D/2 \sin \omega t+A \cdot \sin \omega_{\kappa} t, \\ y=S t+D/2 \cos \omega t+A \cdot \cos \omega_{\kappa} t, \end{cases}$$

где t – время, с.

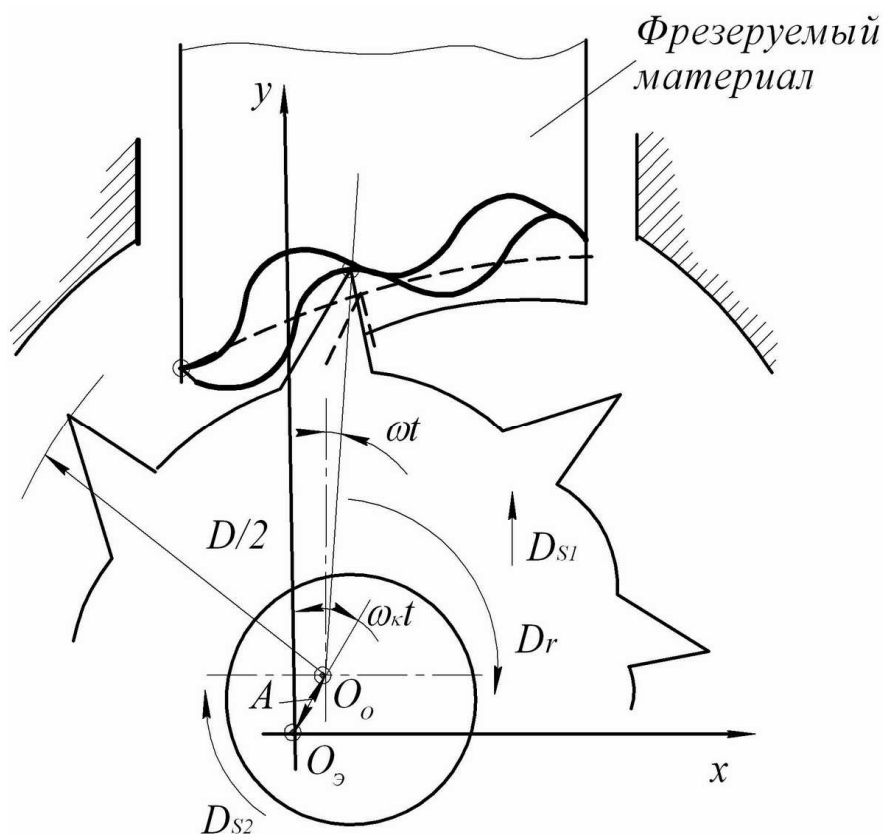


Рис. 1. Схема формообразования элемента стружки при вибрационном фрезеровании

Исходя из этого, было определено условие прерывистого резания, гарантирующее отделение элементов стружки (рис. 2), и соответственно минимальная амплитуда, обеспечивающая пересечение предыдущей и последующей траекторий:

$$A \geq \frac{\pi S}{Z \omega |\sin(\pi \omega_{\kappa} / \omega)|},$$

где Z – число зубьев. Соблюдение этого условия гарантирует отделение элементов стружки. При этом выявлено, что при отношении $\omega_{\kappa} / \omega = c$ – целому числу предыдущая и последующая траектории перемещения вершины зуба в обрабатывае-

мом материале не пересекаются при сколь угодно больших амплитудах колебаний, что не позволяет гарантировать отделение элементов стружки.

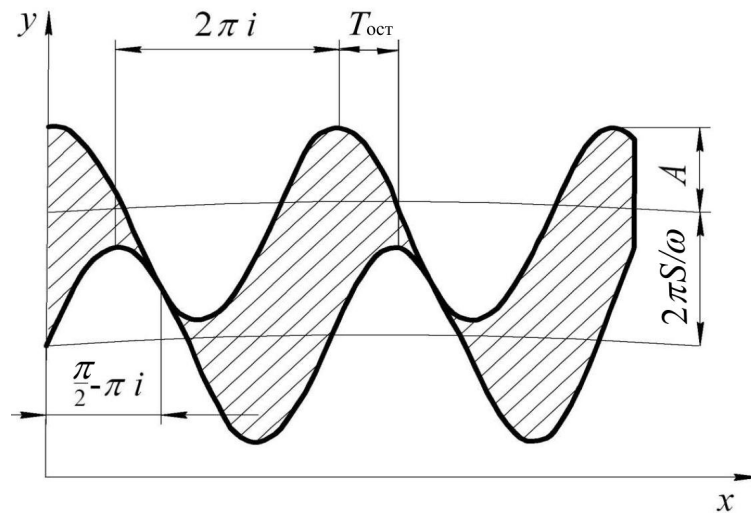


Рис. 2. Схема формирования элемента стружки

Приняв допущение о дискретном характере перемещений вершины зуба в перерабатываемом материале, как последовательность m синусоидальных кривых с нулевыми линиями в виде окружностей расположенных с шагом $2\pi S/\omega$, сдвигом по фазе на каждом обороте $2\pi i$, приняв $\omega_k/\omega = c+i$, разработана модель формообразования срезаемых элементов стружки, представленная как текущее значение их толщины a_t (по оси y), которая будет определяться m -й и $m-n$ -й кривой, в виде разности соответствующих координат y_m и y_{m-n} :

$$a_t = y_m - y_{m-n} = \frac{2\pi S}{\omega} n + \left[A \cos(\omega_k t + 2\pi i m) - \cos(\omega_k t + 2\pi i(m-n)) \right]$$

где n – число траекторий формирующих срезаемый элемент

Расчет траектории перемещения вершины режущего клина зуба и размеров профиля отделяемого элемента стружки в радиальной плоскости фрезы проведен при помощи разработанной компьютерной программы. Определены координаты точек пересечения A, B, C, D последующей и предыдущих траекторий (рис. 3) и соответственно линии, ограничивающие профиль отделяемых элементов в рабочей плоскости. Впоследствии вычислены линейные размеры d_x и d_y , а также величина a стороны квадрата описанного вокруг полученного сечения.

В процессе исследования на расчетной траектории были выявлены «петли» (рис. 4а), свидетельствующие о появлении участков траектории, на которых результирующее движение резания направленно противоположно главному движе-

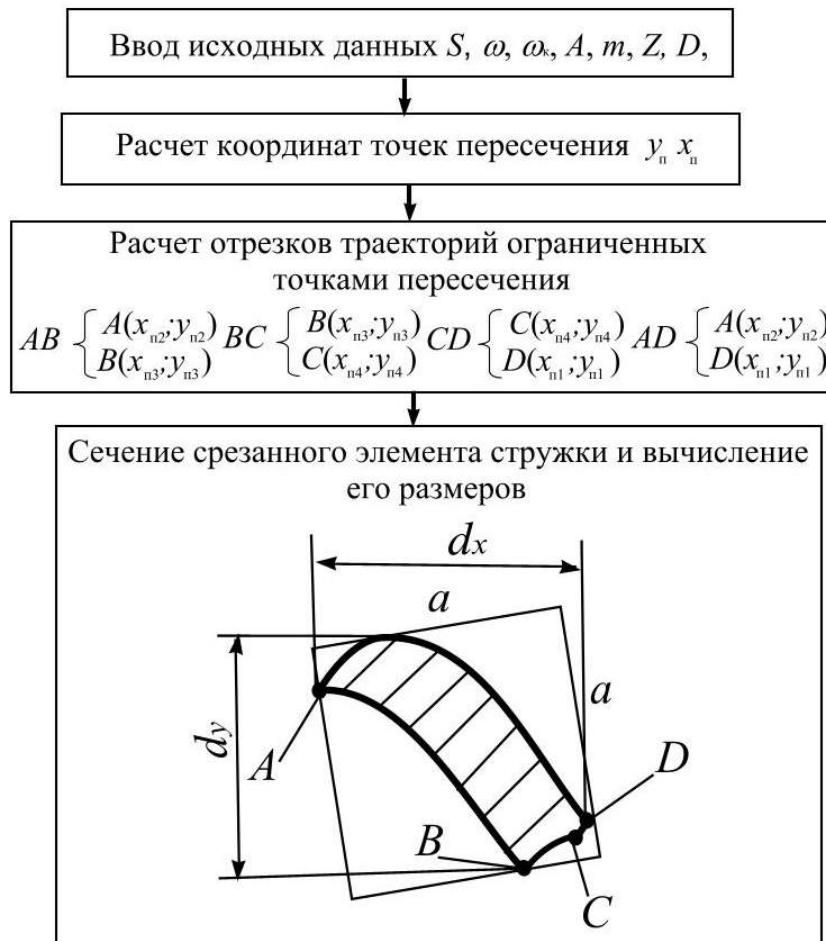


Рис. 3. Алгоритм компьютерного расчета

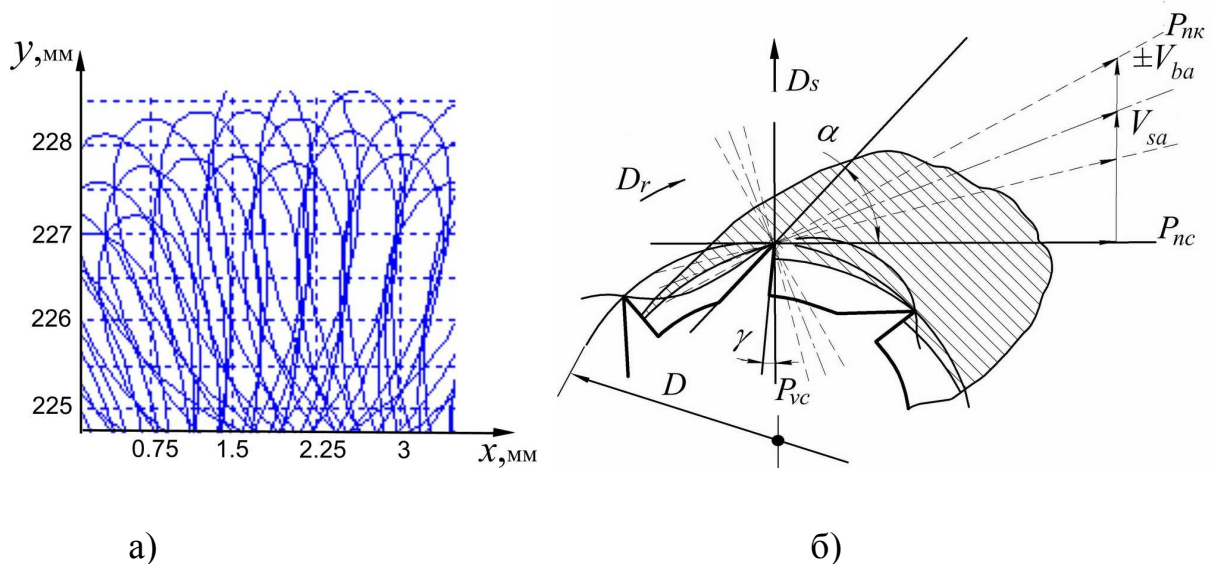


Рис. 4. Схема кинематического изменения рабочих углов при вибрационном фрезеровании: а) формирование петель на траектории, б) схема изменения положения плоскости резания

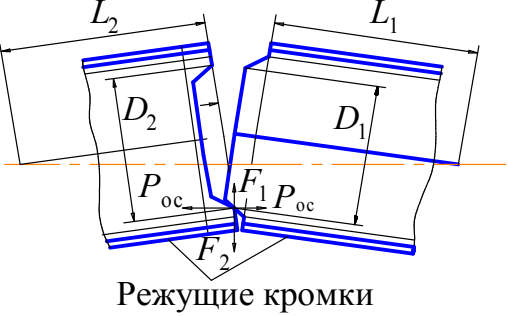
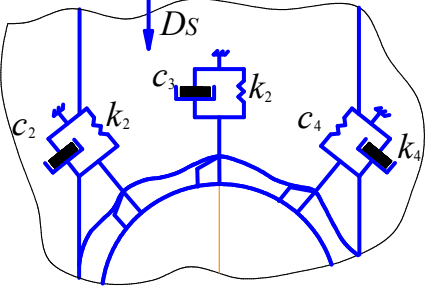
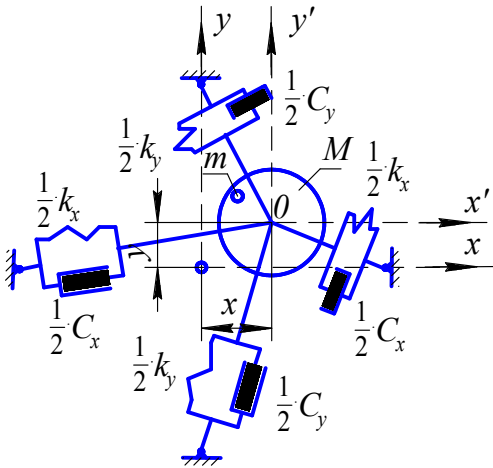
нию резания. Это обуславливает возможность получения элементной стружки неупорядоченного размера. Проанализировав этот процесс (рис. 4б), определены положения основной плоскости P_v и плоскости резания P_n при вибрационном перемещении режущей кромки. Выявлено отклонение плоскости резания в связи с наличием движения подачи со скоростью v_{sa} и вибрационного перемещения со скоростью $v_{ва}$, что ведет к кинематическому уменьшению заднего угла вплоть до 0, это обуславливает смену направления результирующего движения резания (противоположно D_r). Определено условие возникновения такого процесса резания:

$$A = \frac{1}{2\omega_k} (D\omega \operatorname{tg} \alpha - 2S), \text{ (мм)},$$

где α – задний угол.

Для выявления влияния свойств материала на параметры колебаний фрезы выполнен анализ их взаимодействия. Схема работы фрезы с материалом с коэффициентами вязких сопротивлений C показана в табл. 1. Для обеспечения высокочастотных (более 100 Гц) колебаний фрезы и высокой вынуждающей силы, используется способ (А.с. 1664412 С.Г. Лакирев, С.В Сергеев, Я.М. Хилькевич) возбуждения колебаний (табл. 1, п. 1) при взаимодействии торцев двух вращающихся фрез, закрепленных на упругих валах с жесткостью j . Колебания генерируются при взаимодействии двух вращающихся соосно фрез по их торцевым поверхностям, их центры перемещаются по круговой траектории в направлении, противоположном направлению вращения. Амплитуда и частота колебаний без учета влияния свойств обрабатываемого материала равны соответственно ρ и ω_k . При этом выявлено, что наиболее рационально управлять амплитудой и частотой колебаний фрез изменением осевой силы P_{oc} их взаимодействия. Схема нагружения (табл. 1, п. 2) отражает взаимодействие одной фрезы массы m_1 вращающейся с частотой ω_1 с измельчаемым материалом массой M , при этом вторая фреза представлена в виде сосредоточенной массы m_2 и вращается с частотой ω_2 . Определены перемещения колеблющейся массы в направлении осей x, y в установившемся режиме, амплитуда колебаний и угол сдвига фаз между ее перемещениями и смещениями фрезы. Рассмотренная схема представляет собой наиболее общий случай нагружения. В случае наличия жесткой связи между фрезой и перерабатываемым материалом процесс будет являться частным случаем рассмотренного выше,

Расчет технологических параметров колебаний фрез с учетом влияния физических свойств материала

<p>1 Схема самовозбуждения колебаний фрез:</p>  <p>Режущие кромки</p>	<p>Частота колебаний:</p> $\omega_k = \frac{P_{oc}}{2mL\omega} + \sqrt{\frac{P_{oc}^2}{2m^2L^2\omega^2} + \frac{j^2}{m}}$ $\omega = (\omega_1 \pm \omega_2); m = m_1 + m_2;$ $L = L_1 + L_2$ $\rho\omega_k = \frac{D_1}{2} (\omega_1 \pm \omega_2) = \text{const}$
<p>2 Схема нагружения фрезы</p> <p>а) общий случай:</p>  <p>б) для инерционного вибропривода:</p> 	<p>Уравнения перемещений:</p> $\begin{cases} x = A_x \cos(\omega_k t - \beta_x), \\ y = A_y \sin(\omega_k t - \beta_y), \end{cases}$ <p>Амплитуда колебаний:</p> $\begin{cases} A_x = \frac{q\rho\omega_k^2}{\sqrt{4n_x^2\omega_k^2 + (p_x^2 - \omega_k^2)^2}}, \\ A_y = \frac{q\rho\omega_k^2}{\sqrt{4n_y^2\omega_k^2 + (p_y^2 - \omega_k^2)^2}}, \end{cases}$ <p>Сдвиг фазы</p> $\begin{cases} \beta_x = \arctg \frac{2n_x\omega_k}{p_x^2 - \omega_k^2}, \\ \beta_y = \arctg \frac{2n_y\omega_k}{p_y^2 - \omega_k^2}, \end{cases}$ <p>где n_x, n_y – приведенные коэффициенты вязкости, p_x, p_y – собственные частоты колебаний на упругих элементах k_x, k_y, q – соотношение M/m.</p>

вследствие наличия взаимосвязи между частотой и амплитудой колебаний фрез – $2A\omega_k = \omega D$.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований.

Первоначально исследована кинематика процесса при принудительном возбуждении колебаний фрезы. Основное внимание на этом этапе уделялось выявлению влияния амплитуды колебаний фрезы на процесс формообразования и размеры элементов стружки. В вибрационно-фрезерной установке (рис. 5), фрезе, помимо вращательного движения, сообщают колебания с амплитудой от 0 до 5мм и с частотой от 0 до 200 Гц.

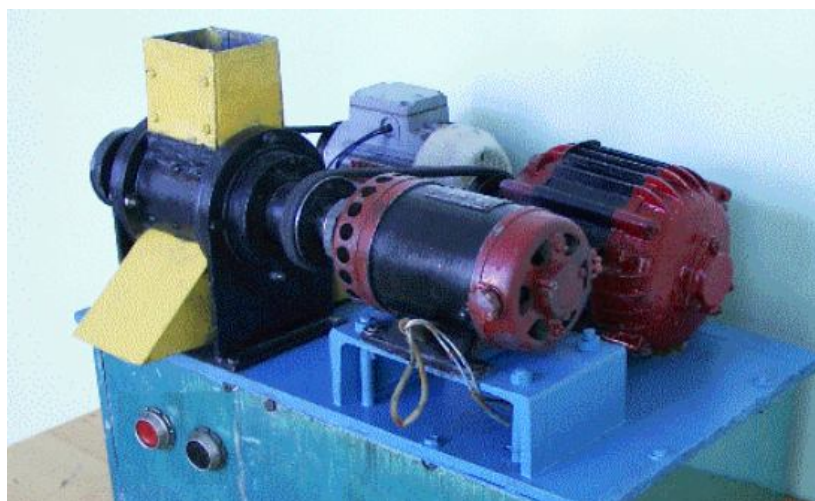


Рис. 5. Вибрационно-фрезерная установка

Для изменения амплитуды колебаний использовался набор сменных эксцентриков, посредством изменения частоты вращения его приводного электродвигателя изменялась частота колебаний фрезы. Траектория перемещений режущей кромки определялась по следу, полученному от неё на поверхности образцов и по размеру и профилю срезанных элементов стружки (табл. 2). Расхождения расчетных и фактически полученных значений размеров срезаемых элементов составляют не более 7 %. В ходе эксперимента фрезерованию подвергались металлы и пластмасс, с временным сопротивлением до 120 МПа, в частности алюминиевые и медные сплавы, термо- и реактопласты. Далее исследованы параметры колебаний фрезы при взаимодействии с технологическим материалом и разработана установка, моделирующая такое взаимодействие для одной фрезы. По осциллограммам построены графики зависимости амплитуды и частоты колебаний от физических свойств этого материала. Полученные экспериментальные данные соответствуют теоретическим предположениям, максимальная погрешность полученных результатов находится для различных измерений в диапазоне от 5 до 12 %.

На последнем этапе проведен производственный эксперимент на модернизированной установке в условиях завода «Агрегат» (г. Сим). Модернизации был

Профиль полученных элементов стружки ($A=2,4$ мм)

Расчетное	Экспериментальное	Образцы
		<p>Алюминий</p>
		<p>Полистирол</p>

подвергнут используемый на предприятии измельчитель отходов термопластов модели ИПР 150 (рис. 6). Были произведены расчеты параметров технологического процесса и элементов оборудования, подвергшихся модернизации, с целью обеспечения размера d_x получаемых гранул. Это позволило управлять размерами полученных частиц в диапазоне от 3 до 7 мм при изменении силы взаимодействия

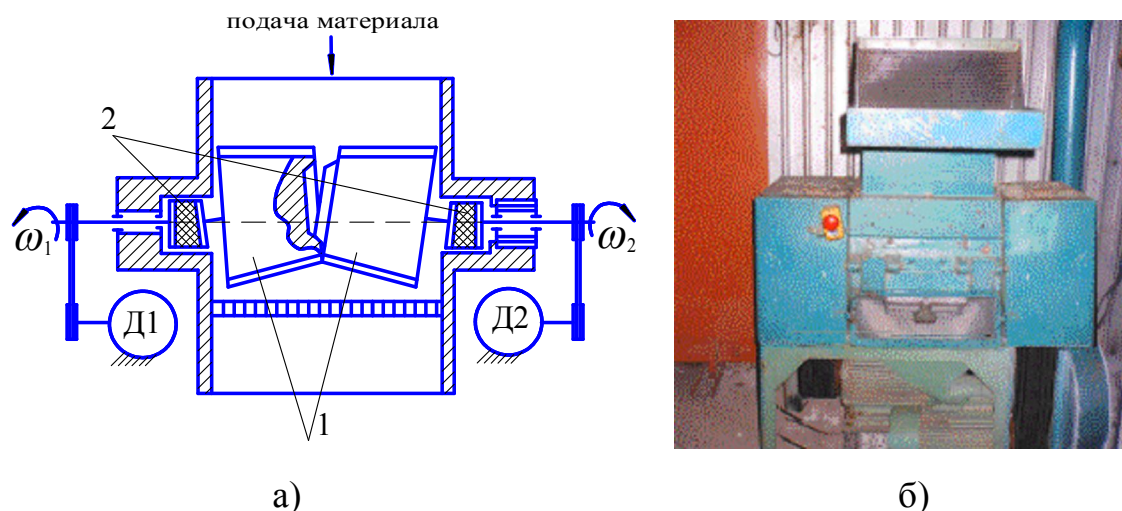


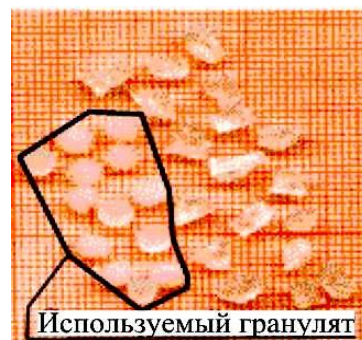
Рис. 6. Производственная установка: а) кинематическая схема:

1 – фрезы; 2 – упругая муфта; б) общий вид

конических торцев фрез от 20 до 200 Н (рис. 7). В результате модернизации снизилось количество измельченных частиц, непригодных к использованию, на 25% и от общей массы составило не более 13%. Кроме того уменьшилось количество



а)



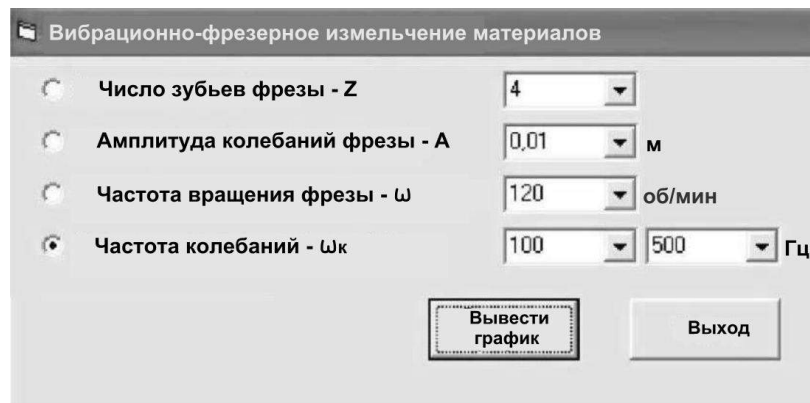
б)

Рис. 7. Полученные образцы полиметилметакрилата: а) при $P_{oc} = 20$ Н; размер $d_x = 7$ мм; б) при $P_{oc} = 50$ Н; размер $d_x = 4$ мм

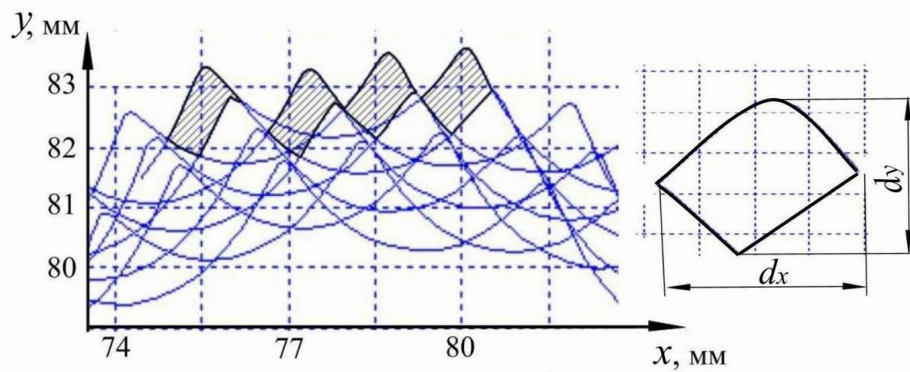
бракованных изделий получаемых из вторсырья с 3,5% до 0,4%.

В четвертой главе в основу методики проектирования технологической операции вибрационного фрезерования положены разработанные модели и результаты экспериментальных исследований закономерностей формообразования и размерной точности при наложении колебаний на фрезу, а также опыт обработки металлов и термопластов фрезерованием. Решение задачи управления процессом формообразования и соответственно размерами отделяемых элементов стружки осуществлено за счет управления амплитудой вынужденных колебаний фрезы. Обеспечение такого процесса возможно несложными технологическими приемами на модернизированном оборудовании. Новые приемы и технологические системы защищены патентом РФ [4]. С целью облегчения труда проектировщика разработано программное обеспечение расчета режимов операции вибрационного фрезерования для материалов используемых в промышленности (цветные металлы и пластмассы). Задавая исходные параметры, получаем необходимые данные о настройке оборудования (рис. 8). Для получения заданного гранулометрического состава материала необходимо произвести настройку станка в соответствии с полученными значениями силы взаимодействия торцев фрез и соответственно амплитуды и частоты их колебаний.

В пятой главе приведены результаты внедрения диссертационных исследований на производстве. В частности разработано и модернизировано оборудование для вибрационно-фрезерного измельчения вторсырья металлов с временным сопротивлением до 120 МПа, термо- и реактопластов с временным сопротивлением до 55 МПа, примеры которого приведены на рис. 9, 10 (ОАО «Златоустовский часовой завод»).



а)



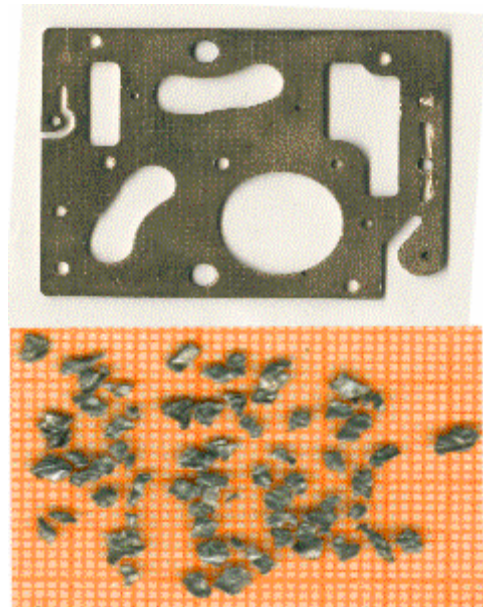
б)

Рис. 8. Интерфейс разработанного программного пакета:
а) окно программы; б) рассчитанные траектории
и отделяемый элемент стружки.



а)

Рис. 9. Вибрационно-фрезерный
станок



б)

Рис. 10. Отходы и измельченное
вторсырье латуни

Технология и оборудование для вибрационного фрезерования технологических материалов (металлов и их сплавов, композиционных материалов, а также пластмасс) внедрены на пяти предприятиях и в учебный процесс подготовки инженеров в филиалах ЮУрГУ в городах Златоусте и Усть-Катаве по специальностям 151001 «Технология машиностроения» и 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении)».

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Для фрезерования с принудительными колебаниями инструмента, разработана частная геометро-кинематическая модель процесса формообразования срезаемых элементов стружки в виде уравнений траектории перемещения вершины зуба фрезы при вибрационном фрезеровании, на основе которой выявлено влияние параметров колебаний инструмента на этот процесс. Данная модель позволяет рассчитать траекторию перемещения вершины зуба и срезаемый профиль элементов стружки в зависимости от параметров колебаний фрезы.

2. На основе полученных уравнений:

– определено значение амплитуды колебаний, обеспечивающее гарантированное отделение одинаковых элементов стружки, которое уменьшается при приближении соотношения частоты колебаний и частоты вращения к величине кратной 0,5 и стремится к бесконечности если это соотношение равно целому числу;

– выявлено, что процесс упорядоченного получения элементной стружки требуемого размера ограничивается максимальным значением амплитуды, из-за смены направления результирующего движения резания инструмента. Это значение амплитуды обратно пропорционально частоте колебаний. При этом гарантированно обеспечивается отделение элементной мелкодисперсной стружки и это проявляется только тогда, когда направление вектора главного движения фрезы противоположно направлению результирующего вектора ее виброперемещения.

– доказано, что с увеличением предела прочности и модуля упругости обрабатываемого материала, при самовозбуждении колебаний фрез, размеры сечения элементов стружки уменьшаются.

3. Экспериментально подтверждены теоретические зависимости и условия, при которых обеспечиваются требуемые размеры элементов стружки, с учетом влияния свойств измельчаемого материала.

4. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработано новое устройство для вибрационного фрезерования отходов ме-

таллов и пластмасс, а также методика расчета технологических параметров процесса.

5. Устройство для вибрационного фрезерования бракованных деталей из металлов с пределом прочности до 120 МПа до размеров стружки 0,04...1,5 мм. внедрено в промышленности, проведена модернизация серийного оборудования для измельчения термо- и реактопластов с пределом прочности до 55 МПа и получения размеров стружки 0,05...7 мм.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Издания из перечня Высшей аттестационной комиссии

1. Способ формирования элементов стружки при вибрационном фрезеровании отходов металлов и пластмасс. / С.В. Сергеев, Е.Н. Гордеев. // *Металлообработка*. – С. Петербург: Изд-во «Политехника», 2009. – № 4. – С. 12–15.

2. Совершенствование процесса переработки отходов композиционных материалов на металлической основе. / С.В. Сергеев, Е.Н. Гордеев. // *Безопасность в техносфере*. – Москва: Изд-во «Русский журнал», 2009. – № 2. – С. 38–40.

3. Совершенствование технологии переработки отходов цветных металлов в качественное вторичное сырье. / С.В. Сергеев, Е. Н. Гордеев и др. // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. – Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2009. – Вып. 2. – С. 31–33.

4. Пат. 2213618 Российская Федерация, МПК⁷ 7 В 02 С 19/00. Способ и устройство измельчения материалов / С.В. Сергеев, Е.Н. Гордеев и др. – № 2002102797/03; заявл. 31.01.02; опубл. 10.10.03, Бюл. № 28. – 56 с.

Остальные издания

5. Гордеев, Е.Н. Исследование и совершенствование технологии и оборудования для вибрационного измельчения машиностроительных материалов резанием. / Е.Н. Гордеев, С.В. Сергеев, Б.А. Решетников // *Вестник Курганского университета. Серия «Технические науки»*. – Курган: Изд-во КГУ, 2005. – Вып. 2. – С. 76–79.

6. Гордеев, Е.Н. Исследование и совершенствование процесса вибрационного измельчения материалов резанием / Е.Н. Гордеев, С.В. Сергеев, Б.А. Решетников // *Машиностроение и металлообработка: сб. науч. тр.* – Кировоград: КГТУ, 2003. – С. 204–205.

7. Исследование колебательных процессов в инерционных системах. / С.В. Сергеев, Е.Н. Гордеев и др // *Вибрационные машины и технологии: Тематический сб. науч. тр.* – Курск: КурскГТУ, 1999. – С. 103–106.

8. Сергеев, С.В. Компьютерный расчёт геометрических параметров и режимов

настройки новых инерционных планетарных систем. / С.В. Сергеев, С.Г. Лакирев, Е.Н. Гордеев // Автоматизация и информатизация в машиностроении: сборник трудов первой электронной международной научно-технической конференции – Тула: ТулГТУ, 2000. – С. 87–88.

9. Гордеев, Е.Н. Интенсификация процессов измельчения и уплотнения технологических сред / Е.Н. Гордеев. // Конкурс грантов студентов и аспирантов Челябинской области: сборник рефератов научно-исследовательских работ аспирантов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 35.

Гордеев Евгений Николаевич

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУЖКИ
ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ОТХОДОВ
МЕТАЛЛОВ И ПЛАСТМАСС

Специальность 05.03.01 – «Технологии и оборудование
механической и физико-технической обработки»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Пописано в печать 01.04.2009. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л 1. Тираж 100 экз. Заказ 104.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.

454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76