

На правах рукописи

Смирнов Роман Михайлович

Повышение эффективности процесса получения армирующих фиброэлементов
методом вибрационного течения

Специальность 05.03.01 - " Технологии и оборудование механической и
физико- технической обработки"

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2003

Диссертация выполнена в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете

Научный руководитель	- член-корреспондент АТН РФ, доктор технических наук, профессор Шатерин М.А.
Официальные оппоненты	- доктор технических наук, профессор Мурашкин С.Л. - кандидат технических наук, доцент Петров В.М.
Ведущая организация	Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится 28 октября 2003 года в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.26 в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, ауд. 41, 1-го учебного корпуса.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ "СПбГПУ".

Автореферат разослан _____ 2003 года

Ученый секретарь
специализированного совета

Тисенко В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Перспективы развития технического прогресса в настоящее время в значительной степени определяются созданием и широким применением композиционных материалов. К числу последних относится и сталефибробетон (СФБ), представляющий собой бетон, армированный стальными волокнами (фибрами). Благодаря своим высоким физико-механическим характеристикам и хорошей технологичности, сталефибробетон находит все большее применение в дорожном, аэродромном и тоннельном строительстве, при создании ирригационных сооружений, строительстве гидростанций и фортификационных сооружений, устройстве хранилищ для сжиженных газов, а также могильников радиоактивных и ядовитых отходов, при изготовлении крупногабаритных станин станков и прессов, при ремонте дорог, мостов, тоннелей и других строительных объектов. Кроме того, металлическая фибра может успешно использоваться при производстве фрикционных материалов и фильтров. Все это требует организации массового изготовления армирующих стальных игольчатых элементов. Однако известные способы получения последних низкопроизводительны, неэкономичны, не обеспечивают стабильного получения их размеров и физико-механических характеристик.

Изложенное определяет актуальность настоящей работы.

Цель работы. Целью работы является повышение эффективности процесса получения необходимого качества стальных армирующих фиброэлементов для композиционных материалов методом вибрационного точения.

Методы исследований. В работе использованы аналитические и экспериментальные методы.

Для измерения усилий, действующих на режущую кромку в процессе вибрационного точения, были разработаны и изготовлены пьезоэлектрические

датчики оригинальной конструкции, при тарировании которых применялся крешерный метод.

Теоретические исследования напряжений, возникающих в режущем клине, проводились с помощью компьютерной программы ANSYS 5.5.1, использующей метод конечных элементов, в форме моделирования процессов нагружения лезвия инструмента при получении АФЭ вибрационным точением. Температуры в зоне резания рассчитывались по методике А.Н. Резникова и измерялись с применением метода естественной термопары.

Эксперименты выполнялись на основе многофакторного планирования с использованием универсального металлорежущего оборудования, специальных приспособлений, а также специальных резцов, разработанных для высокопроизводительного получения качественных армирующих фиброэлементов (АФЭ).

Научная новизна работы заключается в:

- исследовании особенностей работоспособности инструмента при точении с интенсивными автоколебаниями;
- установлении особенностей силового и теплового нагружения лезвия инструмента при получении АФЭ методом высокочастотного вибрационного точения;
- разработке оптимизационной модели процесса высокочастотного вибрационного точения в условиях потери контакта инструмента с заготовкой, позволяющей выбирать конструктивные параметры державки резца, обеспечивающие максимальную производительность процесса изготовления АФЭ.

Практическая значимость работы состоит в:

- создании методики и алгоритма выбора геометрических параметров державки инструмента, обеспечивающих максимальную производительность получения заданных по качеству стальных АФЭ методом вибрационного точения;

- разработке методики и конкретных рекомендаций по выбору режимов вибрационного точения, обеспечивающих получение требуемого качества АФЭ при высокой производительности процесса.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на 54-ой и 55-ой научных конференциях профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета в 1997 и 1998 годах. В 2002 году работа выиграла конкурс персональных грантов для студентов, аспирантов и молодых специалистов С.-Петербурга.

Публикации. По материалам проведенных исследований опубликовано 5 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы из 71 наименования и 5 приложений. Работа содержит 151 страницу машинописного текста, 51 рисунок, 4 таблицы.

Основное содержание работы

Во введении рассмотрено использование волоконных материалов при создании композитов. Описаны области применения стальных АФЭ и основные способы их получения. Указана перспективность способа изготовления армирующих элементов методом вибрационного точения с автоколебаниями, при котором происходит периодический выход инструмента из контакта с заготовкой, и обоснована актуальность данной работы.

В первой главе приведен аналитический обзор имеющихся сведений по теме диссертации. Дается обоснование применения АФЭ, как массового продукта при производстве перспективных композиционных материалов, одним из которых является сталефибробетон. Перечислены возможные области рационального использования сталефибробетона, определяющие необходимость его производства в значительных объемах, а также указаны наиболее значимые факторы его успешного применения. Определены требования, предъявляемые к

армирующим элементам для сталефибробетона. Описаны современные методы изготовления таких элементов, отмечены их преимущества и недостатки.

Предложенный М.Т. Коротких принципиально новый способ получения армирующих фиброэлементов посредством вибрационного точения (рис.1) основан на создании интенсивных высокочастотных отрывных автоколебаний инструмента (более 2000 Гц), сопровождающихся периодическим выходом лезвия инструмента из контакта с заготовкой.

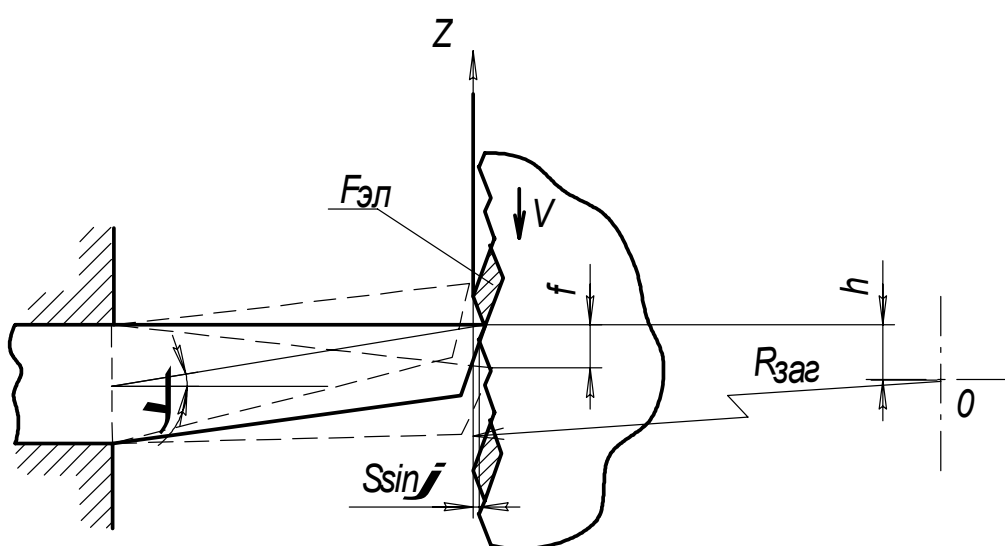


Рис. 1 Схема точения с автоколебаниями

Такие автоколебания позволяют получать высокую производительность процесса и формировать стружку в виде отдельных игл, имеющих хорошую однородность по форме и площади поперечного сечения. Образующиеся АФЭ обладают сильно развитой боковой поверхностью, что улучшает их заделку в матрице и способствует повышению прочности сталефибробетона.

О возможности возникновения указанных автоколебаний упоминалось в работах Д.Н. Решетова, А.П. Соколовского и других ученых. Однако этот случай всегда рассматривался как аварийный, связанный с недопустимым изменением качества обработанной поверхности или разрушением инструмента.

Имеющиеся литературные данные показывают, что для устойчивого возбуждения и поддержания интенсивных автоколебаний, при которых каждый период сопровождается потерей контакта инструмента с заготовкой и разделением стружки на отдельные иглообразные элементы, нужно, чтобы для конкретной конструкции инструмента толщина срезаемого слоя была меньше некоторой критической величины. При этом требуется определенная жесткость и прочность державки резца, что должно обеспечивать устойчивость процесса колебаний без поломки инструмента. Кроме того, необходимо, чтобы перемещение лезвия инструмента при вибрациях происходило под некоторым углом к поверхности резания, обуславливая внедрение резца в материал заготовки. Отмечается также, что движение лезвия инструмента при такого рода колебаниях сопровождается контактом режущего клина с заготовкой за время менее $1/3$ периода колебаний, а скорость перемещения материала заготовки относительно лезвия инструмента в момент его радиального внедрения значительно меньше скорости резания. Это, по опубликованным данным, влечет за собой весьма низкую среднюю температуру отделяющихся фиброэлементов, значительно меньшую температуры стружки, образующейся при точении без вибраций на аналогичных режимах резания. Однако указанное заключение было сделано лишь на основе визуального наблюдения за процессом получения АФЭ вибрационным точением, что, безусловно, требует соответствующей проверки проведением серии необходимых экспериментов.

Отмечается также, что устойчивость процесса вибрационного точения и достаточная прочность лезвия обеспечиваются при значении главного заднего угла в интервале $25...30^\circ$. В то же время в случае перехода на непрерывное точение режущая кромка инструмента с такой геометрией мгновенно выкрашивается, что исключает возможность дальнейшей работы инструмента.

Анализируя влияние ряда параметров данного способа, М.Т. Коротких показал, что наиболее существенное влияние на производительность процесса оказывает собственная частота колебаний резца, повышение которой возможно

лишь при соблюдении необходимых ограничений. Однако указанный анализ был проведен исключительно для призматических резцов с державками прямоугольного сечения, постоянного вдоль оси инструмента. В то же время чрезвычайный интерес представляет оптимизация формы поперечного сечения консольного участка резца и его материала, которая может привести к существенному увеличению производительности процесса получения фиброэлементов. При этом такая оптимизация невозможна без проведения исследований, направленных на выявления всех особенностей динамического нагружения режущего лезвия инструмента в процессе вибрационного точения, во взаимосвязи их с усталостной прочностью инструмента и амплитудой колебаний лезвия, обеспечивающей получение АФЭ с требуемыми геометрическими параметрами.

Следует также отметить недостаточность проработки схемы образования фиброэлементов, причин их пакетирования и вопросов стойкости лезвия инструмента.

На основании выполненного анализа литературных источников и в соответствии с целью настоящей работы были сформулированы следующие основные задачи исследования, для решения которых следует:

- установить области устойчивого возникновения и поддержания интенсивных автоколебаний, необходимых для образования качественных фиброэлементов во взаимосвязи с работоспособностью и стойкостью инструмента;
- установить механизм образования фиброэлементов при получении их методом вибрационного точения в условиях интенсивных автоколебаний;
- провести исследования особенностей силового и теплового нагружения лезвия инструмента в процессе вибрационного точения;
- разработать методику проектирования державки резца, обеспечивающего максимальную производительность процесса получения фиброэлементов заданных параметров при экономически целесообразной стойкости инструмента;

– создать методику выбора оптимальных режимов процесса, исходя из заданных параметров и свойств продукта;

– разработать алгоритм и программу, позволяющие проводить поиск оптимальных форм державки инструмента и свойств её материала, необходимых для обеспечения высокой производительности процесса и конкретных заданных параметров качества продукта;

– провести анализ экономической целесообразности способа получения армирующих фиброэлементов методом вибрационного точения.

Вторая глава посвящена выбору оптимальных параметров режимов резания.

Режущее лезвие инструмента при получении АФЭ точением с интенсивными автоколебаниями находится в совершенно нетрадиционных условиях. Долговечность эксплуатации инструмента в условиях точения с интенсивными высокочастотными автоколебаниями определяется стойкостью режущего клина и способностью державки выдерживать без усталостного разрушения знакопеременные деформации с частотой более 2000 Гц в течение длительного времени. Критерием же стойкости лезвия является прекращение получения АФЭ требуемого качества.

Сравнительные испытания различных марок инструментальных материалов выявили наибольшую целесообразность использования для реализации этого процесса твердых сплавов, имеющих минимальный коэффициент трения, а именно двухкарбидных титано-вольфрамовых сплавов группы ТК (Т15К6, Т30К4).

Особенности нагружения лезвия при точении с интенсивными автоколебаниями приводят к развитию износа, который происходит по его передней и по задней поверхностям (рис. 2).

Одновременно наблюдается постепенное увеличение радиуса округления лезвия инструмента. В условиях удаления весьма тонких слоев

($a \approx 0,03 \div 0,04$ мм) последнее обуславливает рост фактических отрицательных передних углов лезвия, уменьшение условного угла сдвига стружки и увеличе-

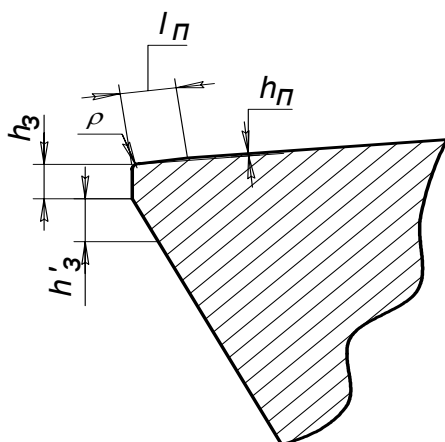


Рис. 2 Схема износа лезвия при получении АФЭ точением с интенсивными отрывными автоколебаниями резца

ние слоя, подминаемого под заднюю поверхность материала, следствием чего является возрастание действующих здесь сил трения. Это, в совокупности с ростом силы резания, приводит к тому, что при некотором износе режущего клина выход инструмента из контакта с заготовкой прекращается. Образующаяся при этом стружка из элементной трансформируется в непрерывную, напоминающую суставчатую, и появляются недопустимые по качеству АФЭ пакеты.

Варьирование геометрическими параметрами лезвия (γ , α) показало, что для внедрения режущего клина в материал заготовки в условиях автоколебаний необходимо существенное увеличение заднего угла. Одновременно для упрочнения режущего клина и предотвращения выкрашивания режущей кромки следует уменьшать передний угол. Однако чрезмерное уменьшение последнего приводит к образованию блоков стружечных элементов. Результаты экспериментов позволили рекомендовать в качестве оптимальных значения переднего и заднего углов соответственно равными -5° и 25° .

Максимальная стойкость лезвия при изготовлении фибры методом вибрационного точения была достигнута при окружной скорости вращения заготовки 160 м/мин.

Причем количество элементов, получаемых с режущей кромки инструмента за период её стойкости составило 2 млн. Эксперименты с применением резцов с другими собственными частотами колебаний державки в условиях производства АФЭ с аналогичными геометрическими параметрами и при той же окружной скорости вращения заготовки показали, что количество получаемых фиброэлементов также не превышает 2 млн., что, по-видимому, свидетельствует об усталостном адгезионном разрушении лезвия инструмента при его циклическом нагружении.

В третьей главе представлены результаты исследований, позволивших выявить специфику силового нагружения лезвия инструмента, а также приводятся данные, необходимые для построения оптимизационной модели процесса. Для исследования силового нагружения инструмента были изготовлены пьезоэлектрические датчики давления оригинальной конструкции, имеющие малые размеры и являющиеся наиболее целесообразными для изучения данных условий резания. В корпусе 1 такого датчика (рис. 3), выполненного из закален-

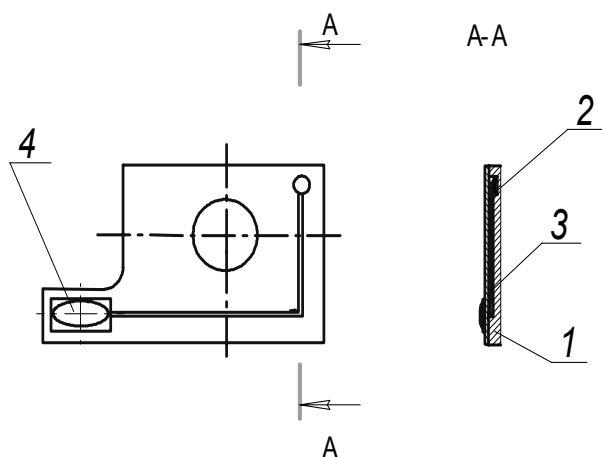


Рис. 3 Устройство пьезоэлектрического датчика

ной стали (HRC55), имеется глухое отверстие для установки пьезоэлектрического элемента 2 и канал для проводника 3. Указанный элемент приклеен ко дну отверстия электропроводным клеем. Вторая сторона пьезоэлемента тем же клеем связана с проводником, находящемся в канале и изолированным от его стенок. Другой конец проводника припаян к контактной площадке 4. Отверстие и канал залиты эпоксидной смолой и закрыты фольгой из закаленной стали. При тарировании датчика использовался крешерный метод, позволивший находить в дальнейшем численные значения силы при получении фиброэлементов в достаточно широком диапазоне площадей их поперечного сечения (рис.4).

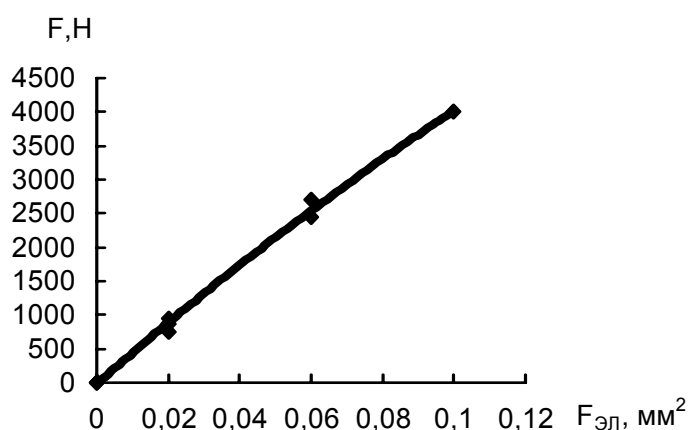


Рис. 4 Зависимость усилия, необходимого на срез АФЭ, от площади его поперечного сечения ($l_{ЭЛ}=10$ мм)

В процессе проведения экспериментов пьезоэлектрический датчик 1 устанавливался непосредственно под твердосплавную пластинку так, что его чувствительный элемент располагался в предполагаемой зоне прохождения волн сжатия-растяжения (рис.5). В этих условиях осциллограммы сигнала, полученного с датчика, регистрировали его нагружение не только силами, действующими на лезвие в процессе вибрационного точения, но и инерционными силами твердосплавной пластинки. Для выявления последних потребовалась установка такого же датчика 2, находящегося в аналогичных условиях закрепления и рас-

положенного на нижней стороне консольной части резца. Пьезоэлектрический датчик 3, прижатый к соответствующей торцовой поверхности твердосплавной пластинки, позволил фиксировать нагружение по задней поверхности режущего клина. Тензометрический датчик 4, размещённый на консольной части инструмента, обеспечил возможность определять изгибные деформации резца.

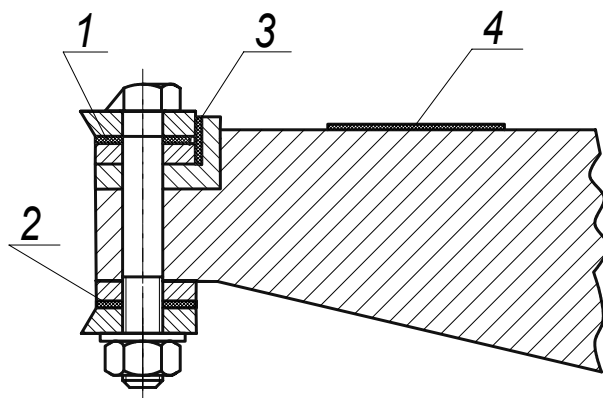


Рис. 5 Схема установки тензо- и пьезометрических датчиков на резце

Сравнение осциллограмм изменения сигналов, полученных с датчиков 1 и 2 в процессе проведения экспериментов, позволило найти разность между зафиксированными сигналами (рис. 6) и определить численное значение величины касательной составляющей силы, действующей на лезвие инструмента при вибрационном точении.

Было установлено также, что при врезании инструмента в материал заготовки нагружение его лезвия происходит одновременно по передней и задней поверхностям. При этом полностью отсутствует удар, а нагружение и разгрузка режущего клина происходят плавно, свидетельствуя о "безударной" работе инструмента. Экспериментально выявлено, что максимальное значение силы резания прямо пропорционально площади среза фиброэлемента, а величина её определяется произведением сопротивления сдвигу τ_v для данного обрабатываемого материала на площадь поверхности сдвига.

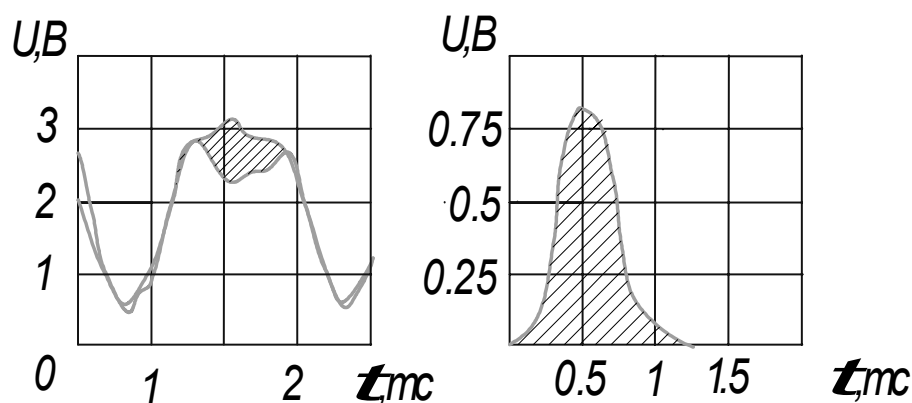


Рис. 6 Результат наложения осциллограмм с пьезодатчиков 1 и 2

Нормальная сила, действующая на задней поверхности, была определена численно на основе использования теории пластического деформирования металлов. При этом лезвие резца рассматривалось в виде плоского штампа, вдавливаемого под наклоном в пластическую среду, а значение удельного давления для этого варианта определялось по формуле:

$$P_{уд} = \sigma_T (1 + \pi), \quad (1)$$

где σ_T – предел текучести обрабатываемого материала.

С помощью метода конечных элементов по компьютерной программе «Ansys 5.5.1» были выполнены расчеты напряженного состояния режущего клина в процессе вибрационного точения. Установлено, что при внедрении в заготовку лезвия инструмента в условиях точения с отрывными автоколебаниями в режущем клине возникают преимущественно напряжения сжатия. Причем максимальные напряжения, наблюдаемые в вершине режущего клина, по своей величине находятся выше предела выносливости применяемого твердого сплава. Это является причиной осыпания и усталостного изнашивания расположенного здесь материала, представляющей собой один из источников округления его режущей кромки. В тоже время напряжения в теле лезвия в точках, даже незначительно удаленных от вершины клина существенно ниже предела выносливости твердого сплава Т30К4, что обеспечивает отсутствие мак-

роразрушения лезвия и возможность успешного дальнейшего его использования после переточки резца для условий вибрационного точения.

Расчеты температур в зоне резания и соответствующие эксперименты показали, что при рекомендуемых оптимальных скоростях вращения заготовки, обеспечивающих максимальную стойкость инструмента, температура резания в процессе получения АФЭ не превышает 250°С.

Полученные данные позволяют утверждать, что твердосплавное лезвие инструмента в условиях изготовления АФЭ вибрационным точением при рекомендуемых геометрии и окружных скоростях вращения заготовки может обеспечить достаточную стойкость инструмента и значительное число его переточек, благодаря отсутствию разрушения твердосплавной пластинки.

В четвертой главе представлена оптимизационная модель, позволяющая осуществлять выбор режимов процесса вибрационного точения и геометрических характеристик державки режущего инструмента, обеспечивающих максимальную производительность получения АФЭ.

Поиск указанных параметров для условий получения заданных характеристик АФЭ проводился на основе анализа целевой функции производительности при учете ряда ограничений.

Производительность изготовления АФЭ по их объему Π , как явствует из кинематики процесса, можно определить по формулам:

$$\Pi = \nu * F_{\text{ЭЛ}} * l_{\text{ЭЛ}} \text{ и}$$

$$\Pi = S * \sin \varphi * V * l_{\text{ЭЛ}}, \quad (2)$$

где ν - частота колебаний инструмента; $F_{\text{ЭЛ}}$ – площадь поперечного сечения фиброэлемента; $l_{\text{ЭЛ}}$ – длина фиброэлемента; S – подача; φ - главный угол в плане; V – скорость резания.

Величины $F_{\text{ЭЛ}}$ и $l_{\text{ЭЛ}}$ задаются в соответствии с требуемыми условиями на получаемый продукт.

Из схемы образования АФЭ точением, установлено, что условием получения отдельных элементов является выражение:

$$f * \operatorname{tg} \psi \geq S * \sin \varphi, \quad (3)$$

где f – прогиб вершины инструмента; ψ – угол наклона нейтральной линии изгиба; φ – главный угол в плане.

Рассматривая это выражение, как равенство для предельного случая, и сопоставив его с формулами (2) можно записать:

$$v = \frac{V * f * \operatorname{tg} \psi}{F_{\text{эл}}}, \quad (4)$$

Таким образом для получения максимальной производительности процесса при увеличении частоты колебаний инструмента необходимо обеспечить определенный прогиб инструмента. Помимо этого, конструкция державки резца должна удовлетворять условию усталостной прочности

$$\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M}{W} \leq [\sigma_{-1}], \quad (5)$$

где M – момент сил в каждом сечении державки инструмента; W – момент инерции рассматриваемого сечения.

При расчете прочностных характеристик резца следует учитывать не только силы, необходимые на срез элемента стружки, но и динамические силы, возникающие в процессе колебаний инструмента. При этом амплитуда колебаний державки определяется по формуле

$$f_{\text{дин}} = \frac{V_{\text{дин}}}{\omega}, \quad (6)$$

где $V_{\text{дин}}$ – максимальная скорость перемещения вершины инструмента; ω – циклическая частота колебаний державки.

Для оптимальной конструкции режущего инструмента, обеспечивающего максимальную производительность процесса вибрационного точения, следует повышать частоту его собственных колебаний посредством изготовления державок с переменной вдоль оси жесткостью.

Расчетные и практические эксперименты показали, что целесообразно использовать державки с постоянной шириной и переменной высотой сечения. Из технологических соображений, в ходе дальнейшего выбора оптимальной конструкции державки инструмента, её поперечное сечение оставалось прямоугольным.

Было установлено, что частота собственных колебаний резца, полученная экспериментально, оказалась значительно ниже, чем определённая теоретически, что объясняется отличием реальных условий закрепления резца от принятой в расчетах жесткой его заделкой. Для учета указанных отличий была осуществлена корректировка фактического положения неподвижного сечения державки резца при колебаниях, что и использовалось в дальнейших расчетах по поиску её оптимальной формы.

При решении задачи определения собственных частот колебаний консольной части резца применялся метод Релея-Ритца, с помощью которого частота собственных колебаний инструмента вычислялась по формуле:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E \int_0^l I \left(\frac{d^2 z}{dx^2} \right) dx}{\rho \int_0^l F_{эл} z^2 dx}}, \quad (7)$$

где E - модуль упругости; ρ - плотность материала державки инструмента; I - момент инерции поперечного сечения инструмента; $F_{эл}$ - площадь поперечного сечения инструмента; z - форма кривой изгиба.

С учетом всех вышеизложенных условий и ограничений были разработаны алгоритм и программа на языке TurboBasic 1.1. Программа позволяет для фиброэлементов с заданными площадью поперечного сечения и длиной определять рациональные геометрические параметры державки инструмента, под которыми соответственно подразумеваются ширина и длина её консольной части, а также её высота державки у среза опорной поверхности резцедержателя. Проведенные расчеты по разработанной оптимизационной программе показали,

что процесс вибрационного точения может быть реализован для широкого диапазона геометрических размеров фиброэлементов при достаточно высокой производительности их изготовления. При этом материал державки резца следует выбирать, исходя из условий его малого модуля упругости, высокого предела выносливости и низкой плотности. Однако в случае получения фиброэлементов относительно малого поперечного сечения ($0,02 \text{ мм}^2$ и менее) плотность материала державки резца практически незначительно влияет на производительность процесса (рис. 7). При изготовлении же АФЭ относительно большой площади поперечного сечения ($0,03 \text{ мм}^2$ и более) плотность материала державки инструмента среди других, учитываемых в данном случае физико-механических его свойств, является наиболее значимым фактором. В связи с этим следует особо отметить перспективность применения магниево-литиевых

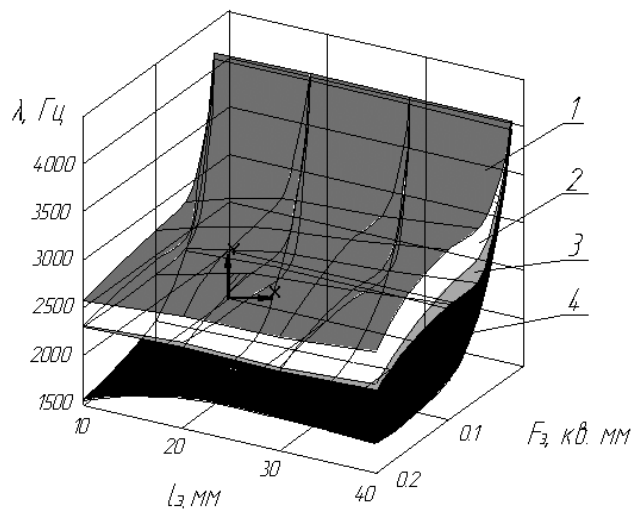


Рис. 7 Зависимость расчетной частоты собственных колебаний резца от геометрических параметров получаемых АФЭ и материала державки (1-МЛЗ, 2-Ве, 3-В95, 4-Ст45)

сплавов, которые, отличаясь наименьшей плотностью, имеют явное преимущество даже перед такими материалами, как бериллий и его сплавы. Использование магниево-литиевых сплавов для изготовления державок резцов в этом слу-

чае обеспечивает возможность повышения производительности получения АФЭ по сравнению со стальными державками до 2 раз.

Полученные теоретические и экспериментальные данные позволяют рекомендовать для применения в промышленности разработанную в диссертации методику расчетов оптимальной конструкции державок резцов, обеспечивающих высокопроизводительное получение АФЭ надлежащих размеров и качества.

В пятой главе представлено технико-экономическое обоснование получения армирующих фиброэлементов методом вибрационного точения, являющимся наиболее эффективным по сравнению с другими процессами изготовления АФЭ. Выполненные расчеты показали, что достаточно полно загрузить станок по его мощности и обеспечить максимально возможную производительность позволяет многорезцовая обработка. Это требует создания специального оборудования или соответствующей модернизации токарных станков. Причем, по сравнению с известными отечественными и зарубежными аналогами армирующих фиброэлементов токарная фибра обладает наименьшей стоимостью, составляющей около 14 руб/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В результате выполненных исследований решена задача повышения производительности процесса получения стальных фиброэлементов посредством использования метода вибрационного точения.

Уточнен механизм образования фиброэлементов при точении с интенсивными автоколебаниями инструмента в условиях его выхода из контакта с заготовкой при каждом периоде колебаний.

Выявлены особенности силового и теплового нагружений лезвия инструмента в процессе получения фиброэлементов вибрационным точением.. Разра-

ботана методика проектирования инструмента с оптимальными геометрическими параметрами его державки.

Осуществлен анализ экономической целесообразности применения способа вибрационного точения при получении АФЭ требуемых для промышленности размеров.

Выполненные работы и организация опытного производства армирующих элементов вышеуказанным методом позволили изготовить ряд получивших положительную оценку экспериментальных изделий из сталефибробетона для использования в промышленном строительстве.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие общие выводы:

1. Способ получения АФЭ методом вибрационного точения при интенсивных автоколебаниях инструмента, сопровождающихся выходом его из контакта с заготовкой, может успешно использоваться для получения указанных элементов в широком диапазоне их размеров от 0,01 до 0,3 мм²;

2. Условием предотвращения образования пакетов фиброэлементов при вибрационном точении с интенсивными автоколебаниями инструмента является низкий коэффициент трения между инструментальным и обрабатываемым материалами и малое значение радиуса округления лезвия. Постепенное увеличение указанного радиуса и рост шероховатости передней поверхности в процессе изнашивания приводят к пакетированию фиброэлементов, что определяет критерий стойкости инструмента. До начала пакетирования АФЭ лезвие совершает около $2 \cdot 10^6$ колебаний;

3. При получении АФЭ методом вибрационного точения отсутствует ударное воздействие на режущий клин инструмента, который врежется в заготовку при одновременном возрастании нагрузок на передней и задней его поверхностях, что позволяет применять относительно хрупкие инструментальные материалы и достаточно большие главные задние углы лезвия, равные 25°;

4. Отсутствие интенсивного перемещения стружки по передней поверхности лезвия при получении АФЭ существенно снижает температуру резания, которая при окружных скоростях заготовки до 200 м/мин не превышает 250°С. При этом рациональные окружные скорости вращения заготовки составляют 160–170 м/мин;

5. Сила резания при формировании элемента стружки определяется площадью среза, а нагружение державки инструмента в большей степени обуславливается действующими инерционными динамическими силами. При этом сама державка должна проектироваться с учетом, как сил резания, так и действующих инерционных нагрузок;

6. Производительность процесса получения АФЭ вибрационным точением определяется достижимой собственной частотой колебаний инструмента при ограничениях, связанных с износом инструмента и прочностью его державки при амплитуде колебаний, коррелируемой с заданными параметрами получаемых фиброэлементов;

7. Разработанная методика оптимизации конструкции державки инструмента и её материала, позволяет проектировать резцы, обеспечивающие повышение производительности получения конкретных фиброэлементов заданных параметров и требуемого качества до 2 раз;

8. Метод вибрационного точения является наиболее экономичным методом получения армирующих фиброэлементов малого поперечного сечения.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Коротких М.Т., Шатерин М.А., Смирнов Р.М. Технологический процесс получения армирующих элементов сталефибробетона точением с интенсивными колебаниями инструмента. // В сб. “Инновационные наукоёмкие технологии для России”. СПб: СПбГТУ, 1995. С. 56.

2. Коротких М.Т., Смирнов Р.М. Технологические возможности изготовления стальной фибры малого поперечного сечения. // Материалы 54-ой научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. СПб: СПбГАСУ, 1997. С. 32-33.

3. Коротких М.Т., Смирнов Р.М. Совершенствование процесса изготовления стальной фибры малого поперечного сечения. // Материалы 55-ой научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. СПб: СПбГАСУ, 1998. С. 15.

4. Коротких М.Т., Смирнов Р.М., Шатерин М.А. Особенности силового нагружения инструмента при получении армирующих фиброэлементов методом вибрационного точения // Металлообработка. 2002. №2(8). С. 2-4.

5. Шатерин М.А., Коротких М.Т., Пухаренко Ю.В., Смирнов Р.М. Разработка перспективных материалов, применяемых в строительстве. // В сб. “Научно-технические ведомости СПбГТУ”. СПб: СПбГТУ, №1-2 (7-8). 1997. С. 101.