Волков Игорь Михайлович. Совершенствование многоножевых дереворежущих фрез и режимов их эксплуатации : ил РГБ ОД 61:85-5/2498

**Содержание к диссертации**

Введение

**РАЗДЕЛ I. Состояние вопроса 7**

I. Влияние частоты вращения на процесс фрезерования, оборудование и инструмент 8

2. Влияние скорости резания на процесс фрезерования, оборудование и инструмент 12

3. Влияние числа режущих элементов на процесс фрезерования, оборудование и инструмент 14

4. Особенности фрезерования тонкими прифугованными режущим элементами 22

5. Выводы 24

6. Цель и задачи исследования 26

**РАЗДЕЛ II. Теоретические исследования 27**

7. Влияние точности расположения режущих элементов на качество обработанной поверхности 27

8. Рациональная конструкция дереворежущей многоноже вой фрезы, особенности технологии изготовления и подготовки к работе 47

9. Прочность тонкого пластинчатого режущего элемента и периферийной части корпуса 60

10. Выводы 68

**РАЗДЕЛ III. Методика экспериментальных исследований 70**

II. Цель и содержание экспериментов 70

12. Факторы, влияющие на процесс фрезерования многоножевыми фрезами 71

13. Факторы, влияющие на процесс изготовления литых фрез 75

14. Факторы, влияющие на процесс травления корпуса 76

15. Обработка результатов экспериментальных исследований 79

16. Экспериментальные установки 83

17. Методика определения оценочных показателей 89

**РАЗДЕЛ ІУ. Результаты экспериментальных исследований 95**

18. Влияние точности расположения РЭ на кинемати ческие неровности при фрезеровании шогоноже- выми фрезами 95

19. Определение динамики изменения температуры и ее суммарного действия на стали различных марок 99

20. Исследование процесса возобновления работоспособности фрез методом травления 103

21. Предварительный расчет конструктивных параметров режущей части фрезы на базе экспериментальных данных 108

22. В ы в о д ы 114

**РАЗДЕЛ У, Срашительные производстшные испытания литых многоножевых фрез и расчет экономического эффекта от внедрения 117**

S3. Техническое обеспечение производственных испытаний 117

24. Методика проведения производственных испытаний 124

25. Результаты производственных испытаний 126

26. Расчет экономического эффекта 136

27. В ы в о д ы 145

28. Общие выводы и рекомендации 147

Литература

* [Влияние скорости резания на процесс фрезерования, оборудование и инструмент](http://www.dslib.net/les-mashyny/sovershenstvovanie-mnogonozhevyh-derevorezhuwih-frez-i-rezhimov-ih-jekspluatacii.html#1867271)
* [Рациональная конструкция дереворежущей многоноже вой фрезы, особенности технологии изготовления и подготовки к работе](http://www.dslib.net/les-mashyny/sovershenstvovanie-mnogonozhevyh-derevorezhuwih-frez-i-rezhimov-ih-jekspluatacii.html#1867272)
* [Факторы, влияющие на процесс изготовления литых фрез](http://www.dslib.net/les-mashyny/sovershenstvovanie-mnogonozhevyh-derevorezhuwih-frez-i-rezhimov-ih-jekspluatacii.html#1867273)
* [Определение динамики изменения температуры и ее суммарного действия на стали различных марок](http://www.dslib.net/les-mashyny/sovershenstvovanie-mnogonozhevyh-derevorezhuwih-frez-i-rezhimov-ih-jekspluatacii.html#1867274)

**Введение к работе**

**"Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года", утвержденные ХХУІ съездом КПСС, поставили задачу резкого повышения качества выпускаемых станков и инструмента, их точности, надежности, снижения металло- и энергоемкости, повышения производительности и оздоровление условий труда при их обслуживании.**

**Повышение производительности деревообрабатывающего оборудования, в частности, фрезерных станков, в последние десятилетия обеспечивалось увеличением частоты вращения инструмента. Большие частоты вращения (порядка 6000-9000 мин"\*) вызывают шум превышающий санитарные нормы, а также отрицательно сказывается на точности, надежности и долговечности основных элементов станка.**

**Важнейшим показателем качества режущего инструмента является его стойкость. Большинство исследований, направленных на повышение стойкости режущего инструмента, посвящено изысканию новых инструментальных материалов, содержащих, как правило, дорогие и дефицитные компоненты.**

**В то же время анализ литературных исследований указывает на возможность существенного увеличения стойкости инструмента и уменьшения частоты его вращения за счет увеличения числа режущих элементов (РЭ) фрез. Известные попытки создания фрез с числом РЭ *2 >*6 нельзя признать удачными.**

**Данная работа посвящена совершенствованию процесса цилиндрического фрезерования древесины и режущего инструмента путем снижения частоты его вращения, исследования и разработки принципиально новой литой многоножевоі фрезы с тонкими РЭ, технологии ее изготовления и подготовки к работе.**

**Рассмотрено влияние снижения частоты вращения на процесс фрезерования, станок и инструмент, показывающие улучшение динамических показателей шпиндельного узла, повышение ресурса работы подшипников, рост КПД станка и снижение уровня шума, а также возможность устранения сложной и трудоемкой операции - динамической балансировки инструмента.**

**Цель работы: комплексное совершенствование процесса фрезерования, конструкции, технологии изготовления, подготовки к работе многоножевых дереворежущих $рез, направленное на повышение стойкости и улучшение условий эксплуатации оборудования и инструмента\* В соответствии с поставленной целью исследовано влияние погрешностей динамического и геометрического характера на геометрическую форму и параметры кинематических неровностей при фрезеровании многоножевыми фрезами» В результате обнаружено существенное отличие от традиционной, полученной существующими фрезами, геометрической формы и размеров кинематических неровностей, в частности, получены синусоидальные макроволны, высота которых зависит от величины погрешности базирования инструмента. Намечены мероприятия устраняющие появление кинематических макроволн.**

**Теоретически и экспериментально исследованы технология изготовления и подготовки к работе литых многоножевых фрез с тонкими пластинчатыми РЭ, а также их прочность, что позволило обосновать геометрические параметры режущей части тонких РЭ и периферии корпуса фрезы.**

**Производственные сравнительные испытания показали удовлетворительную работоспособность предлагаемых литых многоножевых фрез, стойкость которых растет прямопропорционально увеличению числа РЭ.**

**В результате проведенной работы была создана принципиально новая, по конструктивным и технологическим признакам, многоноже-**

**вая литая фреза, обоснованы ее конструктивные параметры, режимы работы и режимы подготовки к работе\***

**На защиту данной диссертации выносятся следующие основные вопросы:**

1. **Влияние числа РЭ и погрешностей их расположения на качество обработанной фрезерованием поверхности,**
2. **Влияние конструктивных и технологических особенностей литых многоножевых фрез на твердость, период стойкости РЭ и технологию подготовки фрез к работе,**
3. **Влияние конструктивных параметров на прочность тонких пластинчатых РЭ и периферии корпуса фрезы.**
4. **Влияние снижения частоты вращения шпинделя на инструмент, станок и процесс фрезерования\***

## Влияние скорости резания на процесс фрезерования, оборудование и инструмент

В Советском Союзе и. за рубежом проводились исследования, в которых рассматривался вопрос влияния скорости резания (СР) на процесс резания древесины /10, 18, 27, 32, 35, 38, 41, 50, 54, 56, 58, 67, 72, 79/. На ранних этапах исследований проф.М.А. Дешевой /27/ предполагал, что при повышении СР будет возрастать инерционный подпор волокон древесины в связи с чем сила резания по передней поверхности РЗ будет увеличиваться. На основании этого был сделан вывод о росте силы резания и улучшении качества обработанной поверхности с ростом СР.

Развивая теорию резания древесины, проф. С.А.Воскресенский теоретически доказал /19/, что за счет реологических свойств древесины с ростом СР усилие на задней грани РЭ может возрастать до максимального значения, а затем уменьшаться до нуля. Однако конкретных значений СР в работе не приводится.

Таким образом можно предположить, что с увеличением СР рост силы резания по передней поверхности будет компенсироваться уменьшением силы резания по задней поверхности. Экспериментальные исследования в данном направлении не обнаружили заметного влияния СР на силу резания, хотя в отдельных случаях она уменьшалась на 10-15% с ростом СР. Так, в работе Кивимаа Б. /79/ не замечено влияния СР на удельную работу резания в диапазоне скоростей от I до 50 м/с. В работах по фрезерованию /54, 56/ при изменении СР не обнаружено существенного ее влияния на силы резания. Аналогичные данные получены в исследованиях /50, 67/ при пилении древесины.

Ряд работ посвящен исследованиям влияния СР на качество обработанной поверхности. В работах /35, 38, 54, 56/ в широком диапазоне (от 15 до 50 м/с) изменялась СР при фрезеровании древесины в различных направлениях, однако все исследователи обнаружили отсутствие влияния СР на качество обработанной поверхности.

Влияние скорости резания на инструмент может проявляться в изменении интенсивности затупления РЭ . Установлено, что с ростом СР растет температура в зоне резания /53/, однако автор не делает выводов о влиянии СР на изменение интенсивности износа РЭ. Очевидно возникающие при фрезеровании температуры существенно не влияют на изнашивание РЗ. Следует отметить, что изнашивание РЭ сложный, зависящий от многих факторов процесс, который в настоящее время еще мало изучен. Имеется ряд работ, посвященных исследованиям в этой области /2, 5, 26, 54, 60, 61, 68/. Вопрос влияния СР на износ затронут в работах /54, 60/. В /54/ с изменением в диапазоне от 20 до 50 м/с показатели износа / р и Ауч / незначительно уменьшались, но характер микрогеометрии изношенного лезвия не изменялся.

В /60/ СР изменялась от 5 до 40 м/с. На этапе приработки интенсивность износа растет примерно в 1,5 раза с увеличением СР, а на этапе монотонного износа незначительно уменьшается.

Проведенный анализ показывает, что увеличение частоты вращения приводит ко многим нежелательным последствиям. Пропорциональное частоте вращения увеличение скорости резания не дает заметного улучшения оценочных показателей (качества обработки, сил резания, стойкости).

Тенденция к увеличению П. может быть объяснена только стремлением к увеличению производительности. Анализ формулы (I) показывает, что желательное уменьшение П можно без ущерба производительности компенсировать увеличением Z . С этой целью необходимо проанализировать самостоятельное влияние числа РЭ на процесс фрезерования, инструмент и станок.

Увеличение числа РЭ фрезы при постоянной подаче на зуб приводит к увеличению важного режимного параметра - подачи на оборот Sn- 5z которая характеризует при постоянном І соотношение скоростей двух рабочих движений: движение подачи и главного движения.

В практике обычно приходится иметь дело с инструментом, геометрическая форма которого отличается от идеальной из-за наличия разного рода погрешностей, возникающих как при изготовлении инструмента, так и при его подготовке к работе. Известно, что кинематические неровности на поверхности, обработанной цилиндрическими фрезами, практически всегда имеют шаг, равный подаче на оборот, т.е. рельеф поверхности формирует наиболее выступающий РЭ. В этом случае высота волны может быть подсчитана по формуле: Нк = $1 /4D (з)

Расчет высоты кинематических неровностей по этой формуле дает значения в пределах 0,03-0,065 мм при S? = I 1«5 мм; і? = 4; D 140 мм. Погрешности в радиальном расположении режущих кромок могут возникать как от настройки РЭ, так и от несовпадения оси вращения и оси фрезы, т.е. из-за наличия эксцентриситета.

## Рациональная конструкция дереворежущей многоноже вой фрезы, особенности технологии изготовления и подготовки к работе

Из обзора конструктивных решений фрезерного инструмента видно, что ни одна конструкция не может быть успешно применена как базовый вариант для создания многоножевой дереворежущей фрезы. На рисунке 9 представлена структура основных затрат на изготовление и эксплуатацию фрезы. Основная особенность существующего фрезерного инструмента состоит в индивидуальном изготовлении и в индивидуальной эксплуатации РЭ. Поэтому при увеличении числа РЭ общие затраты на изготовление и эксплуатацию всего комплекта корпус РЭ будут пропорционально увеличиваться (рис. 10). Конечно, и суммарная стойкость инструмента будет пропорционально возрастать, но как следует из ниже приведенной формулы для расчета экономического эффекта от внедрения нового инструмента, экономический эффект практически будет равен нулю. где Ltj и Ц2 — соответственно цена базового и нового инструмента И и Иг -" соответственно эксплуатационные затраты базового и нового вариантов; (X - коэффициент эквивалентности по работоспособности (в данном случае (1=//// » Z/ и А - число РЭ нового и базового вариантов). Так как практически пропорционально коэффициенту эквивалентности U возрастает цена нового инструмента Ц и эксплуатационные расходы И , т.е. эффект от механического увеличения числа РЭ отсутствует Для достижения наибольшего экономического эффекта необходимо нарушить взаимосвязи между числом РЭ и составляющими затрат в результате решения технических противоречий. Приведем основные противоречия, возникающие с увеличением числа РЭ от Т\_\ до Z/y . При использовании существующего инструмента увеличение числа РЭ вызовет увеличение диаметра фрезы ( Dyv D ), рост трудоемкости изготовления ( Т изг Тиггі), трудоемкости заточки ( Тзат// Т ац), трудоемкости нападки ( Тнсмд/ \нам ) и повышенный расход материалов на изготовление фрезы.

Из вышесказанного следует, что с ростом числа РЭ возникают технические противоречия конструктивного», технологического и эксплуатационного характера. Лишь комплексное их преодаление позволит создать рациональную конструкцию многоножевого инструмента. Другими словами, одностороннее совершенствование инструмента, например изменение только конструкции, может не только не уменьшить затраты в сфере изготовления и эксплуатации, а наоборот их увеличить. Следовательно, при проектировании нового многоножевого инструмента необходимо взаимосвязанные изменения конструктивных, технологических и эксплуатационных характеристик. На рис. 10 представлены общие затраты идеального многоножевого инструмента. Затраты на изготовление и эксплуатацию идеального инструмента не изменяются с ростом числа РЭ, т.е. при Z/І/ Zy должны сохраняться равенства диаметров фрезы dV Д), трудоемкости изготовления (Tu.32y=Tu.52.f )t трудоемкости заточки (ТзйТ = 1зат. ) трудоемкости наладки ( 1нал = "нал ) и расходы материалов на изготовление фрезы.

Здесь имеет место полное отсутствие взаимосвязи между числом РЭ и составляющими затрат. Аналог близкий к идеальному инструменту - абразивный шлифовальный круг. Затраты на изготовление, заточку и настройку всех РЭ, а также изготовление самого круга практически не зависят от числа РЭ. При этом в конструкции отсутствуют элементы крепления и регулировки РЭ, корпус сам их удерживает за счет сил адгезии. Основная особенность такого инструмента состоит в отсутствии индивидуального подхода к изготовлению и эксплуатации РЭ, что в значительной степени влияет на простоту конструкции, снижение затрат на изготовление и эксплуатацию всего инструмента в целом. Очевидно, что многоножевая фреза, в основу которой будет положена данная конструкция, технология изготовления и метод подготовки к работе позволит успешно решить задачу увеличения числа РЭ с получением значительного экономического эффекта. Рассмотрим возможность создания новой фрезы на базе аналога идеального многоножевого инструмента. Простота конструкции аналога объясняется возможностью изготовления его формованием. Поэтому новая фреза должна изготовляться одним из методов формования, например, литьем. Вторая важная особенность аналога - одновременная заточка всех РЭ. Возможность заточки одновременно всех РЭ реализована в конструкции фрезы с тонкими пластинчатыми РЭ, динамической прифуговкой (а.с. № 547341) /83/.

Следовательно, имеем многоножевую фрезу с тонкими пластинчатыми ножами, соединенными неразъемно при заливке их материалом корпуса.

Однако, в отличие от аналога, важно сохранить на прежнем уровне подачу на зуб (у шлифовальных кругов эта характеристика отсутствует). Другими словами, периферия фрезы должна не сплошь состоять из РЭ, а иметь пространство для приема стружки - стружечные канавки. Поэтому сразу возникает задача, как уменьшить диаметр корпуса фрезы по мере стачивания РЭ. Здесь также важно это производить одновременно, не увеличивая трудозатрат при росте числа РЭ. Наиболее приемлемым решением является химическое травление корпуса.

## Факторы, влияющие на процесс изготовления литых фрез

Эти факторы разделены на 3 группы: а) факторы,характеризующие материал корпуса 1. Тип материала корпуса. б) факторы, характеризующие материал РЭ 2. Тип материала. 3. Режим термообработки в) факторы, характеризующие процесс изготовления отливки 4. Температура заливки - Т$ , град.С. 5. Температура кокиля - Тк , град.С. Постоянные факторы процесса изготовления литых многоножевых фрез

Тип материала корпуса выбран из технологических и экономических соображений. Этим материалом является литейный сплав на основе алюминия - силумин марки АЛЗ по ГОСТ 1583-73 со следующим химическим составом (%): 01 = 4,5 5,5; La = 1,5 3,0 , Mty= 0,35 0,6J Mh= 0,6 0,9;примеси (Fe;Zn;Zi) не более а,о. Температура заливки Тз - согласно рекомендациями /3/ и /34/ принята 750С. Температура кокиля Тк - согласно рекомендациям /3/ принята равной 200С. Переменные факторы процесса изготовления литых многонокевых фрез Переменным фактором этой серии опытов выбрана марка инструментального материала и соответствующая ей термообработка.

Учитывая специфику процесса изготовления фрез (температура заливки Тз = 750С) в качестве испытуемых сталей использовались представители группы теплостойких сталей (Р9) и полутеплостойких сталей (Х6ВФ). При этом режим термообработки стали Р9 принят традиционный по рекомендациям /21/ из-за ее высокой теплостойкости, а режим термообработки стали Х6ВФ в первом случае традиционный, а во втором - с повышенной температурой закалки (1зок= Ю50С) и низким отпуском ( J0TH = ХООС), что способствовало получению повышенной исходной твердости стали. В результате имеем: Р9 - Тзак = 1220С, Т отп = 560С (3 раза) /- Тзак=1000С Тотп=180с ВДВ V Т3ак =1050С, Т отп = Ю0С.

Оценочным показателем этой серии опытов была микротвердость образцов Hju , характеризующая изменения в стали при воздействии высоких температур процесса изготовления фрезы. Факторы, влияющие на процесс травления корпуса а) Факторы,характеризующие объект травления: I. Тип материала корпуса. Е. Тип материала РЭ. б) Факторы, характеризующие травильную среду: 3. Концентрация щелочи, г/л. 4. Концентрация пассиватора, г/л. 5. Тип абразива. 6. Зернистость. 7. Концентрация абразива, г/л. в) Факторы,характеризующие процесс взаимодействия объекта травления с травильной средой: 8. Температура травильної среды Тср » град С. 9. Частота вращения объекта травления їі , мин"" . 10. Время травления І , мин. Постоянные факторы процесса травления корпуса

Тип материала корпуса выбирается из условий, обеспечивающих возможность изготовления й ез предложенным способом и возможности травления корпуса в средах, не воздействующих на материал РЭ. Этим требованиям отвечает алюминиевый сплав (силумин марки АЛЗ).

Тип материала РЭ существенной роли в опытах данной серии не играл. РЭ служат в этом случае лишь в качестве базы отсчета при измерении толщины удаленного слоя. С этой целью нетермооб-работанные пластины стали ШШ заливались материалом корпуса, а затем периферия фрезы протачивалась на токарном станке так, чтобы РЭ были заподлицо с корпусом. После травления РЭ выступали по отношению к корпусу на определенную величину, т.к. они не взаимодействовали с травильной массой.

Концентрация щелочи по рекомендациям /73/ должна быть в пределах 120 170 г/л, однако, как показали предварительные опыты введение пассиватора в раствор щелочи с концентрацией 150 г/л не оказало значительного влияния на улучшение качества травленой поверхности. Поэтому концентрация щелочи в растворе была снижена до 100 Г/л (сода каустическая - fvaOn по ГОСТ 2263-71).

## Определение динамики изменения температуры и ее суммарного действия на стали различных марок

В начале испытывали теплостойкую сталь марки Р9, у которой ожидалось наименьшее снижение твердости. Остаточная твердость, как показали замеры (табл. 5), снизилась на I единицу по шкале HRC , т.е. можно заключить, действие температуры процесса практически не оказывает влияния на эту сталь,и группу теплостойких сталей можно успешно применять, если бы не дефицитность вольфрама. Поэтому в следующих опытах испыты-валась полутеплостойкая сталь Х6ВФ с низким содержанием вольфрама ( W I ). Полученные данные свидетельствуют о значительных изменениях произошедших в этой стали. Если судить по изменению твердости, то влияние температуры процесса вызывает высокий отпуск этой стали.

Положительный результат дала специальная термообработка стали (закалка - Ю50С, отпуск -Ю0С), которая обеспечила повышение исходной твердости на 2,5 единицы Н RС . Можно заметить, что твердость этой стали независимо от режима термообработки одинаково падает примерно на 8 единиц HRC . Следовательно, повышая исходную твердость, южно повысить твердость после заливки. Если уменьшать интервал времени между закалкой и заливкой, можно вообще обойтись без отпуска, т.е. процесс заливки будет сопровождаться высоким отпуском. В результате этого можно ожидать еще некоторое повышение твердости.

Проведенные опыты подтвердили наше предположение о том, что скорость охлаждения сплава в первые секунды очень большая. Это видно из графика изменения температуры отливки (рис.25).

После заливки идут одновременно два процесса: первый -охлаждение сплава, второй - нагрев кокиля и РЭ. Затем температура выравнивается и вся система охлаждается.

Изменение твердости в стали Х6В , зафиксированное в опытах, соответствует отпуску в интервале температур от 580 до 600С /&I/. Можно предположить, что в области температур от 750 до 600С идет разогрев РЭ, а затем медленное их охлаждение. Нижняя граница этой области, конечно, приблизительна.

Учитывая динамичность процесса, возможен и такой вариант воздействия высокой температуры (более 600С), когда высокие температуры воздействуют на сталь, но продолжительность воздействия пала и диффузионные процессы в стали, соответствующие этой температуре, пройдут лишь частично, вызывая изменения, соответствующие более низким температурам.

Опыты не ставили своей целью вскрытие процессов, идущих в материале РЭ, важен конечный результат, который показывает принципиальную возможность применения теплостойких сталей по критерию твердости и ставит под сомнение использование полу-теплостойких сталей» По данным /26/ твердость РЭ должна быть не ниже Н RC 59. Однако в деревообработке применяются стальные пилы, твердость которых /24/ лежит в интервале 41...46 HRC. Поэтому доводы, которые приводит автор /26/, о якобы возможном отгибе лезвия, кажутся сомнительными. Очевидно, следует ожидать некоторого снижения стойкости РЭ при таком значении твердости, но простота заточки одновременно всех РЭ и их небольшая толщина должны компенсировать затраты от снижения стойкости. Логическим завершением опытов по выбору инструментальной стали РЭ будут стойко стные испытания инструмента с РЭ из стали Х6В со специальным режимом термообработки.