Косарев Владимир Константинович. Повышение стойкости дереворежущих ножей центробежных стружечных станков локальным электроискровым нанесением износостойких покрытий : диссертация ... кандидата технических наук. - Ленинград, 1984. - 274 c. : ил. РГБ ОД,

**Содержание к диссертации**

Введение

**1. Состояние вопроса, цель и задачи исслвдования 9**

1.1. Износ и затупление инструмента при резании древесины. 9

1.2. Повышение стойкости инструмента. Метод электроискрового легирования 21

1.3. Метод локального электроискрового нанесения износостойких покрытий 37

1.4. Выводы, цель и задачи исследований 43

**2. Теоретическое исследование влияния износа и затупления ножей на условия резания стружки в центробежном стружечном станке 48**

2.1. Исходные положения 48

2.2. Анализ условий резания стружки в центробежном стружечном станке и параметров износа и затупления режущих ножей 49

2.3. Влияние износа и затупления ножей на процесс формирования толщины стружек 55

2.4. Определение предельной величины радиуса закругления режущей кромки 59

2.5. Влияние износа и затупления режущих ножей на силу отжима 63

2.6. Выводы 70

**3. Мето» экспериментальных исследований 72**

3.1. Программа экспериментальных исследований 72

3.2. Методика экспериментального исследования износа и затупления режущих ножей центробежных стружечных станков. 72

3.3. Методика экспериментального исследования влияния режимов нанесения на толщину и шероховатость покрытий . 62

3.4. Методика экспериментального исследования физико-механических свойств покрытий 94

3.5. Методика экспериментального исследования износостойкости покрытий І03

3.6. Методика экспериментального исследования влияния нанесения покрытий на первоначальную микрогеометрию резцов НО

3.7. Методика экспериментального исследования выбора граней инструмента, на которые целесообразно наносить покрытия 118

3.8. Методика экспериментального исследования износа и затупления стружечных ножей с покрытиями І20

**4. Результаты экспериментальных исследований**

4.1. Результаты экспериментального исследования износа и затупления режущих ножей центробежных стружечных станков 126

4.2. Результаты экспериментального исследования влияния режимов нанесения на толщину и шероховатость покрытий. І36

4.3. Результаты исследований физико-механических свойств покрытий

4.4. Результаты экспериментального исследования износостойкости покрытий 154

4.5. Результаты экспериментального исследования влияния нанесения покрытий на первоначальную микрогеометрию резцов 59 4.6. Результаты экспериментального исследования выбора граней инструмента, на которые целесообразно наносить покрытия І65

4.7. Результаты экспериментального исследования износа и затупления стружечных ножей с покрытиями 172

4.8. Выводы 181

**5. Тешжо-эконошиесжая эффективность от внедрения резуль татов проведенных разработок в промшшеенность 186**

5.1. Методика расчета технико-экономической эффективности от внедрения режущего инструмента повышенной стойкости посредством локального электроискрового нанесения износостойких покрытий 186

5.2. Расчет технико-экономической эффективности от внедрения стружечных ножей повышенной стойкости посредством локального электроискрового нанесения износостойких покрытий из ВК6-М на установке "Е1ФА-541" ISO

5.3. Выводы 195

вывода и ржкомендации 196

Литература 203

## Повышение стойкости инструмента. Метод электроискрового легирования

Большинство авторов работ, посвященных износу дереворежущего инструмента [3, 6 - 9, 18, 19], допускают возможность абразивного износа. Теоретические предпосылки и исследование зернового состава веществ, содержащихся в золе от сжигания древесных материалов, позволили автору работы [10] сделать вывод о том, что абразивные явления практически не играют роли в износе дереворежущего инструмента при резании чистой древесины, так как они определяются наличием в обрабатываемом материале веществ, соизмеримых по твердости с инструментальными материалами. Степень участия абразивной составляющей в затуплении инструмента при резании натуральной древесины зависит от ее загрязненности песком, глиной и пр. Абразивный и термоабразивный износ является ведущим при обработке древесностружечных и древесноволокнистых плит. Доля абразивного износа в затуплении твердого сплава достигает в этом случае 50 - 80 и близка к 100 при обработке плит стальным инструментом.

Тепловой износ подробно рассмотрен в [3, 9, 10]. Исследованиями [9, 10, 15 и др.] установлено, что при резании древесины, вещества малотёплопроводногр, в поверхностных слоях резца температура достигает значений 700 - Ю00С. Авторы работ [3, 9] считают, что в результате высоких температур уменьшается прочность и повышается пластичность металла. Повышенная пластичность ведет к интенсивному развитию окислительных процессов. Износ инструмента в этих случаях происходит главным образом из-за постоянного образования и уноса текучего пластического слоя древесиной, которая размазывает поверхностную структуру металла резца, что приводит в некоторых случаях к наплывам металла в зоне резания. Автор работы [10] при изучении разреза подобных ваяиков под микроскопом пришел к выводу, что это не натеки, а загиб острой кромки резца, и главную роль здесь играют не окислительные процессы, а нагрев лезвия. Он считает, что затупление лезвия при возникновении пластической деформации характерно для резцов, изготовленных из материалов невысокой твердости или теряющих твердость при невысоких температурах. Износ твердых резцов из теплостойких сталей происходит как результат одновременного воздействия высоких температур и механических нагрузок. Автор классифицирует его как термомеханический.

При фрезеровании сухой древесины на задней грани строгальных ножей автором [8] был обнаружен износ поверхности в результате электрической эрозии. При фрезеровании древесины стружка заряжается отрицательно, а нож положительно. Потенциал заряда достигает 4,8 - 6,8 кВ. При выходе резца из контакта с древесиной образуется искровой разряд, который цри многократном повторении приводит к электрической эрозии поверхности металла, что способствует интенсивному износу инструмента.

Авторы работ [3, 9]считают одним из важных составляющих износа дереворежущего инструмента окислительный износ - процесс постепенного разрушения поверхности металла, выражающийся в сложном сочетании явлений: адсорбции кислорода на поверхности трения, диффузии кислорода в поверхностные слои, пластической деформации металла с образованием химических адсорбированных пленок и отделением их от поверхности трения. Особенно интенсивно окислительное изнашивание металла протекает при сильном нагреве. В работе [16] установлено, что в основе износа фрез с пластинками из твердого сплава при обработке склеенной синтетическими клеями древесины лежит процесс термомеханической деструкции клеев с образованием продуктов, способных инициировать окисление металлов и сплавов кислородом воздуха, а также непосредственно реагировать с ними, образуя металло-полимерные соединения.

В работах [З, 9, 17] указывается на наличие химических и электрохимических факторов износа инструмента. Наиболее полно этот вопрос изложен в работе [Ю]. Автор исследовал следующие процессы: износ металла при трении в присутствии древесины и продуктов ее деструкции, образование агрессивных веществ при резании древесины, коррозионную активность жидких продуктов термодеструкции древесины, гальванические явления в электролитах между структурами, входящими в состав инструментальных сталей. Проведенные исследования позволили установить, что при взаимодействии с продуктами термодеструкции древесины механизм износа инструментальных материалов носит химический и механо-химический характер. Главная роль в этом процессе принадлежит продуктам термодеструкции древесины, появляющимся в результате взаимодействия нагретых до высоких температур поверхностей инструмента с .древесиной.

## Анализ условий резания стружки в центробежном стружечном станке и параметров износа и затупления режущих ножей

Износостойкость упрочненного слоя на отожженных образцах в среднем выше износостойкости основы в 3,8 раза, а на закаленных образцах в 1,45 раза выше основы. В результате проведения рентгеноструктурного и химического анализов покрытий, нанесенных электродами из твердых сплавов, обнаружено наличие в белом слое титана Ті = 10JS, вольфрама W = 4-5 , кобальтаСо= 2 . Белый слой по своей структуре состоит из мартенсита, аустенита и небольшого количества карбидов. Для проведения испытаний строгальные ножи подвергались ЗИЛ в азоте на режиме У з = -,5 А» Ux.x. = ЮО В, С = 30 мкФ, электродом из TI5K6. Упрочнение проводилось по передней грани на ширине 4 мм от режущей кромки с последующей заточкой по задней грани и доводкой. После ЭИД шероховатость по передней грани возросла с Rg = 6,1 мкм до Rz = = 9,8 мкм, шероховатость по режущей кромке - с R g = 8,8 мкм до Rj =25,8 мкм, радиус закругления режущей кромки - с О = 3,2 мкм до 4,9 мкм. В результате проведения стойкостных испытаний автор указывает, что характер износа и закономерность изменения параметров микрогеометрии режущей части упрочненных ножей в процессе резания древесины сохраняются теми же, что и у неулрочненных. В результате упрочнения существенно уменьшились значения износа и затупления, однако высокая шероховатость режущей кромки отрицательно сказалась на качестве обработанной поверхности. Величины параметров износа и затупления строгальных ножей, упрочненных электроискровым способом, после 40 км пути резания в сравнении с обычными ножами (величины их параметров приняты за 100 ) имели следующие значения: радиус закругления режущей кромки О = 64 , ширина лунки на передней грани і = 85 , глубина лунки Д1= 47%, шероховатость по режущей кромке Ьр.к.= Пб , размерный износ Ам = 87 , общая площадь изношенной части ножа в плоскости нормальной к линии режущей кромке F =55 , максимальная высота микронеровностей обработанной поверхности древесины Hwox= 136 . В заключение автор делает вывод, что ЗИЛ может быть рекомендовано для ножей, используемых на операциях грубой обработки, где при пониженных требованиях к качеству поверхности износостойкость ножей может быть повышена до 30 - 50 .

В работе [33] приводятся данные по процессам, происходящим в поверхностном слое стали при электроискровом легировании, характеристикам упрочненного слоя, рекомендации по выбору участков, подлежащих ЭШ на металлорежущем ж дереворежущем инструменте. По мнению авторов, при ЭМ происходят следующие процессы: сверхскоростная закалка, азотирование, цементация и обогащение слоя элементами легирующего электрода. По результатам рентгеноструктур-ного анализа, белый слой состоит из аустенита, мертенсита, карбидов и нитридов в различных количественных соотношениях. Указывается на наличие после ЭИЯ в закаленной стали подслоя более низкой твердости вследствие отпуска. Рекомендуется производить упрочнение на том участке инструмента, который подвергается наибольшему износу. Исследования затупления дереворежущего инструмента показали, что с точки зрения сохранения наибольшей остроты лезвия целесообразно упрочнять переднюю грань. Приводятся профили затупления режущей кромки дереворежущего инструмента при различных вариантах упрочнения (рис.1.3).

А.Э.Грубе [2] отмечает, что ЭМ способствует уменьшению затупления дереворежущего инструмента на 25 - 60 и более. Электроискровое легирование рекомендуется производить на режимах с

Зкъ = 0,5 - 1,5 А, С = Ю - 90 мкФ, Ux.xr 10 - 120 в- ш подвергаются ЭШГ по боковым внешним граням, в зоне вершины зуба, фасонные ножи - по передней грани, фасонные фрезы - по задней грани. Ширина упрочненного слоя 4-6 мм. Автор отмечает, что довольно высокая шероховатость, малая производительность и отсутствие механизации и автоматизации процесса являются главными" препятствиями к широкому внедрению ЭИЛ в деревообработку.

Авторы работы [34] рекомендуют для повышения стойкости дереворежущего инструмента применять ЭИЛ с последующим алмазным выглаживанием. Отмечается, что при легировании стали 9ХФ твердым сплавом ВК6-0М на установке ЭФИ-46А микротвердость возросла с 5000 до 9000 МПа. Алмазное выглаживание способствует снижению шероховатости и повышению микротвердости. Однако в работе отсутствуют результаты практического применения ЭИЛ для повышения стойкости дереворежущего инструмента.

К настоящему времени в результате изучения физической сущности процесса электроискрового легирования, закономерностей формирования и основных свойств покрытий из различных материалов, разработки все более совершенных установок и технологии сложились следующие представления о природе ЭИЛ.

## Методика экспериментального исследования влияния режимов нанесения на толщину и шероховатость покрытий

В производстве древесностружечных плит применяются специальные стружки, изготовляемые путем измельчения на стружечных станках. Процесс стружкообразования, осуществляемый на стружечных станках различных конструкций (дисковых, чашечных, фрезерных, с ножевым валом и центробежных роторных), и предъявляемые к нему требования отличаются от обычных видов резания, применяемых при механической обработке древесины. Основным отличием этого процесса является то, что продуктом измельчения при этом служат отделяемые от массива древесины частицы (стружки), которые по качественным характеристикам должны отвечать требованиям производства древесностружечных плит. В то же время стружки, получаемые при механической обработке деталей, являются отходами и требования, предъявляемые к процессу резания, при этом направлены на обеспечение качественной обработки деталей. При измельчении древесины на стружечных станках необходимо обеспечить получение стружек с заданными размерами и шероховатостью, с сохранением целостности волокон, которые определяют специфику взаимодействия резца с древесиной и создают особенности процесса стружкообразования. Вдесте с тем процесс измельчения древесины в специальные стружки основывается на общих положениях теории резания древесины.

Условиям получения стружек наилучшего качества при минимальной энергоемкости процесса отвечает измельчение древесины методом поперечного резания или близкого к нему. Теоретические исследования процесса резания древесины в направлении поперек волокон наиболее полно разработаны в трудах проф. С.А.Воскресенс 50 кого [б]. Анализируя прочностные свойства .древесины и напряжения, возникающие в процессе поперечного резания и действующие на стружку, он указывает, что основными расчетными (опасными) напряжениями в плоскости разрушения являются: касательное напряжение сдвига Т , нормальное напряжение растяжения Ор. На основе анализа вариантов отношения указанных напряжений к предельным автор приходит к выводу, что существует четыре основных типа процесса стружкообразования при поперечном резании: - пластическим изгибом; - пластическим сдвигом; - изгибом стружки с частичным ее разрывом; - скалыванием. Первые три процесса имеют место в дисковых стружечных станках, стружечных станках с ножевым валом, чашеобразной и фрезерной головкой. При измельчении щепы на центробежном стружечном станке получаются стружки игольчатой формы [18, 57], размеры которых по ширине незначительно отличаются от толщины стружек. В этом случае наиболее вероятный процесс стружкообразования - скалывание.

Важное значение в производстве древесностружечных плит имеют размеры стружек. Исследованиями [58] установлено, что наибольшее влияние на прочностные показатели плит оказывает размер стружек по толщине, поэтому в технологических инструкциях и работах [59, 60 и др.] устанавливаются жесткие требования к этому параметру, согласно которым толщина стружек для внутренних слоев (их получают непосредственно в центробежных стружечных станках) должна находиться в пределах 0,4 - 0,6 мм.

Кинематика процесса измельчения, условия резания древесины И работы режущих ножей на центробежном стружечном станке имеют ряд специфических особенностей и отличаются от других типов стружечных станков. Отличительными факторами являются то, что исходным сырьем служит предварительно измельченная древесина в виде щепы; подача измельчаемой древесины на нож, распределение в ножевом барабане и удержание ее в процессе резания осуществляется под действием центробежной силы, создаваемой вращением режущего органа; путь, пройденный резцом в древесине, из-за хаотичности распределения исходного сырья является случайной величиной, вследствие этого параметром, характеризующим продолжительность взаимодействия резца с древесиной и его загрузку, принято считать время работы ножей в станке (в часах) при определенной производительности; необходимая толщина срезаемой стружки обеспечивается только регулированием величины выставки лезвия нац поверхностью ножедержателя (ножевого сегмента); ориентация измельчаемой древесины волокнами относительно режущей кромки ножей осуществляется хаотично под действием центробежной силы (по условиям статической устойчивости тел для ориентации волокон щепы в плоскости резания необходимо соблюдать следующее соотношение размеров щепы по длине, ширине, толщине: v ; v . cL = I : 0,25 : 0,083; однако данное соотношение выполняется далеко не всегда), поэтому наряду с основным резанием поперек волокон присутствуют ж другие простые и переходные виды резания.

Анализируя процесс стружкообразования на центробежном стружечном станке, автор работ [18, 57] приходит к выводу, что основными факторами, характеризующими процесс измельчения древесины на данном станке, являются (рис.2.1): величина выставки ножей h , размер подножевой щели В ,"величина радиального зазора между крыльчаткой и ножевым ротором t , износ и затупление режущих ножей, размер и форма перерабатываемой щепы.

Для определения параметров износа и затупления режущих ножей центробежных стружечных станков, которые характеризовали бы изменяющиеся условия резания в связи с изменением формы кривой затупления, были проведены предварительные исследования микропрофилей шлифов затупившихся режущих ножей (см. рис.3.3, п.3.2). Как видно, износ ножей несимметричен и идет с образованием небольшой фаски на задней грани. Проведенные исследования позволили выявить микрогеометрию и основные параметры износа и затупления стружечных ножей (см. рис.3.2, п.3.2). Кривая затупления характеризуется: радиусом закругления режущей кромки О , линейным износом Ам, величиной фаски на задней грани п , изменением заднего угла

## Результаты исследований физико-механических свойств покрытий

В задачу исследования входат изучение влияния отдельных параметров режимов на микротвердость ЛЭН-покрытий, изучение прочности сцепления покрытия с основой, структуры и состава покрытий.

Поскольку толщина ЛЭН-покрытий при нанесении на инструментальные стали составляет 5-12 мкм [51, 53, 54J, определить их микротвердость возможно только путем вдавливания ітрамидки перпецдикулярно слою покрытия, так как при измерении в торец, согласно требованию ГОСТ 9450-76, расстояние от центра отпечатка до края покрытия не должно быть менее двойного размера отпечатка (при диагонали отпечатка 10 мкм толщина покрытия должна быть не менее 40 мкм). Для правильного определения микротвердости при вдавливании пирамидки перпендикулярно слою покрытия необходимо знать минимаяьную его толщину, при которой металл основы не окажет искажающего влияния на точность измерений, что особенно важно, если материал основы мягче покрытия. В работе [75] приводится формула для расчета минимальной толщины покрытия при использовании пирамидки с углом при вершине 136 в случае, если основа мягче покрытия t= (Hi-H2)-d/AS0O (3.7) где t - минимальная толщина покрытия, мкм; l f 2 " соответственно микротвердость покрытия и основы при диагонали отпечатка 10 мкм, ШПа; J - фактическая длина диагонали отпечатка, мкм.

Согласно [51, 54j, микротвердость ЛЭН покрытий составляет 8000 - 12000 ШПа. При исходной твердости материала подложки 6800 - 7000 "МПа (сталь 55Х7ВСМФ) минимальная толщина покрытия, обеспечивающая правильное измерение микротвердости, составляет 3 - II мкм (соответственно для меньшего и большего значения микротвёрдости). При проведении исследования режимы выбираются с учетом обеспечения минимальной толщины.

Выбор величины нагрузки на пирамидку проводится исходя из следующего. Так как относительная ошибка измерения микротвердости зависит от величины диагонали отпечатка и составляет при длине 20 мкм 5%, 10 мкм - 10 , 5 мкм - 20 [7б], необходимо применять большую из нагрузок, при которой не сказывается влияние материала основы. В соответствии с рекомендациями ГОСТ 9450-76 были проведены измерения микротвердости покрытий при нагрузках 0,19 И, 0,49 Н, 0,98 И. Две первые нагрузки дают совпадающие результаты. При нагрузке 0,98 Н микротвердость снижается вследствие влияния материала основы. Исходя из этого, целесообразно применять нагрузку 0,49 И (50 г), которая обеспечивает диагональ отпечатка от II до б мкм при изменении микротвердости от 7500 до 15000 МПа.

"Для нанесения покрытий из стали 55Х7ВСМФ вырезаются образцы размером 40 х 20 х 6 мм, имеющие микротвердость 6700 - 7000 ШПа, шероховатость поверхности /?а= 0,30 - 0,45 мкм. Экспериментальные исследования включают пять серий опытов и проводятся по од-нофакторной методике. В первой серии изучается влияние силы тока на микротвердость покрытий, во второй - влияние емкости конденсаторного блока, в третьей - длительности импульсов, в четвертой - скорости нанесения покрытий, в пятой - числа проходов. Покрытия наносятся на установке "ЕЛФА-512". Во всех опытах используются серийные электроды из твердого сплава ЖК6-М по ГОСТ 3882-74, а также опытные электроды из следующих композиций с целью определения перспективности их применения: - KHTI6 - безвольфрамовый твердый сплав по ТУ 48-19-206-76; - ТН-20 - безвольфрамовый твердый сплав по ТУ 48-19-223-76; вес; - Пвг+ПС + (Ы1+Мо) 20 вес; - ПС+-ЛЙС+(№ + Яо) 20 вес.

Методическая сетка опытов по влиянию режимов 1ЭН на микротвердость покрытий приведена в табл.3.5. Значения параметров режимов, принятых в каждой серии в качестве постоянных факторов, выбираются исходя из минимально необходимой толщины покрытий. Факторы, не связанные с режимами, остаются постоянными на протяжении всех серий опытов.

Опыты проводятся в следующей последовательности. Наносятся покрытия по режимам, соответствующим разработанной методике. В связи с тем, что непосредственно на поверхности ЛЭН-покрытий (рис.З.Ю) проводить измерения не представляется возможным вследствие больших искажений формы отпечатка, необходимо срезать наиболее выступающие гребешки металла и на образующихся ровных площадках проводить измерения. С этой целью образцы с покрытиями слегка шлифуются несколькими движениями на мелкозернистой шкурке, так же слегка полируются на фетровом круге с порошком окиси хрома, промываются водой, спиртом и просушиваются.

Замеры микротвердости (рис.3.15) осуществляются на приборе ПМГ-З при нагрузке 0,49 Н (50 г) с учетом рекомендаций работы [76] и требований ГОСТ 9450-76, на длине покрытия не менее 15 мм.