

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ
"КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"**

На правах рукописи

УДК 621.9.08:621.91.01

МИРЗАЕВ АБДУНОСИР АБДУЛХАМИТОВИЧ
(гражданин Республики Узбекистан)

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ**

Специальность 05.03.01 - Процессы механической
обработки, станки и инструмент

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Киев - 1995



00761354 (Q)

621.2
 Работа выполнена в Национально
 "Киевский политехнический и
 прибор

Имеется рукопись диссертации.

Научные консультанты

- академик АИН Украины,
Д.т.н., профессор
Остафьев В.А.
- академик АИН Украины,
Д.т.н. Махмудов К.Г.
- Д.т.н., профессор
Румбешта В.А.

Официальные оппоненты

- член-кор. НАН Украины,
Д.т.н., профессор
Родин П.Р.
- академик АИН Украины,
Д.т.н., профессор
Розенберг О.А.
- Заслуженный деятель науки
и техники Узбекистана
Д.т.н., профессор
Якубов Ф.Я.

Ведущая организация

- Киевское производственное
объединение им.Артема
г.Киев

Защита состоится 20 ноября 1995г. в 15 часов на заседании
специализированного Совета Д 01.02.09 по присуждению ученой степени
доктора технических наук в Национальном техническом университете
Украины "Киевский политехнический институт", корп.1, аудитория 214.

Адрес: 252056 г.Киев пр. Победы,37.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НТУУ "Киевский
политехнический институт"

Автореферат разослан 09 октября 1995г.

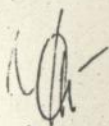
Отзывы на автореферат диссертации в двух экземплярах, заверенных
печатью организации, просим присылать на адрес НТУУ "Киевский
политехнический институт" ученому секретарю.

Ученый секретарь
специализированного Совета

Д 01.02.09

доктор технических наук, профессор

АН Украины


 Н.С. Равская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Повышение эффективности производства, ускорение научно-технического прогресса в машино- и приборостроении - это прежде всего автоматизация производственных процессов, широкое внедрение в производство автоматизированного станочного оборудования, автоматических линий, роботизированных станочных комплексов и создание интеллектуальных производственных систем. Этот процесс находится в прямой зависимости от уровня автоматизации технологической подготовки производства и в первую очередь от эффективного автоматизированного определения обрабатываемости металлов. Именно знание обрабатываемости металлов позволяет решить важнейшую проблему комплекса технологической подготовки производства - назначение рациональных режимов обработки, что, в свою очередь, обеспечивает гибкость всего технологического цикла производства изделий.

Определение обрабатываемости металлов в ускоренном или автоматизированном режиме еще не имеет достаточного комплексного и систематизированного решения. Поэтому, такие вопросы, как выбор рациональных режимов резания, геометрии инструмента, марки смазочно-охлаждающих технологических средств, инструментального материала и другие, решаются на основе длительных трудоемких и материалоемких стойкостных испытаний.

Таким образом, для совершенствования производства в целом необходима единая научная основа, новые методологические подходы к определению обрабатываемости металлов, проектированию и разработке соответствующих систем контроля и прогнозирования состояния режущего инструмента и процесса резания в целом. С учетом современных направлений и результатов исследований обрабатываемости металлов резанием сформулирована цель настоящей работы, которая учитывает комплексность понятия «обрабатываемость металла резанием» и динамику самого процесса резания.

Цель работы 1. Разработка научных основ создания эффективной системы определения обрабатываемости металлов резанием:

- создание общего подхода к системе определения обрабатываемости металлов резанием;
- выявление эффективной структуры системы определения обрабатываемости металлов резанием;
- разработка методов определения обрабатываемости металлов, использующих априорную и апостериорную информацию процесса резания;

2. Разработка принципиально новых эффективных методов автоматизированного определения обрабатываемости металлов и установление комплексного ее показателя;

3. Создание автоматизированного стенда системы определения обрабатываемости металлов резанием, использующего современные средства контроля, диагностики, прогнозирования состояния режущего инструмента и процесса резания в целом.

Для достижения поставленной цели были получены решения ряда задач, из которых на защиту выносятся следующее :

1. Структура, принципы работы и методика построения системы автоматизированного определения обрабатываемости, использующей априорную и апостериорную информацию о процессе обработки металлов резанием;

2. Моделирование динамики процесса резания при минимальном использовании эмпирических данных с учетом механических свойств ТОС, контактных нагрузок, тепловых процессов, трения и износа реза, позволяющее установить связь параметров процесса резания с параметрами обработки металлов резанием путем вычислительного эксперимента. В том числе :

- оригинальный метод расчета контактных нагрузок на передней поверхности реза и участке износа его задней поверхности, отличающийся от известных уточненной формой получаемой эпюры контактных нагрузок и тем, что для расчета не требуется предварительного знания зависимости угла наклона плоскости сдвига и длины контакта стружки с передней поверхностью реза от коэффициента трения и переднего угла реза, т.к. эта зависимость определяется в ходе расчета;

- формулы расчета нестационарных тепловых процессов при резании, учитывающие вид эпюр контактных нагрузок на передней поверхности реза и участке износа его задней поверхности, получающийся по вышеуказанной методике расчета контактных нагрузок;

- разработанные методы численного вычисления специальных функций в формулах теплового расчета, конкретная схема приближенного решения уравнения теплового баланса с использованием ЭВМ;

- оригинальный метод расчета коэффициента трения на контактных площадках реза, исходя из нормальной нагрузки и параметров микрогеометрии профиля контактной поверхности R_{max} и V ;

3. Результаты численного моделирования динамики виброакустического сигнала (ВАС) при резании, раскрывающие причину реально наблюдаемого после начала резания неустановившегося процесса и подтверждающие возможность использования параметров ВАС, характеризующих динамику этого процесса, для определения обрабатываемости металлов резанием;

4. Результаты натурных исследований процесса резания, установившие связь параметров процесса резания с параметрами обработки металлов резанием и обрабатываемостью, в том числе :

- связь общего уровня виброакустического сигнала с интенсивностью износа режущего инструмента и шероховатостью поверхности при обработке с изменяющейся во времени подачей;

- связь интенсивности изменения виброакустического сигнала в начале обработки различных обрабатываемых материалов резами из разных твердых сплавов при постоянной продольной подаче инструмента с интенсивностью износа реза;

5. Разработанные принципиально новые автоматизированные методы экспресс-оценки обрабатываемости металлов по силовым и энергетическим параметрам процесса резания и установления ее комплексного показателя;

6. Разработанный автоматизированный стенд для определения обрабатываемости металлов с использованием современных средств контроля, диагностики, прогнозирования состояния режущего инструмента и процесса резания в целом.

Общая методика исследований. Общий подход к системе определения обрабатываемости был сформирован путем анализа существующих подходов к определению обрабатываемости и синтеза общей системы на его основе.

Признанные необходимыми модели связи параметров системы резания создавались на базе основных положений теории резания, теории пластической и упругой деформации материалов, прикладной механики, теории анализа тепловых процессов методом тепловых источников, теории трения и износа, теории численных методов. Также использовался многорядный алгоритм самоорганизации математических моделей.

При проведении экспериментальных исследований применялись методы и устройства, разработанные автором, и стандартная аппаратура для измерения сил, мощности резания, температуры, вибрации, износа режущих инструментов, длины контакта, усадки стружки, шероховатости обработанной поверхности.

Для выявления информативных параметров в сигналах, поступающих с датчиков в ходе экспериментов, использовались методы цифровой обработки информации: статистический, корреляционный и дисперсионный анализ. Также использовался метод конечных элементов для расчета температурного поля в резах и прочности режущих инструментов по экспериментальным данным.

В разработке методики определения обрабатываемости использовались статистическая теория стойкости режущего инструмента и теория планирования эксперимента.

Измерительные устройства системы определения обрабатываемости металлов резанием проектировались с помощью теории аналоговой и цифровой обработки информации.

Научная новизна. Впервые разработаны единые научные основы создания автоматизированной системы определения обрабатываемости металлов резанием.

Построена система автоматизированного определения обрабатываемости металлов резанием, созданы конкретные подсистемы, которые осуществляют предварительное априорное определение режимов резания и апостериорное их уточнение для конкретного процесса резания.

Как важнейшая и наиболее сложная компонента системы определения обрабатываемости впервые создана действующая рациональная комплексная модель динамики процесса резания, воспроизводящая механику ТОС, контактные нагрузки на передней поверхности резца и участке износа его задней поверхности, тепловые процессы, процессы трения и изнашивания контактных поверхностей резца.

Входящая в нее модель стружкообразования при автономном использовании дает новые теоретические зависимости угла наклона плоскости двига и длины контакта стружки с резцом от коэффициента трения и переднего угла резца, которые являются промежуточными среди наиболее достоверных известных экспериментальных и эмпирических зависимостей.

Впервые разработана рациональная модель трения и износа поверхностей резца, воспроизводящая процесс приработки поверхностей резца и опускания шероховатой поверхности резца вглубь материала резца по мере ее износа.

Установлена связь между интенсивностью изменения виброакустического сигнала, генерируемого зоной резания в начальный период обработки, с периодом стойкости режущих инструментов и проанализированы причины этой связи на теоретическом уровне.

Получена аналитическая зависимость периода стойкости режущих инструментов от интенсивности изменения виброакустического сигнала и разработана методика прогнозирования периода стойкости режущих инструментов.

Создана эмпирическая модель обрабатываемости, позволяющая по химическому составу и механическим свойствам металлов с учетом свойств инструментальных материалов определить обрабатываемость и предварительно установить режимы обработки.

Созданы новые способы апостериорного определения и получен комплексный показатель обрабатываемости металлов резанием.

Практическая ценность. Проведенные экспериментально-теоретические исследования способствуют повышению эффективности металлообработки в условиях как автоматизированного, так и неавтоматизированного производства.

Изложенные в работе научные основы создания автоматизированной системы определения обрабатываемости металлов

резанием позволяют методически подойти к проектированию подобных систем, тем самым сэкономив время необходимое для проведения исследований, обеспечив возможность дальнейшего совершенствования создаваемых систем и ценность приобретенного при этом опыта для других разработчиков.

Полученная комплексная модель процесса резания дает возможность изучать процесс резания, анализировать скрытые физические процессы при резании, находить информативные параметры механообработки, по которым целесообразно оценивать технологические параметры обработки и обрабатываемость металлов. Особенность модели, заключающаяся в рациональном принципе ее построения, обуславливает возможность более глубокого анализа процесса резания по сравнению с экспериментальными методами. Модель позволяет прогнозировать процесс резания, значения его вторичных параметров и отсюда обрабатываемость металлов.

Входящая в комплексную модель модель механики стружкообразования может быть использована автономно для прогнозирования контактных нагрузок с целью выявления опасности поломки инструмента.

Входящая в комплексную модель модель трения может быть использована моделью расчета контактных нагрузок для определения коэффициента трения. Так, модель трения, исходя из нормальной контактной нагрузки и параметров R_{\max} , V микрогеометрии профиля поверхности реза, уточняет коэффициент трения, который первоначально может быть задан довольно приближенно. Используя уточненное значение, модель расчета контактных нагрузок определит новую нормальную нагрузку и далее итерационный процесс уточнения коэффициента трения повторяется, приводя в конечном итоге к точному значению коэффициента трения, и, избавляя от необходимости для его определения проводить специальные натурные эксперименты.

Созданные математические модели эмпирического определения обрабатываемости металлов позволяют установить численные значения параметров эффективного режима резания без проведения трудоемких стойких испытаний.

Все методы определения обрабатываемости металлов, приведенные в работе, отличаются высокой точностью, легкостью практической реализации и автоматизацией в конкретных случаях механообработки, согласованной с технологическими требованиями, предъявляемыми к проведению процесса обработки и оборудованию.

Разработанные технические средства могут использоваться как для определения обрабатываемости, так и для контроля, диагностики, прогнозирования процесса резания металлов.

Результаты работы внедрены на машиностроительных предприятиях Украины и Республики Узбекистан;

Апробация работы. Результаты работы докладывались, обсуждались и были одобрены на международных, всесоюзных (в рамках СНГ), республиканских и региональных научно-технических конференциях: «Теплофизика технологических процессов» (г.Тольятти, 1988г.); «Высокие технологии» - Интерпартнер - 94 (г.г. Харьков - Алушта); «Прогрессивные конструкции режущего инструмента для ГПС и роботизированных комплексов»(г.Москва,1987 г.); «Автоматизированное управление энергетическими системами, технологическими процессами и оборудованями» (г.Севастополь, 1995г.); «Международная научно-техническая конференция молодых ученых - выпускников высших учебных заведений СССР и Польши» (г.Киев,1986г.); «Остнастка - 95» (г.Киев-95 г.); «Прогрессивная технология обработки маложестких деталей» (г.Тольятти,1987 г.); «Опыт разработки и внедрения технологических и конструкторских решений интенсификация процессов резания»(г.Киев,1989 г.); «Конверсия - 95" (г.Киев,1995 г.); «Пути повышения качества и надежности инструмента» (г.Барнаул,1989 г.); «Решение проблемных вопросов теории механизмов и машин» (г.Фергана, 1991, 1994 гг.); «Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем» (г.Краматорск, 1995г.); «Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении» (г.Одесса,1995 г.); «Аэрокосмический комплекс: конверсия и технология» (г.Житомир 1995 г.).

Публикации. На тему диссертации опубликована 41 печатная работа, в том числе 6 авторских свидетельств, 1 монография.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложения. Изложена на 379 страницах машинописного текста, содержит 10 таблиц, 140 рисунков и 212 библиографических наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Научно-технический прогресс на современном этапе связан с расширением диапазона требований, предъявляемых к процессу производства, в том числе производственной продукции, с появлением ряда новых конструкционных и инструментальных материалов, а также нового технологического оборудования. Поэтому в настоящее время повышение эффективности производства обуславливается рациональной организацией обработки, выбором оптимальных с точки зрения эффективности процесса обработки его первичных параметров, таких, например, как режимы обработки. Ключевое значение здесь имеет определение эффективности каждого из возможных вариантов проведения процесса обработки. Эффективность процесса обработки, оцениваемая по комплексу параметров, отличающих собственно обработку от других процессов, по сути есть обрабатываемость. Отсюда обрабатываемость металлов резанием есть эффективность обработки металлов резанием, способность металлов поддаваться обработке

резанием. Именно знание технологической обрабатываемости металлов резанием позволяет оценивать и сопоставлять технологическую эффективность процесса резания, оптимизировать этот процесс с точки зрения его технологической эффективности и таким образом повышать эффективность производства в целом.

Актуальными становятся: автоматизация определения обрабатываемости металлов резанием, снижение временных и материальных затрат на определение обрабатываемости, повышение точности определения обрабатываемости и расширение области контролируемых параметров обработки. Существующие исследования обрабатываемости носят, как правило, частный характер и не удовлетворяют перечисленным выше потребностям, в связи с чем в данной работе была поставлена главная задача - разработка научных основ создания автоматизированной системы определения обрабатываемости металлов резанием. Решение этой глобальной задачи, было сведено к решению последовательности частных задач.

Согласно поставленным задачам, сначала в работе был обобщен опыт существующих исследований обрабатываемости металлов резанием. Решению проблемы определения обрабатываемости посвящены работы таких видных ученых, как Бобров В.Ф., Грановский Г.И., Кривоухов В.И., Лоладзе Т.Н., Остафьев В.А., Подураев В.Н., Розенберг А.М., Силин С.С., Талантов Н.В., Ташлицкий Н.И. и др. в странах содружества и E.J.A.Armarego, Merchant M.E., Trent E.M., Oxley P.L.V. и др. за его рубежами. Следует отметить, что в работах наблюдается различия в подходах. Порой для обозначения одного и того же используется разная терминология. Так, например, наряду с термином "определение обрабатываемости" употребляется термин "оценка обрабатываемости". На наш взгляд "оценка" связана по сути с соотношением с мерой, а "определение" связано с указанием мер и соотношением с ними. Понятно, что перед соотношением с мерой требуется найти саму меру. Для такого нетривиального понятия как обрабатываемость это выливается в общем случае в непростую задачу. Поэтому употребление термина "определение обрабатываемости" в работе подчеркивает, что сначала устанавливаются принципы измерения, а затем производится измерение, оценка обрабатываемости. При этом система определения обрабатываемости оказывается, как правило, более сложной, чем система оценки обрабатываемости. Известные исследования обрабатываемости металлов резанием показывают, что в настоящее время используется только небольшая часть параметров обработки, которые могут быть использованы при определении обрабатываемости. Традиционно оперируют оценкой обрабатываемости металлов резанием величиной скорости, обеспечивающей заданный период стойкости режущего инструмента. Больше скорость - лучше обрабатываемость, меньше - хуже. Отсутствие общей методической основы определения обрабатываемости приводит к тому, что обусловленная развитием производства насущная потребность учета новых параметров обработки при определении обрабатываемости удовлетворяется путем введения ограничений на условия обработки

или всевозможных поправочных коэффициентов при использовании в базовой оценке обрабатываемости прежней малой доли значимых параметров обработки. Так зачастую, характеризуя обрабатываемость скоростью резания, используют частную зависимость скорости резания от стойкости режущего инструмента, подачи и глубины резания, аппроксимирующие результаты экспериментов. Задав стойкость равной, например 60 мин, получают оценки обрабатываемости по скорости резания при заданной подаче и глубине резания. Ограничивая режимы резания с точки зрения "оптимизации" процесса обработки по другим параметрам, например, по шероховатости поверхности, выходят на оценку обрабатываемости при "оптимальных" условиях обработки. Корректируя в зависимости от требований к процессу резания "оптимальность" условий обработки рассматриваемого материала, ограничением режимов резания, получают оценку обрабатываемости, учитывающую требования к процессу обработки, которая соотносится с "базовой" оценкой при "базовых" условиях посредством корректирующего коэффициента. Однако, обрабатываемость металлов по смысловоспособности металлов подаваться обработке, поэтому она подразумевает полный учет всех интересующих параметров обработки именно в самой оценке, а не в ограничениях, устанавливающих область справедливости некой половинчатой оценки, выполненной не по полному перечню значимых параметров. В общем случае обрабатываемость может быть даже не пропорциональной скорости резания, как, например, при первостепенной значимости в суждении об эффективности обработки структурных изменений в обрабатываемом материале после обработки или ширины диапазона скоростей резания, обеспечивающих стойкость резца в заданных пределах. Традиционно все эти новые значимые требования к процессу обработки сводятся к скорости резания. Но в этих случаях скорость резания не является естественной характеристикой обрабатываемости, ее нельзя использовать, в отличие от истинной оценки обрабатываемости, например, для рациональной загрузки различного по своим техническим, точностным, экономическим параметрам металлорежущего оборудования, когда допускающие более широкий диапазон скоростей резания заготовки с большей истинной обрабатываемостью назначаются к обработке на менее дорогостоящем низкоскоростном, узкодиапазонном оборудовании.

Таким образом, в общем случае, оценка обрабатываемости зависит от типа параметров, характеризующих эффективность обработки, как собственно обработки, согласно имеющимся представлениям об обработке, требованиям к ней. В связи с этим при разработке общего подхода к определению обрабатываемости металлов резанием была выполнена классификация в общем случае значимых на современном этапе развития производства параметров обработки в зависимости от преобладающего аспекта. Схема позволяет прогнозировать появление новых параметров обработки, группировать известные параметры, а также может быть использована для выбора наиболее подходящих параметров обработки при решении задачи определения

обрабатываемости в конкретной производственной ситуации. Далее была составлена общая принципиальная схема технологического определения обрабатываемости металлов резанием. Согласно ей в общем случае определение обрабатываемости может быть произведено по реальному процессу резания и по его моделям. При этом технолог указывает первичные параметры обработки, ее структуру, выбирает значимые технологические показатели обработки, параметры показателей и формирует функцию, которая исходя из отдельного, единичного набора их значений дает технологическую оценку обрабатываемости. Эта оценка, будучи полученной на единичном наборе значений входных параметров, является единичной технологической оценкой обрабатываемости. Так, учет n значимых параметров обработки в единой комплексной оценке обрабатываемости U осуществлен путем приведения оценок этих параметров к эффективности обработки, выражаемой степенью заинтересованности технолога в тех или иных значениях параметров обработки, которая для i -го параметра Π_i равна U_i и вычисляется с помощью функции преобразования Φ_i : $U_i = \Phi_i(\Pi_i)$. Тогда U получается суммированием частных оценок обрабатываемости U_i и нормализацией результата путем его деления на количество частных оценок: $U = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i$. В работе указаны возможные виды функции преобразования. Как правило, существует множество возможных наборов значений первичных параметров обработки, поэтому оценку обрабатываемости в общем случае следует найти и соотносить с другими при всех возможных единичных наборах. Это достигается путем перебора с помощью некоторого метода наборов значений первичных параметров обработки и сопоставления получающихся единичных технологических оценок обрабатываемости. По завершению перебора и сопоставления на выходе системы определения обрабатываемости получается полная, т.е. множественная, распределенная оценка обрабатываемости. При оптимизации процесса обработки, в значительной мере дублирующей процесс определения обрабатываемости, на основании сопоставления значений целевой функции определяется в итоге набор значений параметров обработки, соответствующих оптимальному значению целевой функции. Если целевая функция линейно отражает обрабатываемость металлов и только ее в зависимости от величин значимых параметров обработки, то она тождественна функции обрабатываемости. Отсюда, в частности, следует, что функция обрабатываемости может быть использована в качестве целевой функции при оптимизации процесса обработки металлов резанием по имеющимся представлениям об эффективности этого процесса резания, как обработки металла. Традиционной оценке обрабатываемости соответствует функция обрабатываемости в виде зависимости скорости резания от подачи и глубины резания при заданном периоде стойкости инструмента. Эта зависимость может быть найдена априорно по рациональной или эмпирической модели процесса резания. Можно также контролировать параметры процесса обработки с помощью датчиков и в процессе обработки получить

текущую, апостериорную оценку обрабатываемости, которую затем использовать как самостоятельно, так и для уточнения априорной оценки обрабатываемости. Функциональная схема общей системы автоматизированного определения обрабатываемости показана на рис.1. На основании априорной и апостериорной оценок обрабатываемости целесообразно в общем случае предварительно определять и уточнять режимы резания.

Далее в диссертационной работе обсуждаются вопросы создания различных элементов системы автоматизированного определения обрабатываемости. В соответствии с рис.1 важнейшими элементами этой системы являются подсистемы априорной и апостериорной оценки первичных и вторичных параметров обработки. Обмен информацией и управление подсистемами оценки параметров обработки в системе автоматизированного определения обрабатываемости осуществляет информационно-управляющий диспетчер системы, передающий оценки параметров обработки в блок функции обрабатываемости, осуществляющий в общем случае перебор варьируемых первичных параметров обработки и получающий от блока функции обрабатываемости единичные оценки обрабатываемости, сопоставляющий их и выдающий во внешнюю среду итоговую оценку обрабатываемости.

Значения вторичных параметров обработки дает либо сам процесс резания, либо его модель. Когда прямой контроль вторичных параметров процесса резания с помощью измерительных устройств или проведение натурального резания не возможно, особое значение приобретают модели процесса обработки. Наиболее сложными, как правило, являются рациональные модели, построенные исходя из знания видов физических явлений, определяющих процесс резания, их теории и причинно-следственной взаимосвязи. Эти модели без материалозатрат позволяют вскрыть глубинные закономерности процесса резания, влияние одних параметров обработки на другие даже при невоспроизводимых по тем или иным причинам, но представляющих интерес условиях обработки, например, при опасных критических режимах. Создание такой модели для подсистемы априорного определения обрабатываемости было осуществлено в работе в первую очередь. Затем подсистема априорного определения обрабатываемости была дополнена эмпирической моделью.

Следуя методу рационального моделирования, показывая как он может быть применен для получения значений вторичных параметров в общем случае нестационарного процесса резания, составлена схема физической структуры процесса точения, канонического для других видов обработки металлов резанием. Схема приведена на рис.2. Она содержит 4 подсистемы: детали, инструмента, стружкообразования и контактной зоны, и выявляет внутренние, наиболее важные элементы этих подсистем, их взаимодействие.

3

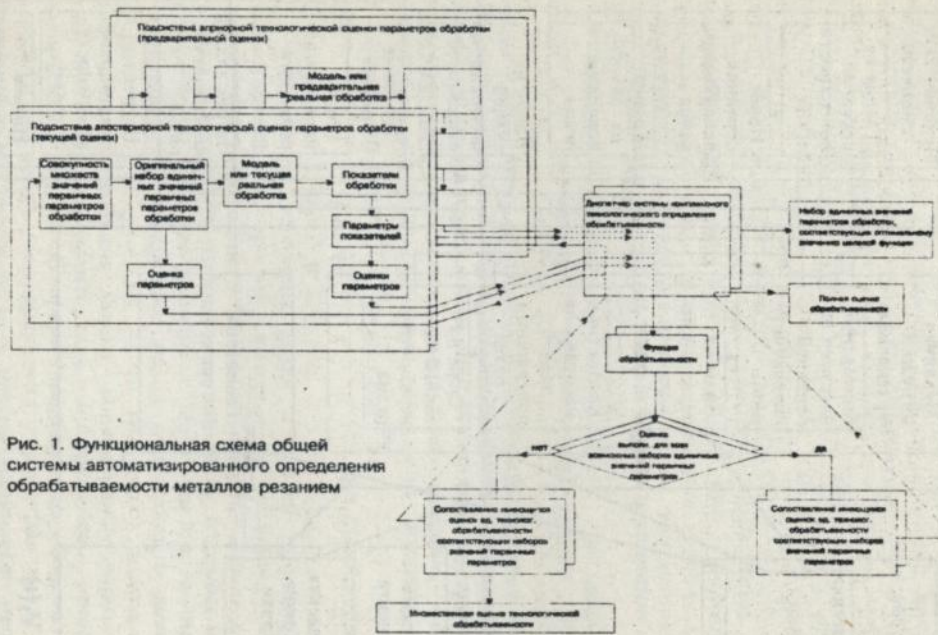


Рис. 1. Функциональная схема общей системы автоматизированного определения обрабатываемости металлов резанием

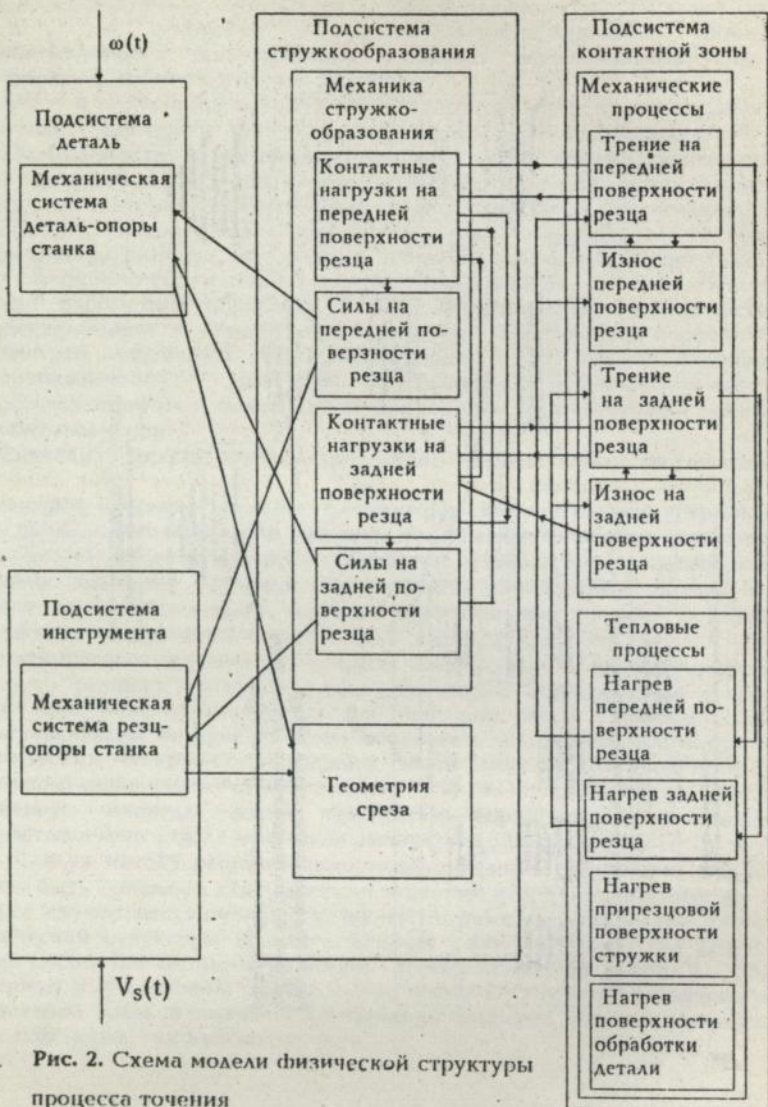


Рис. 2. Схема модели физической структуры процесса точения

Расчет динамического поведения подобной структуры может быть выполнен в общем случае только итерационным способом, рис.3, когда двусторонние связи разрываются, задается приближенно величина прямого воздействия, по ней определяется обратное воздействие, и по этому обратному воздействию находится каким должно быть прямое воздействие. Разница между этими величинами прямого воздействия используется для уточнения исходя из заданной величины прямого воздействия, по которому опять вычисляется обратное воздействие и т.д. до тех пор пока разница не станет достаточно малой. Кроме того расчет приходится вести во времени пошагово, со сдвигом во времени на один временной шаг в действительности одновременно идущих механических и тепловых процессов, поэтому для корректности такого приема временной шаг должен быть достаточно малым.

Конкретное моделирование требует схематизации моделируемых технологических операций. В работе при моделировании были выбраны схемы продольного и поперечного точения с постоянной и равномерно ускоренной подачей, учитывающие наличие цилиндрических переходов разной длины и диаметра на поверхности детали.

Условия закрепления инструмента и детали сводились к параметрам эквивалентных механических систем инструмента и детали, каждая из которых имеет свои главные координаты q_i , $i=1,2,3$ с ориентированными по их осям приведенными эквивалентными упругими Cq_i , инерционными $m q_i$ и демпфирующими $h q_i$ элементами. Расчет динамики указанных механических систем инструмента и детали осуществлялся по конечноразностным аналогам, описывающим их динамику дифференциальных уравнений второго порядка, типа

$$q(t) = \frac{Pq(t) + q(t + \Delta t) \left(\frac{2mq}{\Delta t^2} + \frac{hq}{\Delta t} \right) - q(t + 2\Delta t) \frac{mq}{\Delta t^2}}{\frac{2mq}{\Delta t^2} + \frac{hq}{\Delta t} + Cq}, \text{ где } \Delta t - \text{временной шаг.}$$

Взаимные смещения резца и детали приводят к изменению геометрии среза, расчет которой в условиях вычислительного эксперимента для общего случая оказывается довольно громоздким. В модели учитывались взаимосмещения резца и детали как в плоскости поперечного сечения детали YOZ, так и в плоскости XOY. Характеристики положения резца относительно детали на полном обороте детали, т.е. на 360-ти градусах в направлении обратном направлению вращения детали, запоминаемые через малый угловой шаг, позволит определить след инструмента, оставленный им на поверхности детали во время предыдущего оборота детали. Общий алгоритм расчета геометрических параметров среза с учетом всех упомянутых влияющих на него факторов приведен непосредственно в работе. Вычисления по алгоритму завершаются нахождением ширины и глубины эквивалентного прямоугольного среза.

Когда геометрические параметры среза известны нужно найти контактные нагрузки на резце и силы резания.

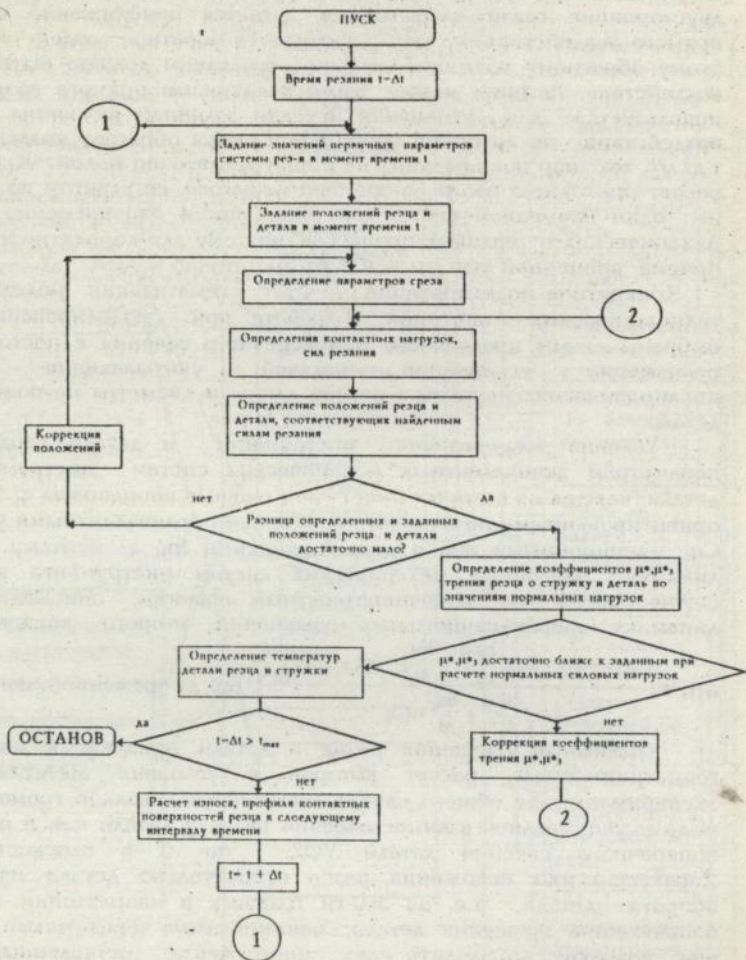


Рис. 3. Общий алгоритм расчета динамики модели процесса резания

Для облегчения решения этой задачи принято, что механика стружкообразования внутри временного шага стационарная, напряженное состояние плоское, механизм стружкообразования сливной с единственной прямолинейной условной плоскостью пластического сдвига, коэффициент трения на передней поверхности резца постоянный. В результате ее решения была создана новая модель механики стружкообразования, отличающаяся от известных главным образом тем, что в модели максимально используется рациональные, и не используются эмпирические предположения, для вычисления контактных нагрузок; не требуется задание зависимости для угла наклона условной плоскости сдвига и длины участка контакта стружки с передней поверхностью резца от коэффициента трения и переднего угла резца. Эти зависимости автоматически определяются при расчете, исходя из более глобальных предположений. Так при расчете контактных нагрузок двумерное поле напряжений, аналитически представленное квадратичной формой общего вида, подчиняется следующим 7 очевидным первичным требованиям: 1) удовлетворение уравнениям равновесия элементарного объема, $\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = 0$; и $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} = 0$; 2) пропорциональность касательных нагрузок нормальным на участке контакта стружки с передней поверхностью резца в соответствии с коэффициентом трения, $\tau_{xy} = \mu \sigma_y$; 3) равенство касательных напряжений на плоскости сдвига максимальным касательным напряжениям для данного обрабатываемого материала, $\tau_{xy} = \tau_s$; 4) параллельность плоскости сдвига площадок с максимальными касательными напряжениями в точках плоскости сдвига, $\sigma_x = \sigma_y$; 5) равенство касательных и нормальных нагрузок нулю в точке разрыва контакта стружки с резцом, $\tau'_{xy} = \sigma'_x = 0$; 6) равенство одного главного напряжения нулю в верхней точке плоскости сдвига, т.е. на свободной поверхности обрабатываемого материала, $\sigma_x = \tau_s$; 7) равенство сил и моментов, действующих на стружку со стороны плоскости сдвига и участка контакта передней поверхности резца со стружкой, $\bar{R} = -\bar{R}_{нн} M_{нн} + M_{нн} = M_{нн}$. После удовлетворения всем перечисленным требованиям определяются все неизвестные коэффициенты квадратичной формы. Квадратичная форма аналитического представления поля напряжений выбрана потому, что более простая чем она линейная форма не может удовлетворить всем перечисленным требованиям и, следовательно, квадратичная форма является наиболее простой из подходящих. Для определения коэффициентов форм более высокого порядка потребуются дополнительные неочевидные требования к полю напряжений.

Алгоритм нахождения коэффициентов квадратичной формы, а значит и контактных нагрузок, имеется в работе. Вместе с нагрузками на передней поверхности вычисляются и нагрузки на участке износа задней поверхности резца в предположении: наличия там герцевского распределения нормальных нагрузок; пропорциональности касательных нагрузок нормальным согласно коэффициенту трения на участке износа задней поверхности; соответствия нормальных

нагрузок в вершине участка износа задней поверхности нормальным напряжениям на площадке максимального касательного напряжения в нижней точке плоскости сдвига. Сила и момент, действующие на участке износа задней поверхности резца, согласно алгоритму, учитываются при определении сил, действующих со стороны передней поверхности резца на стружку.

Получающиеся в результате расчета эпюры нормальных нагрузок на передней поверхности резца и нормальные напряжения для точек плоскости сдвига на площадках параллельных и перпендикулярных плоскости сдвига в зависимости от значений коэффициента трения на передней поверхности резца и переднего угла резца показаны на рис. 4. Эти зависимости достаточно хорошо согласуются с существующей теоретико-экспериментальной информацией. Представляет интерес некоторое смещение максимума нормальной нагрузки на передней поверхности резца от вершины резца, которое приводит к соответствующему смещению в распределении температур. Для проверки адекватности и точности созданной модели механики стружкообразования было изучено поведение ее выходных параметров, таких как угол наклона условной плоскости сдвига β , длина контакта стружки с передней поверхностью резца c , силы резания P_x, P_y, P_z , в зависимости от переднего угла резца γ и коэффициента трения на его передней поверхности μ . Сравнение полученных зависимостей с общепризнанными экспериментально-теоретическими, рис. 5, показывает что они занимают промежуточное, усредняющее положение, поэтому могут быть признаны достаточно корректными.

Для использования созданной стационарной модели механики стружкообразования в динамическом расчете с целью сокращения временных затрат на него были предварительно сформированы матрицы связи выходных параметров модели механики стружкообразования с разными возможными в динамике значениями ее входных параметров, таких как: 1) коэффициент трения на передней поверхности резца, 2) коэффициент трения на участке износа задней поверхности резца, 3) длина участка износа. Таким образом, в динамической модели при расчете контактных нагрузок предполагалось резание стационарное внутри отдельного временного шага, первичные параметры модели механики стружкообразования постоянные, а нестационарность резания на более длинных временных отрезках воспроизводимо путем изменения по необходимости значений первичных параметров модели механики стружкообразования от одного временного шага динамического расчета к другому. После получения модели механики стружкообразования комплексной динамической модели было проведено моделирование тепловых явлений. При этом использовался известный метод тепловых источников с заменой движущихся источников быстро движущимися. Учет тепловых явлений на участке износа задней поверхности резца, в соответствии с полученными при моделировании механики стружкообразования эпюрами контактных нагрузок, приводился по новым уравнениям для источников тепла от трения по передней

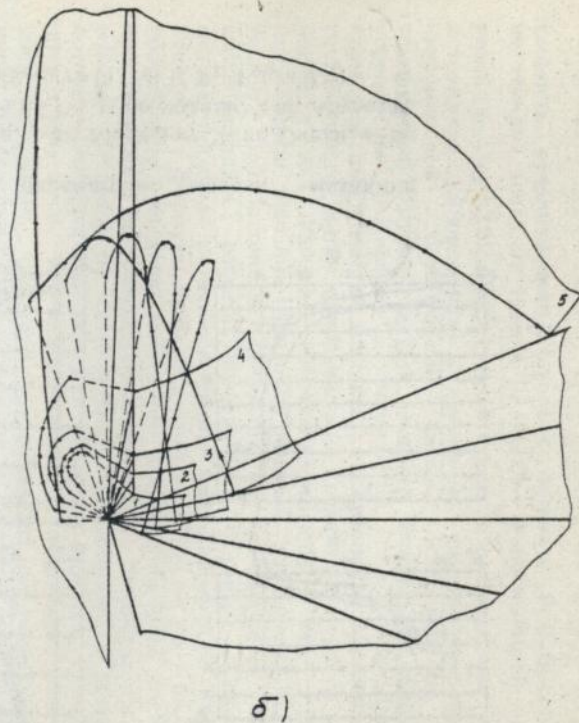
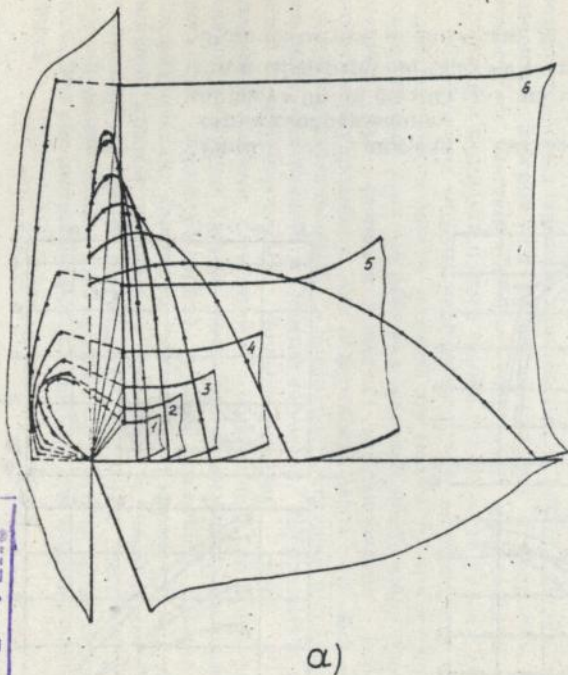


Рис. 4. Эпюры нормальной контактной нагрузки на передней поверхности
резца и нормального напряжения на условной плоскости сдвига:
а) при $\gamma = 0$; $\mu = \{0.15(1), 0.3(2), 0.45(3), 0.6(4), 0.75(5), 0.9(6)\}$;
б) при $\mu = 0.5$; $\gamma = \{20^\circ(1), 10^\circ(2), 0^\circ(3), -10^\circ(4), -20^\circ(5)\}$

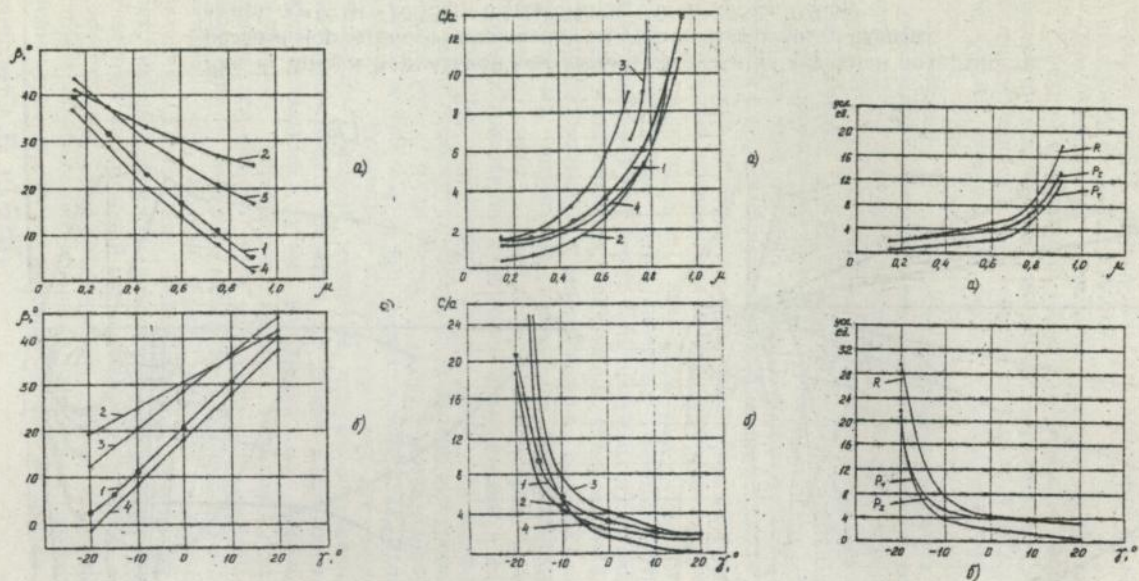


Рис.5. К анализу выходных параметров модели механики стружкообразования:

а) $\beta(\mu, \gamma = 0)$; б) $\beta(\mu = 0.5, \gamma)$, 1- по модели, 2- по Мерчанту, 3- по Оксли, 4- по Ли и Шафферу; в) $C(\mu, \gamma = 0)$; г) $C(\mu = 0.5, \gamma)$, 1- по модели, 2- по Абуладзе, 3- по Полетике, 4- по Оксли; д) $R, P_z, P_\gamma(\mu, \gamma = 0)$; е) $R, P_z, P_\gamma(\mu = 0.5, \gamma)$

поверхности реза $q_n(l)$, $q_n = 3.9 \frac{V_r}{\xi} \tau_{sl} (\bar{B}_1 + \bar{B}_2 + \bar{B}_3 l')$, кал/см²с, где V_p - скорость резания, м/мин; ξ - усадка стружки; $B_1, B_2, B_3 = \text{const}$; и для источников тепла от трения на участке износа задней поверхности реза q_3 , $q_3 = 3.9 V_r \mu_3 \sigma_{\max} \sqrt{1 - (l_1 / h_3)^2}$, кал/см²с. Введением фиктивных источников удовлетворялись граничные условия на трехсторонне ограниченной поверхности реза. Определялись средние температуры стружки, детали, реза на участках их контакта путем усреднения локальных температур в пятнадцати точках прямоугольных областей контакта. Из уравнения теплового баланса, составленного путем приравнивания средних температур на участках контакта для каждого из контактирующих тел, находились неизвестные значения тепловых потоков. Учитывался нагрев детали теплом приобретенным деталью на предыдущем обороте. В вышесказанном, расчетах применялись формулы, полученные для метода тепловых источников проф. Резниковым А.Н. Однако, как понятно из формулы были видоизменены. Кроме того была детально проработана методика численного вычисления ряда интегралов от аналитически неинтегрируемых функций, входящих в уравнения метода. Переход от стационарного теплообмена, в предположении которого вычислялись значения тепловых потоков внутри каждого временного шага, к нестационарному, с отличающимися от шага к шагу тепловыми потоками осуществлялся по известной методике путем использования представления о процессе распространения в резе тепла от ступенчато включившегося источника тепла. Формулы и алгоритм расчета динамики тепловых процессов по полученной модели тепловых явлений приведены в работе. Цикл прохождения алгоритма завершается расчетом средних температур и тепловых потоков на участке контакта передней поверхности реза со стружкой и площадки износа задней поверхности реза с деталью.

Следующая модель, необходимая при полноценном комплексном моделировании процесса резания это модель трения и износа. Точное моделирование этих физических явлений необычайно проблематично, поэтому для решения задачи моделирования использовались допустимые упрощения. Так поверхность реза считалась шероховатой и жесткой, изнашиваемой, а поверхность стружки или детали плоской, идеально пластичной и неизнашиваемой. Шероховатая поверхность реза моделировалась примыкающими друг к другу цилиндрическими сегментами, образующая которых лежит вдоль главной режущей кромки, потому весь анализ сводился к анализу в плоскости, перпендикулярной главной режущей кромке. Высоты цилиндрических сегментов, зависели от параметра R_{\max} и крутизны опорной кривой профиля, связанной с параметром V крутизны огибающей профиля, $h(x) = R_{\max} (1 - x/l)^V$, где x - расстояние от начала базовой линии длины l до вершины (сегменты вдоль базовой линии), рис.6. Эти параметры являются базовыми при моделировании трения и износа.

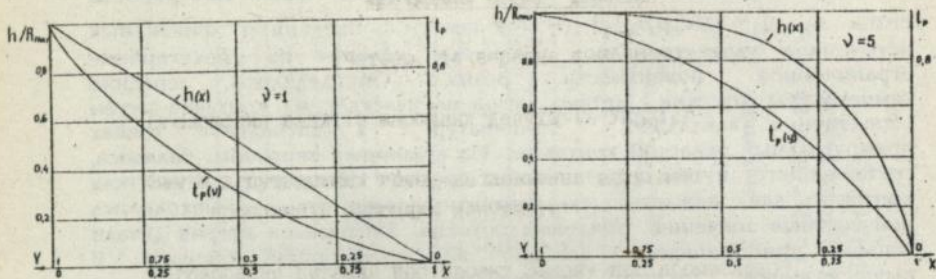


Рис. 6. Связь огибающей моделирующих микронеровности поверхности цилиндрических сегментов с опорной кривой профиля поверхности.

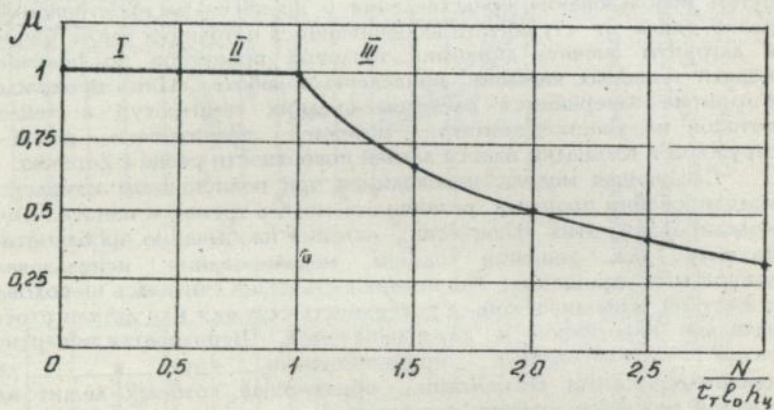


Рис. 7. Зависимость $\mu(N)$ модели трения.

Механизм трения на основании проведенных микрофотографических исследований контактных площадок реза был принят внутренним, граничащим с внешним, поэтому в модели использовался еще один базовый параметр - максимальное касательное напряжение или предел текучести на сдвиг для приконтактных слоев материала стружки и детали. Рассматривались три этапа контактирования. Переход от одного к другому происходит с ростом нормальной нагрузки на контакт. На первом этапе контакт неровности с обтекающим ее материалом не полный односторонний. На втором этапе со стороны набегания материала на неровность контакт полный и неполный с тыльной стороны неровности. На третьем этапе вся поверхность неровности контактирует с обтекающим ее материалом, контакт сплошной, внедрение полное. Нормальная нагрузка на контакт позволяет, исходя из данной модели контакта, вычислить значение коэффициента трения между неровностью и обтекающим ее материалом, интегрально между всеми микронеровностями профиля поверхности реза и контактирующим с ними материалом детали или стружки, т.е. коэффициенты трения на контактных участках передней и задней поверхностей реза.

Получающаяся зависимость коэффициента трения от нормальной нагрузки на контакт приведена на рис.7.

Износ трущейся поверхности реза полагался происходящим по усталостному механизму. В результате непрерывного движения обтекающего материала контакт каждой неровности поверхности реза с ним происходит циклически. Циклы нагружения неровности накапливают микроповреждения в материале неровности и по стечению определенного количества циклов n неровность разрушается $n = (2\tau_p l_p / \tau_T l_n)^2$, где l_p и l_n - длины поверхностей разрушения и нагружения; τ_p, τ_T - напряжение разрушения инструментального материала и максимальное сдвиговое напряжение обтекающего неровность материала; t - параметр кривой фрикционной усталости. Этот процесс в модели отслеживался с помощью специальной переменной - накопленного потенциала разрушения. Воспроизводился один из возможных сценариев разрушения неровностей. Для того, чтобы его характеристики соответствовали средним значениям характеристик наблюдающегося на практике случайного процесса разрушения, разрушение всех контактировавших неровностей синхронизировалось с разрушением неровности, наиболее интенсивно накапливающей потенциал разрушения, на глубину равную среднему радиусу зерен материала реза ниже линии основания модели неровности, т.е. линии впадин. Тогда поверхности разрушения других неровностей располагались на уровнях от максимально низкого, т.е. ниже линии впадин на величину среднего радиуса зерен, до максимально высокого - на вершине неровности, которая не разрушалась. Поверхность после разрушения моделировалась новым набором цилиндрических сегментов и т.д. Алгоритм расчета выходных параметров модели трения и износа имеется в работе. При расчете динамики комплексной модели он выполняется по отдельности для

передней поверхности резца и задней. Отдельно для этих поверхностей от одного временного шага к другому сохраняется информация об их состоянии. Возможность определения коэффициента трения по нормальной нагрузке на контакт избавляет от необходимости использования для его нахождения при комплексном расчете динамики процесса резания эмпирических зависимостей. Так согласно ранее отмеченному общему алгоритму динамического расчета, вначале мы задаем некоторые условные, ориентировочные значения коэффициентов трения на передней и задней поверхностях резца, для которых вычисляем контактные нагрузки, а потом эти контактные нагрузки используем для уточнения коэффициентов трения.

После завершения моделированием трения и износа базовой комплексной модели процесса резания был проведен вычислительный эксперимент по этой модели, подтвердивший ее работоспособность и выяснивший природу неустановившегося процесса в высокочастотном виброакустическом сигнале, регистрируемом экспериментально в режущем инструменте после начала резания острым резцом до затупления его на величину порядка 0.2-0.3 мм по задней грани. Всего было проведено 16 опытов. Некоторые результаты представлены на рис. 8 и 9. Виброакустический сигнал, был выбран среди характеристик процесса резания, вторичных по отношению к базовым потому, что отмеченная его нестационарность при разных условиях обработки и легкость регистрации предрасполагают к использованию его для оценки параметров процесса обработки, и отсюда определения обрабатываемости. Виброакустический сигнал вычислялся отдельно для передней и задней поверхностей резца как величина прямо пропорциональная соответствующим касательным силам, скоростям роста накопленного потенциала разрушения неровностей, геометрическим площадям контакта. Анализ всех полученных результатов свидетельствует о том, что обций виброакустический сигнал в начале резания будет неустановившимся нестабильным, пока не осуществится приработка передней и задней поверхностей резца. При этом начальный пик в сигнале вызван сигналом с передней поверхности резца, а после следующего за пиком спада ВАС основу его составляет сигнал с участка износа задней поверхности резца. Вычислительный эксперимент подтверждает возможность использования таких параметров ВАС, как время его стабилизации, разница между пиковым (максимальным) значением и значением в момент стабилизации, приближенно соответствующий моменту достижения растущим виброакустическим сигналом с участка износа задней поверхности резца величины убывающего виброакустического сигнала с участка контакта передней поверхности резца со стружкой. Более подробно результаты моделирования обсуждаются непосредственно в работе. Полученная рациональная модель процесса резания позволяет оценить динамику процесса резания по значимым для определения обрабатываемости параметрам, объяснить причину тех или иных значений параметров, выявить информативные параметры процесса резания и отсюда априорно определить обрабатываемость металлов, в частности установить связь скорости

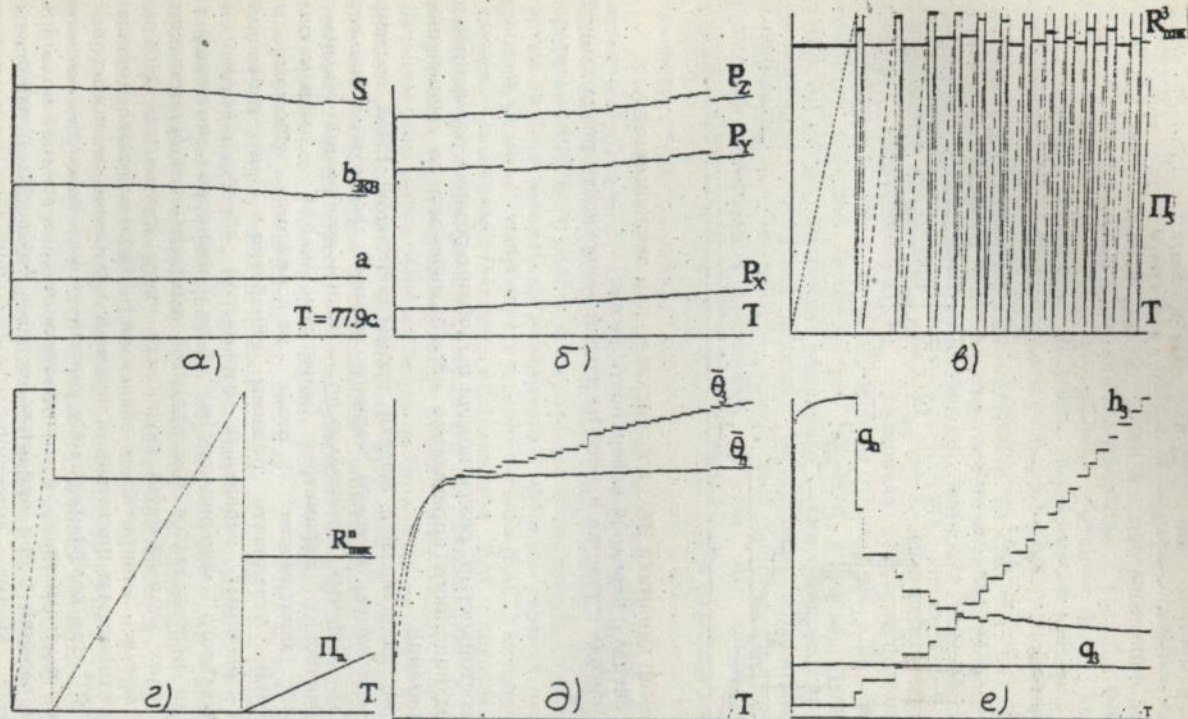


Рис. 8. Базовые выходные параметры комплексной динамической модели процесса точения в вычислительном эксперименте, а) толщина- a , ширина- $b_{кв}$, площадь- S среза; б) сила резания P_x , P_y , P_z ; в) накопленный потенциал разрушения- Π_3 , R_{max}^1 на участке износа задней поверхности резца; г) Π_n , R_{max}^n на передней поверхности; д) средняя температура $\bar{\theta}_1$ и $\bar{\theta}_2$ на передней и задней поверхности резца; е) тепловые потоки q_n и q_3 передней поверхности резца и участка износа его задней поверхности величиной h_3 .

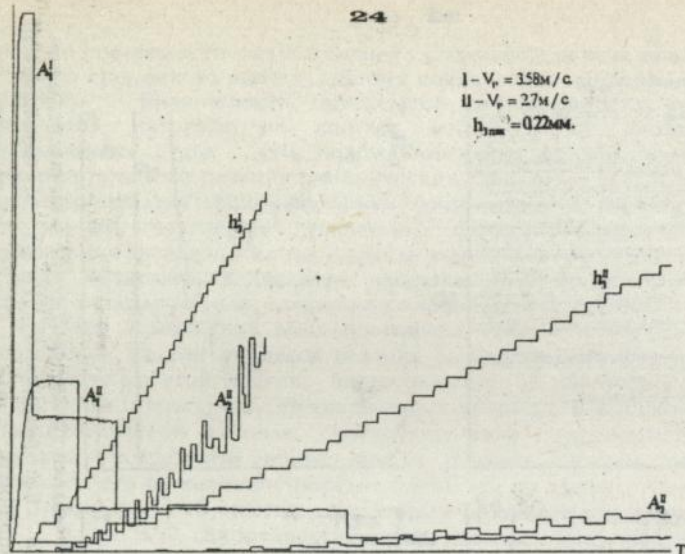


Рис.9. Пример динамики ВАС в вычислительном эксперименте:

A_1 - сигнал с передней поверхности резца;

A_2 - сигнал с участка износа по задней поверхности резца длиной h_3 .

резания со стойкостью резца; подачи и глубины резания, лежащую в основе традиционного определения обрабатываемости и назначения режимов резания.

Кроме рациональной модели процесса резания была создана эмпирическая модель методом "черного ящика". Модель позволяет для вновь создаваемых материалов по значениям отобранных моделью физико-химических параметров априорно найти параметры стойкостной зависимости резца от режимов резания, и предварительно установить режимы обработки. При этом для выявления значимых первичных параметров обрабатываемого и инструментального материалов на базе априорно имеющейся информации использовался многокритерийный алгоритм самоорганизации математических моделей-метод группового учета аргументов (МГУА). За основу бралась эмпирическая зависимость, связывающая скорость резания со стойкостью инструмента, подачей и глубиной резания, типа $V = C_v / T^m t^{x_v} S^{y_v}$, где коэффициент C_v учитывает весь комплекс свойств инструмента и детали; m , x_v , y_v - показатели степени влияния подачи S и глубины резания t при принятом периоде стойкости T режущего инструмента. Анализ априорной информации, содержащейся в справочно-нормативной литературе показал, что значения m , x_v , y_v

могут быть приняты равными известным для группы, к которой относится обрабатываемый металл в пределах диапазонов подач $S=0.06...0.2$ мм/об и $S>0.2$ мм/об. Задача моделирования сводилась таким образом к идентификации зависимости C_v от параметров обрабатываемого и инструментального материалов. Для этого использовался степенной полином Колмогорова-Габора. Вначале зависимости C_v синтезируются в каждой группе только для "базового" инструментального материала $C_v^{\delta}(\hat{X})$, где \hat{X} - параметры химического состава и механических свойств обрабатываемого металла, а затем для другого инструментального материала устанавливается коэффициент A , как $A(\dot{X})_{TK}$ или $A(\dot{X})_{BK}$, где \dot{X} - параметры механических свойств инструментального материала соответственно для твердосплавных режущих инструментов группы ТК и BK, который учитывает влияние механических свойств (предела прочности и твердости) инструментального материала. Таким образом осуществлена декомпозиция априорных данных по группам обрабатываемых и инструментальных материалов. Кроме того проведена декомпозиция множества входных переменных x на не пересекающихся подмножествах \dot{X} и \hat{X} , $x = \dot{X} \cup \hat{X}$, $\dot{X} \cap \hat{X} = \emptyset$. Тогда решение имеет вид:

$$C_v = A(\dot{X})_{TK} C_v^{\delta}(\hat{X}); C_v = A(\dot{X})_{BK} C_v^{\delta}(\hat{X}).$$

В соответствии с вышесказанным важное значение в системе автоматизированного определения обрабатываемости имеет подсистема апостериорной оценки параметров обработки и обрабатываемости. В работе исследовалась возможность создания таких систем на базе технически измеримых в процессе резания параметров процесса резания - виброакустического сигнала (ВАС), мощности и сил резания. Экспериментальные исследования ВАС показали, что наиболее эффективным параметром его по отношению к стойкости инструмента является параметр $I_A = (A_{max} - A_{ст})/\tau_{ст}$. Этот параметр по значению максимума нарастающего после начала резания ВАС A_{max} , уровню последующей стабилизации ВАС $A_{ст}$ и соответствующему времени стабилизации $\tau_{ст}$ позволяет апостериорно контролировать стойкость инструмента, что, например, можно использовать для апостериорного уточнения параметров скоростной зависимости эмпирической модели процесса резания, а значит и традиционной оценки обрабатываемости. Соответствующая модель стойкости по ВАС имеет вид $T = C_T I_A^K$, где постоянные коэффициенты C_T и K для заданной пары "обрабатываемый образец - режущий инструмент" определяются классическим методом исследования стойкости инструмента с помощью только двух опытов из множества необходимых, а.с. 1543978.

Другим ценным информационным параметром процесса резания, используемым в подсистеме апостериорной оценки, является суммарная мощность N , потребляемая двигателем главного привода станка от момента возникновения контакта инструмента с заготовкой до начала резания при стабилизировавшейся площади среза за время τ_B , а.с.1374096. Будучи проинтегрированной по времени этого процесса,

мощность дает энергетические затраты. Данный параметр характеризует работу W , затрачиваемую на процесс резания $W = \int_0^L N dt$.

Использование его помогает решать задачу учета при комплексном определении обрабатываемости различных энергетических показателей процесса обработки.

Измерение сил резания дает дополнительную возможность апостериорно оценить обрабатываемость, т.к. сила резания является одним из базовых параметров, от которых зависят другие многочисленные показатели процесса обработки. Исследования показали, что при обработке разных материалов меняется коэффициент вариативности, определяемый как отношение абсолютных приращений составляющих сил резания к первоначальным значениям на одинаковых интервалах времени. Поэтому по отношению коэффициентов вариативности для данного обрабатываемого материала и эталонного можно судить об обрабатываемости данного материала, а.с.1305575.

Непосредственный выход на параметры шероховатости обработанной поверхности возможен через параметр общего уровня ВАС в условиях обработки заготовки с переменной подачей S . Так при продольном точении цилиндрической заготовки с переменной S наблюдается участок экстремальных значений P_z , N , E , R_a , T (N — мощность, потребляемая двигателем главного привода станка, E — э.д.с. резания, T — стойкость резца), соответствующих одному и тому же значению S . Для P_z в данной области S могут иметь место участки немонотонного поведения, а для э.д.с. резания скачкообразные изменения. Общий уровень ВАС G падает до минимума и в дальнейшем с увеличением S монотонно возрастает. Минимуму G соответствует минимальная шероховатость обработанной поверхности R_a и максимальная стойкость режущего инструмента. Зависимость $G = f(S)$ является наиболее информативной и удобной для измерений, поэтому с ее помощью можно косвенно контролировать шероховатость поверхности, стойкость инструмента и оценить обрабатываемость материалов, а.с. 1427233.

Завершающим этапом в создании автоматизированной системы определения обрабатываемости является разработка автоматизированного измерительного стенда. В диссертации указаны эффективные для использования в стенде принципы работы, конструктивные схемы, характеристики устройств измерения необходимых для определения обрабатываемости параметров процесса резания. Стенд в общем случае управляется ЭВМ, реализующей функцию диспетчера системы и, возможно, вычисляющей комплексную итоговую оценку обрабатываемости, а.с. 1543978. Сначала производятся априорные расчеты, затем начинается процесс резания, применительно к которому априорная оценка обрабатываемости апостериорно уточняется. Алгоритм функционирования подобных систем определения обрабатываемости представлен в диссертационной работе. Комплексная оценка обрабатываемости, как суммарная относительная оценка обрабатываемости данного материала по

отношению к эталонному производилась по стойкости режущего инструмента, силам резания, мощности, потребляемой двигателем главного привода при резании и параметрам Ra или Rz шероховатости обработанной поверхности. Эта оценка получалась с помощью комплексного показателя определяемого посредством умножения каждой частной оценки на соответствующий коэффициент экономической эквивалентности и дальнейшего усреднения. Среди возможных методов получения значений коэффициентов экономической эквивалентности был выбран метод экспертных оценок. Реализованные системы определения обрабатываемости позволили автоматизированно получать комплексную оценку обрабатываемости и использовать ее для назначения и уточнения режимов обработки металлов резанием.

Сформированные в работе научные основы создания автоматизированных систем определения обрабатываемости позволяют в будущем при необходимости эффективно модернизировать эти системы для решения новых задач производства, что подтверждает их перспективность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате всесторонних исследований существующих подходов к определению обрабатываемости, физических процессов при резании металлов разработаны научные основы создания системы автоматизированного определения обрабатываемости металлов резанием, осуществляющей априорный и апостериорный анализ процесса резания, как приближенный предварительный и уточняющий текущую оценку обрабатываемости и устанавливающей ее комплексный показатель с целью назначения и уточнения рациональных режимов резания.

2. Анализ результатов и направлений современных исследований обрабатываемости металлов резанием позволил классифицировать основные методы определения, показателей обрабатываемости и разработать эффективную подробную структуру и принципы работы системы автоматизированного определения обрабатываемости, основными элементами, которой, являются подсистемы априорной и апостериорной оценки параметров обработки, информационно-управляющий диспетчер, функции обрабатываемости, формализующая связь между технологической оценкой обрабатываемости и характеристиками технологической эффективности обработки.

3. На базе разработанной системы определения обрабатываемости, выявлены основные моменты в решении проблемы ее автоматизированного определения, проанализированы сложные структурные элементы системы определения обрабатываемости.

модели процесса обработки, входящие в подсистемы априорной и апостериорной оценки обрабатываемости.

4. Созданы новые эффективные модели процесса обработки металлов точением, использующие априорную и апостериорную информации, в том числе:

- разработана и реализована комплексная математическая модель динамики процесса точения, воспроизводящая динамику базовых физических явлений процесса резания - упругих взаимных перемещений резца и детали, контактных нагрузок, трения и износа, тепловых явлений, которая может быть использована при решении всевозможных задач, связанных с априорным анализом процесса резания, в том числе для анализа производных базовых явлений, таких как виброакустический сигнал режущего инструмента;

- благодаря комплексной динамической модели, впервые установлен механизм формирования общего уровня высокочастотного виброакустического сигнала, показана его связь с процессами изнашивания передней и задней поверхностей резца, обоснована возможность использования параметров виброакустического сигнала, характеризующих динамику неустановившегося процесса, наблюдаемого в начальный период резания для прогнозирования стойкости режущего инструмента и определения обрабатываемости металлов резанием;

- на основе метода самоорганизации разработана и реализована эмпирическая математическая модель процесса обработки, позволяющая для новых металлов априорно определять зависимость скорости резания от стойкости режущего инструмента, подачи и глубины резания путем нахождения коэффициентов эмпирической формулы и назначать предважительные режимы резания.

5. Созданы эффективные методы апостериорной оценки параметров процесса обработки и обрабатываемости металлов на основе виброакустического сигнала, сил и мощности резания, позволяющие оперативно уточнять режимы резания, стойкость режущего инструмента, определять энергоемкость процесса обработки, ее эффективность в смысле достижения минимальной шероховатости обработанной поверхности.

6. Разработаны технические средства системы комплексного определения обрабатываемости, проведена их оптимизация и интеграция в автоматизированный измерительный стенд, получен детальный алгоритм работы автоматизированной системы комплексного определения обрабатываемости металлов резанием.

7. Теоретически и экспериментально обоснованная и опробованная практикой система автоматизированного определения обрабатываемости металлов резанием позволяет решать разнообразные технологические задачи обработки металлов, связанные с обрабатываемостью, главным образом, эффективного выбора рациональных режимов резания, что подтверждено экономическим эффектом от внедрения результатов работы на машиностроительных предприятиях Украины и Республики Узбекистан.

По теме диссертации опубликовано более 40 научных работ, основные из них:

1. А. с. 1305575(СССР) Способ оценки обрабатываемости материалов резанием./Остафьев В.А., Мирзаев А.А., Александров А.И.- Оpubл. в Б.И. 1987, №15.

2. А.с. 1374096(СССР) Способ оценки обрабатываемости материалов./Остафьев В.А., Мирзаев А.А., Малэк З.Б. и др.- Оpubл. в Б.И. 1988, №6

3. А.с. 1427233(СССР) Способ определения коэффициента относительной обрабатываемости./Остафьев В.А., Мирзаев А.А., Кокаровцев В.В. и Скицюк В.И.- Оpubл. в Б.И. 1988, №36

4. А.С. 1543978(СССР) Стенд для определения обрабатываемости материалов резанием./Остафьев В.А., Мирзаев А.А., Скицюк В.И. и др., 1989.

5. А.с. 1458160(СССР) Способ оптимизации процесса резания./Остафьев В.А., Мирзаев А.А., Кокаровцев В.В.- Оpubл. в Б.И. 1989, №6

6. А.с. 1414569(СССР) Способ адаптивного управления процессом резания./Остафьев В.А., Шевченко В.В., Мирзаев А.А. и др.- Оpubл. в Б.И. 1988, №29

7. Остафьев В.А., Мирзаев А.А. Автоматизированные методы оценки обрабатываемости металлов/Материалы междунаро. конф. "Высокие технологии: моделирование, оптимизация, диагностика"- Интерпартнер-94. Харьков-Алушта. 1994.с.155-156.

8. Остафьев В.А., Мирзаев А.А., Кокаровцев В.В. Ускоренное определение обрабатываемости материалов резанием./Станки и инструмент. 1989. №8 с.26-27.

9. Махмудов К.Г., Остафьев В.А., Мирзаев А.А. Автоматизированные методы определения обрабатываемости металлов.-Киев:Випол, 1995.-91с.

10. Мирзаев А.А. Комплексное моделирование процесса резания./Материалы конф. "Аэрокосмический комплекс: конверсия и технология". Житомир. 1995г. с.98-100.

11. Мирзаев А.А. Математические модели обрабатываемости металло. Киев. 1995 деп. в ГНТБ Украины. 16.06.95. №1538-Ук95. 14с.

12. Моделирование обрабатываемости металлов по их химическому составу и механическим свойствам./ Остафьев В.А., Махмудов К.Г., Мирзаев А.А., Халилов К.Б.//Информация и новые технологии. Киев. 1995. №2 с.24-25

13. Априорная и апостериорная информация при определении обрабатываемости металлов резанием./ Остафьев В.А., Махмудов К.Г., Мирзаев А.А., Харкевич А.Г.//Материалы междунаро. конф."Решение проблемных вопросов теории механизмов и машин". Фергана. 1994. с.173-174.

14. Мирзаев А.А., Махмудов К.Г., Халилов К.Б. Ускоренное определение обрабатываемости материалов по неустановившемуся процессу резания. Киев.1994. Деп. в ГНТБ Украины .13.02.94. №318-Ук.94.20с.

15. Нощенко А.Н., Мирзаев А.А. Термонапряженное состояние режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов./Материалы конф."Теплофизика технологических процессов". Тольятти. 1988.с.63-64.

16. Мирзаев А.А., Кокаровцев В.В. Автоматизация определения обрабатываемости металлов резанием. Технология и автоматизация машиностроения. Сб.-Вып.42. Киев.:Вища школа.1988.с.79-82.

17. Махмудов К.Г., Мирзаев А.А., Ридванов И.Х. Прогнозирование износостойкости режущих инструментов. Технология и автоматизация машиностроения. Сб.-Вып.45. Киев.: Вища школа.1990. с.69-73.

18. Махмудов К.Г., Мирзаев А.А. Информационное обеспечение САПР ТП механической обработки./Материалы конф."Оснастка-95". Киев. 1995. с.64-65.

19. Мирзаев А.А. Оптимизация механической обработки композиционных материалов на станках с ЧПУ./Материалы междунаро. конф."Решение проблемных вопросов теории механизмов и машин". Фергана.1991.с.19-20.

20. Мирзаев А.А., Ридванов И.Х. Автоматизированное определение обрабатываемости труднообрабатываемых материалов./ Материалы научно-технической конф. Мариуполь. 1989. с. 36-37.

21. Махмудов К.Г., Мирзаев А.А., Харкевич А.Г. Оценка обрабатываемости металлов в САПР ТПП механообработки./Материалы конф. "Конверсия-95". Киев.1995. с. 55-56.

22. Файзиматов Б.Н., Мирзаев А.А. Ускоренный метод определения обрабатываемости материалов./Материалы семинара "Опыт работы и

внедрения технологических и конструкторских решений интенсификации процессов резания". Киев. 1989. с.9.

23. Дифференциальное уравнение причинно-следственных связей.

/Таланчук П.М., Остафьев В.А., Махмудов К.Г., Мирзаев А.А., Троц А.А. //Вестник киевского политехнического института: приборостроение .1995 №24. с. 102-116.

24. Остафьев В.А., Мирзаев А.А., Кокаровцев В.В. Метод ускоренного определения относительной обрабатываемости металлов./Материалы семинара "Прогрессивные конструкции режущего инструмента для ГПС и роботизированных комплексов. М. 1987. с. 99-103.

АНОТАЦІЯ

Мірзаєв А.А. Наукові основи створення системи автоматизованого визначення оброблювальності металів різанням(На правах рукопису).

Дисертація на здобуття вченої ступені доктора технічних наук з фаху 05.03.01-"Процеси механічної обробки, верстати та інструмент". Захист відбудеться в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут", 1995р., м.Київ.

В дисертаційній роботі показан комплекс теоретико-експериментальних знань, що є загальною науковою основою створення різноманітних автоматизованих систем визначення оброблювальності металів різанням. З урахуванням відомих методів визначення оброблювальності розроблені структуру та принципи функціонування систем автоматизованого визначення. Одержано базові варіанти моделей процесу обробки щодо підсистем апріорної та апостеріорної оцінки оброблювальності. Встановлено принципи раціонального технічного обладнання та автоматизації системи визначення оброблювальності. Надано розроблену на науковій фундації конкретну систему автоматизованого визначення оброблювальності, що апріорно приблизно оцінює та апостеріорно уточнює комплексний показник оброблювальності з метою раціонального призначення та корекції режимів різання.

Ключові слова: оброблювальність металів різанням, автоматизоване визначення оброблювальності, апріорне визначення оброблювальності, модель процесу обробки, комплексний показник оброблювальності, призначення режимів різання.

ABSTRACT

Mirzaev A.A The scientific principles of the automation system design for the metal cutting machinability definition. (On the typescript rights).

The doctor, de gree thesis on speciality 05.03.01 - "Metal cutting process, machines and tools".

The defence of the thesis will be on Ukranian National Technic University "Kiev Politechnic Institute", 1995, Kiev.

There is the theoretical - experimantal knowledges complex to be the common scientific principles of the different automation systems design for metal cutting definition. The common principle to define the metal machinability was formend used on the wellknown machinability principles definition. The structure and system for machinability definition processing principles were obtained. The main variants of the metal cutting models were obtained for the priori and posteriori machinability estimation sybsystems. The rational technical equipment and automation principles were proposed for the machinability definition system for the autommation machinability definition were offered. The system estimates approximately priori and defines more exactly posteriori the complex machinability index with purpose more rational cutting conditions fixing and correction.

Key words: the metal cutting machinability, the automation machinability definition, priori machinability definition, priori machinability definition, posteriori machinability definition, the metal cutting model, the complex machinability index, cutting condition fixing.

Подп. к печ. 26.09.95

Формат 60×84^{1/16}.

Бумага тип. № 3 . Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 1,86

Услови. кр.-отт. 1,97 . Уч.-изд. л. 2,10

Тираж 100 . Зак. № 5-4211

Фирма «ВИПОЛ»

252151, г. Киев, ул. Волинская, 60.

446259

AB 33.249