

1560291

На правах рукописи

УДК 621.9.014

КОРНЕЕВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ЭКСПРЕСС-ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ
ТОЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ
ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва - 1999

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
БАРЗОВ А.А.

Официальные оппоненты : Доктор технических наук, профессор
ЧЕРНЯНСКИЙ П.М.

Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
ВДОВИН А.А.

Ведущее предприятие - НИО «Техномаш»

Защита состоится « _____ » _____ 1999 года на заседании
диссертационного совета К 053. 15. 09 в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва,
2-я Бауманская ул., дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ
им.Н.Э. Баумана.

мпларе, заверенный печатью, просим

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1565291

Корнеев С.С. Экспресс-опре

1565291

СТИБНЕВ А.В.

1999 г. Заказ № 114
рия МГТУ им. Н.Э. Баумана

НА ДУМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ
ИЗДАЕТСЯ

Актуальность работы. Особенностью современного является применение большой номенклатуры деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов, что требует использования в технологическом процессе их производства механической обработки. Сложная форма и применение материалов с особыми физико-механическими свойствами является причиной проявления нестационарности в процессе точения данных деталей. Это значительно усложняет процесс технологической подготовки производства, требуя больших временных и материальных затрат на проведение стойкостных испытаний для определения оптимальных режимов точения.

1565291
Одним из путей снижения этих затрат является создание надежных экспресс-методик оптимизации операционных технологических процессов механической обработки, основанных на использовании наиболее совершенных методов технологической диагностики. В настоящее время перспективным методом технологической диагностики является метод акустической эмиссии. Метод основан на анализе волн упругой деформации, генерируемых в зоне резания в результате протекания процессов разрушения, трения и пластического деформирования. Он обладает наиболее полной информативностью из всех существующих методов диагностики процессов резания, так как сигналы акустической эмиссии несут адекватную информацию на изменение режимов обработки, геометрии режущего инструмента, обрабатываемого материала технологической среды и других факторов.

Однако разработанные ранее экспресс-методики и критерии оптимизации, полученные на основе применения при решении задач технологической диагностики метода акустической эмиссии, не позволяют решить задачу оптимизации режимов точения деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов в условиях нестационарности процесса механической обработки. Поэтому разработка экспресс-методики выбора рациональных режимов точения данных деталей, основанной на регистрации и анализе параметров акустической эмиссии, и анализ ее технологических возможностей применительно к нестационарным условиям обработки представляет собой актуальную задачу.

Цель работы. Снижение материальных и временных затрат на этапе технологической подготовки механообрабатывающего производства деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов на основе разработки экспресс-методики выбора рациональных режимов точения методом акустической эмиссии.

I

М Г Т У
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Научная новизна работы:

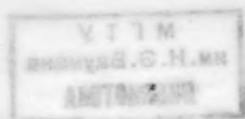
- разработана математическая модель, связывающая время до разрушения микрообъемов контактных поверхностей (износ) режущего инструмента с параметрами волн акустической эмиссии при нестационарных условиях механической обработки. Модель теоретически иллюстрирует наличие характерного участка, на котором время до разрушения прямо пропорционально амплитуде действующих волн акустической эмиссии.

- исходя из прямо пропорциональной зависимости времени до разрушения и амплитуды волн акустической эмиссии, предложен интегральный эмиссионно-технологический критерий экспресс-оптимизации в нестационарных условиях механической обработки, связывающий параметры волн акустической эмиссии с износом режущего инструмента.

- экспериментально обосновано, что разработанный критерий позволяет определять оптимальные режимы механической обработки в условиях нестационарности процесса резания и является основой для разработки экспресс-методик выбора рациональных режимов точения деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов.

Практическая значимость. Разработана экспресс-методика выбора рациональных режимов точения при нестационарных условиях обработки деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов. Разработанная экспресс-методика позволяет осуществить выбор рациональных режимов механической обработки в условиях нестационарного резания как непосредственно замерами параметров акустической эмиссии, так и расчетным путем. Использование данной методики позволило значительно сократить временные и материальные затраты, а при использовании расчетного метода полностью исключить материальные затраты, на определение рациональных режимов точения при нестационарных условиях обработки деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов; производить определение и корректировку режимов механической обработки в цеховых условиях на конкретном технологическом оборудовании для конкретных деталей. Практическая ценность работы доказана в результате внедрения экспресс-методики на двух промышленных предприятиях отрасли.

Методы исследования Аналитические исследования проводились с использованием основных положений технологии машиностроения, теории резания, физики твердого тела, термофлуктуационной концепции прочности материалов, теории вероятностей и математической статистики.



Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и производственных условиях с использованием комплекта акусто-эмиссионной аппаратуры.

Апробация результатов работы. Результаты работы доложены на Четвертой Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы технических измерений» г. Москва, 1997 г.; на Пятой Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы технических измерений» г. Москва, 1998 г.; на Всероссийской научно-технической конференции «Машиностроительные технологии» г. Москва, 1998 г.

Производственные испытания по апробации разработанной экспресс-методики подтверждены соответствующими актами ГПО «Воткинский завод» и ГУУАП «Гидравлика» г. Уфа.

Структура и объем работы Диссертационная работа изложена на 182 страницах и содержит 120 машинописного текста, включая введение и основные выводы. Работа иллюстрирована 62 рисунками, содержит 4 таблицы и список литературы из 102 наименований.

В первой главе рассмотрены особенности механической обработки деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов.

Проведенный анализ процесса механической обработки показал наличие множества факторов, определяющих нестационарность механической обработки. Все факторы были разделены на два вида, определяющие, так называемую внутреннюю и внешнюю нестационарность процесса. Внутренняя нестационарность характеризуется переменностью таких физико-механических параметров как температура, сила резания, нестационарность пластического деформирования, нестационарность процессов трения и других явлений, сопровождающих процесс резания. К ней можно отнести также нестационарность состояния режущего инструмента, качество поверхности заготовки. К внешней нестационарности отнесены такие факторы, как условия обработки и требования к детали: постоянство свойств технологической среды, форма и размеры детали.

Установлено, что типовые детали специального производства, имеющие сложную форму и изготавливаемые токарной обработкой, создают условия проявления в процессе их механической обработки всего многообразия факторов, характеризующих нестационарность процесса. Это затрудняет решение вопроса выбора рациональных режимов резания, при которых при выполнении всех требований, предъявляемых к качеству детали,

обеспечивается при минимальной себестоимости операции максимально возможная производительность.

Выбор рациональных режимов обработки традиционными методами связан с длительными и материалоемкими испытаниями. Поэтому для сокращения объема экспериментальных исследований по определению рациональных режимов резания на этапе технологической подготовки механообрабатывающего производства деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов целесообразно применять различные методы технологической диагностики.

В основе этих методов лежит предположение о наличии связи между текущими значениями физических параметров, таких как силы и температура резания, усадка стружки, спектры термо-ЭДС и т.д., и его выходными характеристиками: износом и стойкостью режущего инструмента. Однако использование этих методов не дает возможность детально исследовать динамику процессов разрушения, пластического деформирования материалов в зоне резания, трения на контактных поверхностях, которые являются основой технологических процессов механической обработки.

Одним из перечисленных методов технологической диагностики является метод акустической эмиссии (АЭ). Метод основан на приеме, выделении и анализе параметров волн упругой деформации, порождаемых доминирующими процессами зоны резания: разрушением, пластическим деформированием, трением. Достоинство метода АЭ заключается в том, что он является одним из наиболее информативных из всех существующих методов диагностики процессов резания, так как сигналы АЭ несут адекватную информацию на изменение режимов обработки, геометрии режущего инструмента, марки обрабатываемого материала, вида технологической среды. Поэтому этот метод может быть использован при оптимизации режимов деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов. Однако в известных литературных источниках, посвященных изучению данного вопроса, не в полной мере учитывалась нестационарность процесса резания, а использование известных критериев оптимизации не позволяет решать поставленные задачи по выбору рациональных режимов точения деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов.

На основании выше изложенного была сформулирована цель работы, которая заключалась в следующем:

Снизить материальные и временные затраты на этапе технологической подготовки механообрабатывающего производства деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов на основе разработки экспресс-методики выбора рациональных режимов точения методом АЭ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Построить физически обоснованную модель влияния волн АЭ на процесс износа режущего инструмента. Осуществить теоретическую оценку изнашивания инструмента с учетом действия волн АЭ и провести анализ полученных зависимостей.

2. Теоретически разработать и обосновать критерий определения параметров износостойкости режущего инструмента по параметрам АЭ при нестационарных условиях процесса механической обработки.

3. Экспериментально проверить информативность разработанного критерия и определить область его эффективного применения в лабораторных и производственных условиях.

4. Разработать инженерную экспресс-методику выбора рациональных режимов резания при нестационарных условиях обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, а также осуществить ее промышленную апробацию. Дать практические рекомендации по использованию разработанной методики на предприятиях отрасли.

Во второй главе описываются используемые при исследованиях оборудование, измерительная аппаратура, обрабатываемые и инструментальные материалы, а также приводятся методики выполнения экспериментов и обработки результатов экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования по анализу параметров АЭ, генерируемых в зоне резания и на контактных поверхностях режущего инструмента, и их связь с режимами обработки проводилась в лабораториях кафедры СМ-12 МГТУ им. Н.Э.Баумана на токарно-винторезном станке ИК62 при точении следующих труднообрабатываемых материалов: 12Х18Н10Т, 20Х3МВФ, 1Х12Н2ВМФ, ХН77ТЮ, ВТ5. В качестве инструмента использовались проходные резцы со сменными пластинками из твердого сплава ВК8.

В виду того, что основным определяющим параметром режимов механической обработки является скорость резания, которая изменяется в условиях подрезки торца детали, то для оценки влияния внешних факторов нестационарности на параметры АЭ исследования проводились при торцевом точении с различным числом оборотов деталей одного диаметра.

Для регистрации параметров АЭ амплитуды A и интенсивности N (количество импульсов АЭ в единицу времени) использовался комплект акустоэмиссионной аппаратуры АВН-ИМ.

Путем проведения предварительных экспериментов были выявлены методические особенности регистрации параметров АЭ:

- влияние на уровень регистрируемых сигналов АЭ места установки пьезопреобразователя (на резцедержателе и на торцевой поверхности резца);
- влияние на уровень регистрируемых сигналов АЭ усилия прижима пьезопреобразователя к установочной поверхности;
- выбор наиболее информативного частотного диапазона регистрации параметров АЭ.

По результатам экспериментов для каждого сочетания обрабатываемого и инструментального материалов строились зависимости разработанного эмиссионно-технологического критерия S_h от числа оборотов шпинделя n $S_h = f(n)$.

Необходимым условием всех экспериментов по точению был одновременный с регистрацией параметров АЭ текущий контроль износа резца по задней поверхности. Контроль износа осуществлялся с помощью микроскопа типа МПБ-2 без снятия его со станка. После каждого прохода измерялся износ h_3 . Количество числа проходов определялось достижением износа режущего инструмента значения $h_3 = 0,6$ мм.

В качестве параметра стойкости был выбран удельный износ h_{yd} - величина износа отнесенная к одному проходу. По результатам экспериментов были построены зависимости $S_h = f(n)$, $h_{yd} = f(n)$.

Эксперименты по исследованию влияния технологических факторов механической обработки на зависимости $S_h = f(n)$, $h_{yd} = f(n)$ проводились при точении заготовок из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и жаропрочного сплава ХН77ТЮ. Исследовалось влияние глубины резания, подачи, износа режущего инструмента и геометрии режущего инструмента.

Для установления характера связи между эмиссионно-технологическим критерием S_h и удельным износом h_{yd} проводились исследования на основе корреляционного анализа. Определялась форма связи с использованием регрессионного анализа и теснота корреляционной связи путем расчета коэффициента корреляции. Для решения вопроса достаточности величины коэффициента корреляции для статистически обоснованного вывода о наличии корреляционной связи между исследуемыми переменными S_h и h_{yd} была проведена проверка гипотезы о статистической значимости связи этих параметров.

Третья глава посвящена теоретическому и экспериментальному анализу стойкости режущего инструмента при нестационарных условиях обработки с учетом действия волн АЭ.

Теоретический анализ процесса механической обработки показал, что вследствие пластических деформаций и других явлений, связанных с динамической перестройкой структуры инструментального материала, в нем

происходят эмиссионные процессы, т.е. генерируются волны упругой деформации, вызывающие высокочастотные колебания режущего инструмента. При нестационарных условиях процесс генерации волн АЭ, обладающих высокой энергоемкостью и активно влияющих на износ режущего инструмента, будет проявляться более сильно.

Анализ выполненных в последние годы работ по физике прочности показал, что для оценки влияния волн АЭ на процесс разрушения режущего инструмента наиболее приемлемой является термофлуктуационная теория прочности, разработанная академиком С.Н.Журковым и его школой. Эта теория связывает время до разрушения некоторого объекта с уровнем действующих термо-силовых нагрузок и константами материала, с учетом его внутренней структуры.

В качестве исходной расчетной схемы модели был выбран элемент контактной площадки между инструментом и заготовкой, подвергающийся в процессе обработки термо-силовым нагрузкам. Для оценки нестационарного воздействия термо-силового нагружения было принято допущение о линейном суммировании повреждений (принцип Бейли), физический смысл которого заключается в том, что если на материал действует произвольная последовательность напряжений σ'_i , то его долговечность определяется линейным суммированием элементарных повреждений, вызванных этими σ'_i на бесконечно малом отрезке времени dt , при равенстве суммы этих повреждений единице.

Для теоретических расчетов напряжения, действующие на инструмент при нестационарных условиях обработки, аппроксимировались зависимостью $\sigma'(t) = \sigma_{ст} + \sigma_{АЭ}(t)$, где $\sigma_{ст}$ - механическое напряжение при стационарном нагружении; $\sigma_{АЭ}$ - механическое напряжение, обусловленное действием волн упругой деформации в некоторой точке в момент времени t .

С учетом вышесказанного было получено математическое выражение, связывающее время до разрушения режущего инструмента t_p с параметрами волн АЭ при нестационарных условиях механической обработки.

$$\frac{1}{\tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \sigma \sigma_{ст}}{k\theta}\right)} \int_0^{t_p} \exp\left(\frac{\sigma \sigma'(t)}{k\theta}\right) dt = 1, \quad (1)$$

где U_0 - энергия активации, близкая к энергии сублимации;

- θ - абсолютная температура;
 K - постоянная Больцмана;
 δ - структурный коэффициент;
 τ_0 - постоянная, примерно равная периоду тепловых колебаний атомов.

В связи с тем, что картина генерирования волн АЭ, которой характеризуются нестационарные условия обработки, является очень сложной, в качестве математического описания физической модели разрушения при нестационарных условиях обработки, волновую картину нагружения режущего инструмента в целях упрощения рассматривали в виде многократных периодических нагружений импульсами синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы. Тогда время с начала циклического нагружения до разрушения некоторого объема материала будет равно произведению числа циклов до разрушения N_u за время t_0 одного цикла. С учетом этого уравнение (1) после некоторых преобразований примет вид:

для нагружения импульсами синусоидальной формы:

$$t_p = \frac{\tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \delta G_{ст}}{K\theta}\right)}{I_0\left(i \frac{\delta G_{АЭ_0}}{2K\theta}\right)}, \quad (2)$$

где I_0 - функция Бесселя от мнимого аргумента

для нагружения импульсами треугольной формы:

$$t_p = \frac{\tau_0 \delta G_{АЭ_0} \exp\left(\frac{U_0 - \delta G_{ст}}{K\theta}\right)}{K\theta \exp\left(\frac{\delta G_{АЭ_0}}{K\theta}\right)}, \quad (3)$$

для нагружения импульсами прямоугольной формы:

$$t_p = \frac{\tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \delta G_{ст}}{K\theta}\right)}{\exp\left(\frac{\delta G_{АЭ_0}}{K\theta}\right)}. \quad (4)$$

Проведенный качественный анализ зависимостей времени до разрушения режущего инструмента от основной энергетической

характеристики волн АЭ — их амплитуды, построенных по результатам расчетов, показал при рассмотренных законах распределения σ_{12} различное значение t_p , что объясняется, при прочих равных условиях, изменением величины энергоемкости процессов. Но все кривые имеют некоторый характерный участок, на котором зависимость $t_p = f[\sigma_{12}/A]$ близка к линейной. На основании этого было высказано предположение, что на этом участке действует линейный закон накопления повреждений, и амплитуда оказывает существенное влияние на t_p , т.е. в первом приближении износ некоторого элементарного объема инструментального материала пропорционален амплитуде A волн АЭ ($\Delta h \sim A$).

Это предположение позволило разработать эмиссионно-технологический критерий ускоренной оценки износостойкости инструмента. Так как $\Delta h_i \sim A_i$, то износ контактирующих поверхностей в каждый момент времени будет равен сумме элементарных износов и определяться произведением амплитуды и общего количества импульсов волн АЭ N : $\Delta h = \sum_{i=1}^N h_i \sim A_i N_i$ или $\Delta h = \sum_{i=1}^N h_i \sim A_i \dot{N}_i \Delta \tau$. Параметры A и $\dot{N}$ при нестационарных условиях механической обработки изменяются в течение времени обработки (например, за время одного прохода). Если время $T_{обр}$ разбить на j количество конечных интервалов $\Delta \tau$, полагая, что в течение каждого интервала A и $\dot{N}$ остаются примерно постоянными, то износ h за время $T_{обр}$ будет пропорционален интегральной сумме изменения параметров A и $\dot{N}$ за время $T_{обр}$:

$$h \sim \int_0^{T_{обр}} A(\tau) \dot{N}(\tau) d\tau \quad (5)$$

В соответствии с допущением, что режущий инструмент изнашивается за каждый проход в течение нормального периода износа на одну и ту же величину, т.е. $h_1 = h_2 = h_3 = h_n$, полный износ за N_n проходов будет равен:

$$N_n \cdot h_{прох} \sim N_n \int_0^{T_{прох}} A(\tau) \dot{N}(\tau) d\tau \quad (6)$$

Полагая, что $N_n \cdot h_{прох} = h_{кр}$, и поделив левую и правую части зависимости (5) на N_n , получим:

$$h_{уд} \sim \int_0^{T_{прох}} A(\tau) \dot{N}(\tau) d\tau = S_h \quad (7)$$

где $h_{уд}$ — удельный износ, износ отнесенный к одному проходу при переменных условиях обработки. Интеграл $\int_0^{T_{прох}} A(\tau) \dot{N}(\tau) d\tau$

трансформируется в эмиссионно-технологический критерий S_h , пропорциональный удельному износу режущего инструмента, и является произведением эмиссионных характеристик процесса резания. Разработанный критерий позволяет отследить изменение волнового нагружения режущего инструмента, меняющегося при нестационарных условиях обработки сложным образом, и дает интегральную оценку износа за время обработки.

Рассматривая разработанный критерий, можно заключить, что минимум удельного износа (максимум площади обработанной поверхности до критического значения износа) будет иметь место при максимальных значениях режимов обработки, геометрических параметрах режущего инструмента и т.д., не вызывающих резкого возрастания критерия S_h .

Для уточнения физического смысла эмиссионно-технологического критерия были проведены, согласно методике, изложенной в главе 2, стойкостные эксперименты. По результатам экспериментов были построены графические зависимости $S_h = f(n)$, $h_{yd} = f(n)$, $N_n = f(n)$ (рис.1). Анализ построенных зависимостей показал, что область наименьших значений удельного износа, соответствующая наибольшему количеству проходов практически точно совпадает с участком перехода к резкому возрастанию кривой $S_h = f(n)$.

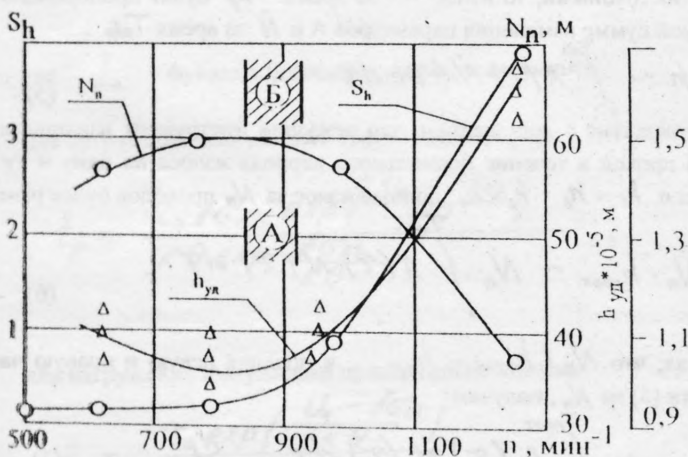


Рис. 1. Зависимости критерия S_h , удельного износа h_{yd} и количества проходов N_n от n при торцевом точении нержавеющей стали 12X18H10T: А — зона рациональных n по зависимости $S_h = f(n)$; Б — зона рациональных n по зависимости $N_n = f(n)$.

Таким образом, эмиссионно-технологический критерий является физически обоснованным и отражает степень динамического возмущения режущего инструмента за время обработки (время прохода). Применение критерия позволяет определить рациональный диапазон технологического параметра механической обработки, при котором обеспечивается минимальный удельный износ режущего инструмента, только путем анализа зависимости S_h от этого параметра без проведения длительных стойкостных испытаний.

Четвертая глава посвящена разработке и экспериментальному обоснованию экспресс-методики выбора рациональных режимов механической обработки.

С целью исследования возможности практического применения разработанного критерия S_h для выбора рациональных режимов механической обработки была проведена серия экспериментов, которые проводились на кафедре СМ 12 МГТУ им. Н.Э.Баумана.

На первом этапе исследований, согласно методике, изложенной во второй главе, осуществлялся выбор частотного диапазона регистрации сигналов АЭ. Проведенные эксперименты позволили установить частотный диапазон $\Delta \omega = 60-1500 \text{ кГц}$, обеспечивающий помехозащищенность измерительного тракта от вибраций технологической системы и позволяющий принимать весь спектр волн АЭ.

Экспериментальные исследования зависимости критерия S_h от ряда технологических параметров механической обработки показали, что путем анализа зависимости $S_h = f(n, S, L)$ при различных значениях параметров (подачи, износа режущего инструмента, глубины резания, геометрии режущего инструмента) можно определять оптимальные режимы, соответствующие этим параметрам, а следовательно, оптимизировать процесс механической обработки. Проведенные исследования по точению типовых конструкционных материалов из различных групп труднообрабатываемых материалов подтвердили возможность применения разработанного экспресс-метода для обрабатываемых материалов, имеющих различные физико-механические свойства.

Проведенные стойкостные эксперименты показали, что зоны минимального износа практически для всех исследуемых материалов совпадают с участками перехода к резкому возрастанию кривых $S_h = f(n)$, т.е. результаты ускоренного определения рациональных режимов механической обработки достаточно точно совпадают с результатами стойкостных испытаний. Наблюдаемую некоторую погрешность при точении сплава В15 можно

объяснить достаточно интенсивным изменением температурного фактора в зоне предположительно оптимальных режимов обработки.

Для оценки наличия связи между износом и разработанным критерием проводились исследования на основе корреляционного анализа, согласно методике, изложенной в главе 2. В результате регрессивного анализа установлена прямолинейная корреляционная связь между исследуемыми параметрами. Получено, что коэффициент корреляции, определяющий тесноту связи между исследуемыми параметрами, в исследуемом диапазоне варьирования технологического параметра, имеет наибольшее значение $r = 0,9$, наименьшее - $r = 0,68$, среднее значение $r = 0,89$. Проверка значимости коэффициента корреляции, проведенная по критерию Стьюдента, подтвердила наличие тесной корреляционной связи.

Таким образом, проведенные исследования показали, что путем анализа зависимостей критерия S_H , полученных при различных режимах обработки, геометрии режущего инструмента, обрабатываемых материалов, возможно определить физически обоснованные оптимальные режимы обработки деталей сложной формы, что дает возможность оптимизировать процесс обработки этих деталей в целом.

Основываясь на теоретических и экспериментальных исследованиях предложена последовательность работ по экспресс-определению оптимальных режимов резания при нестационарных условиях обработки деталей из труднообрабатываемых материалов.

Исследования проводятся на оборудовании, назначенном в технологическом процессе на изготовление данной детали.

Перед началом экспериментов определяют границы варьирования исследуемого технологического параметра. При определении рациональных оборотов шпинделя n по аналогу из классификации труднообрабатываемых материалов определяют границы диапазона варьирования n (n_{min}, n_{max}) для исследуемого материала, т.е. определяют $\sqrt{\quad}$, соответствующую наибольшему диаметру детали, и по ней рассчитывают n .

Пьезопреобразователь комплекта акустозмиссионной аппаратуры устанавливают на резцедержатель в непосредственной близости от реза. Необходимым условием является соблюдение постоянства волновых свойств элементов технологической системы между зоной резания и чувствительным элементом пьезопреобразователя (число границ отражения в волновом тракте не должно превышать 3-5).

Эксперименты желательно проводить с заданным начальным износом ($h_3 = 0,1 - 0,15$ мм). Для каждой опытной точки эксперимент повторяется не менее 3 раз. Проводится обработка исследуемой детали с одновременной

регистрацией параметров A и N . Производится обмер записей на лентах самописцев, согласно последовательности, изложенной в главе 2. Рассчитывается значение эмиссионно-технологического критерия для каждой опытной точки и строится зависимость S_h от исследуемого параметра. Определяется проекция участка резкого возрастания критерия в начале восходящей ветви на ось абсцисс, что является диапазоном оптимального режима обработки.

Однако задачу оптимизации нельзя ставить только как задачу оптимизации параметров технологического процесса и выбора среди них наилучшего. Параметрами оптимизации являются также показатели качества, величины капитальных вложений в средства производства на каждой операции, затраты на режущий инструмент и т.д. В связи с этим рациональные режимы нужно выбирать на основе экономических расчетов. Для этого с использованием целевой функции себестоимости операции и установленной корреляционной связи между параметрами S_h и $h_{\text{из}}$ было получено уравнение:

$$a_1 n^{b+1} e^{cn} S (b + cn) / (t_{\text{см}} + \frac{e}{E}) - 100 h_r L = 0 \quad (8)$$

где E - стоимость станкоминуты;

e - стоимость эксплуатации инструмента за период стойкости;

$t_{\text{см}}$ - время на смену затупившегося инструмента и его подналадку за период стойкости;

h_r - размерный износ инструмента;

S - подача;

L - длина обрабатываемой детали;

a, a_1, b, c - коэффициенты.

Данное уравнение позволяет определить $N_{\text{э}}$ для конкретных условий обработки путем подстановки значений N , соответствующих возможностям станка.

Установлено, что выбор рациональных режимов в условиях нестационарного процесса механической обработки можно проводить расчетным методом, используя имеющийся пополняющийся банк данных параметров АЭ при различных условиях обработки. Например, выбор рационального числа оборотов шпинделя при обработке деталей сложной формы расчетным методом проводится в следующей последовательности. Для исследуемой детали при значении числа оборотов N_i , выбранного из диапазона варьирования этого параметра, строится изменение скорости резания во времени обработки. Время обработки разбивается на количество интервалов $\Delta \tau$ и для каждого $\Delta \tau$ определяется V . Из банка данных для

заданного сочетания обрабатываемого и инструментального материалов, назначенных технологических режимов обработки, геометрии режущего инструмента берутся значения A_i и $\dot{N}_i$ для V_i . Строятся графические зависимости $A = f(\tau)$ и $\dot{N} = f(\tau)$ для исследуемой детали и определяется эмиссионно-технологический критерий S_h для n_1 . Те же самые действия повторяются для n_2, n_3, n_4, n_5 диапазона варьирования n . По полученным значениям строится зависимость $S_h = f(n)$ для данной детали, находится перегиб в начале восходящей ветви кривой $S_h = f(n)$. Эта область будет совпадать с областью оптимальных чисел оборотов n_0 , при которых инструмент пройдет максимальный путь резания до критерия затупления, и является нижней границей целесообразных режимов обработки. Верхнюю границу, соответствующую экономическим режимам обработки, определяют по зависимости (8). Изложенную методику можно применять для экспресс-определения рациональных режимов механической обработки, таких как S , геометрии режущего инструмента и т.д.

Для реализации расчетного метода разработано соответствующее программно-математическое обеспечение.

Производственные испытания экспресс-методики определения рациональных режимов при нестационарных условиях обработки проводились в цехах ГПО «Воткинский завод» на операциях точения фасонных деталей из труднообрабатываемых материалов: 12Х18Н10Т и ТС6. По результатам испытаний выбирались рациональные режимы обработки, в частности числа оборотов шпинделя станка. Обработка деталей на выбранных позволила повысить производительность труда на одной операции в 1,2 раза.

В цехах ГУУАП «Гидравлика» г. Уфа с целью решения вопроса повышения производительности на операциях точения типовых деталей ГТД из труднообрабатываемых материалов были проведены производственные испытания разработанной экспресс-методики, которые позволили скорректировать в сторону увеличения принятые на данных операциях режимы резания и повысить производительность труда в среднем на один станок на 20-30%, а также увеличить стойкость режущего инструмента до 30%.

Общие выводы

1. Анализ потребностей современного машиностроительного комплекса на стадии технологической подготовки производства, а также обзор отечественных и зарубежных литературных источников позволили обосновать актуальность и практическую значимость разработки акусто-эмиссионного метода ускоренного определения рациональных режимов точения деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов,

широко применяемых в изделиях ответственного назначения. Отличительной особенностью токарной обработки таких деталей является нестационарность условий формообразования, обусловленная изменением режимов обработки в процессе точения.

2. Основываясь на представлениях кинетической концепции прочности твердых тел получено математическое выражение, связывающее время до разрушения элементарного объема материала режущего инструмента с параметрами волн акустической эмиссии при нестационарных условиях механической обработки при заданном уровне действующих нагрузок и температур. Математическое моделирование циклического нагружения режущего инструмента импульсами волн акустической эмиссии показало, что изменение режима нагружения, связанное с изменением энергоемкости процесса механической обработки и, следовательно, процесса акустической эмиссии, влечет за собой изменение времени до разрушения элементарного объема инструмента.

3. Теоретически показано, что зависимость времени до разрушения режущего инструмента от основной энергетической характеристики волн акустической эмиссии — их амплитуды, имеют характерный участок, на котором время до разрушения режущего инструмента пропорционально амплитуде действующих волн акустической эмиссии. Исходя из физических представлений показано, что данный участок соответствует рациональным режимам работы режущего инструмента, при котором возможна обработка максимальной поверхности детали.

4. На основании предположения о прямо пропорциональной зависимости времени до разрушения режущего инструмента от амплитуды волн акустической эмиссии на характерном участке разработан интегральный эмиссионно-технологический критерий для нестационарных условий обработки, связанный с выделяющейся во время обработки общей величиной упругой энергии и характеризующий износ инструмента. Сравнение результатов стойкостных экспериментов для различных труднообрабатываемых материалов с результатами экспресс-оценки режимов обработки по предложенному критерию показало их удовлетворительное совпадение.

5. Исследование влияния технологических параметров обработки на устойчивость разработанного критерия экспресс-оптимизации показали перспективность его применения. Установлено, что наибольшее влияние на изменение величины критерия и, следовательно, на диапазоны рациональных режимов точения оказывают подача и износ режущего инструмента. Это позволяет определять рациональные режимы точения при вариациях технологических факторов обработки в конкретных условиях производства.

6. Установлена тесная корреляционная связь между разработанным критерием и удельным износом режущего инструмента, под которым понимается его износ за один проход. Это подтверждает правильность выбора и физическую обоснованность разработанного критерия и позволяет без проведения длительных стойкостных экспериментов проводить выбор

рациональных режимов механической обработки, что существенно сокращает этап технологической подготовки механообрабатывающего производства.

7. На базе предлагаемого критерия с использованием экономических расчетов разработана экспресс-методика выбора рациональных режимов при нестационарных условиях обработки точением деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов. Разработанная методика позволяет проводить выбор рациональных режимов обработки как непосредственно замерами параметров акустической эмиссии, так и путем использования банка данных параметров АЭ при различных условиях обработки расчетным методом. Для реализации расчетного метода разработано программно-математическое обеспечение.

8. Методика выбора рациональных режимов механической обработки прошла производственные испытания на предприятиях ГУУАП "Гидравлика" и ГПО "Воткинский завод", что позволило скорректировать в сторону увеличения принятые на операциях режимы резания и повысить производительность труда в среднем на один станок на 20–30%, а также увеличить стойкость инструмента до 30%.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Корнеев С.С. Экспресс-оптимизация режимов механической обработки методом акустической эмиссии // Четвертая Всерос. НТК. Состояние и проблемы технических измерений: Тезисы докладов ВНТК. – Москва, 1997. – С.56–57.

2. Барзов А.А., Бочаров А.Н., Корнеев С.С. Метрологическое обеспечение эмиссионной диагностики технологических процессов механической обработки // Четвертая Всерос. НТК. Состояние и проблемы технических измерений: Тез. докл. – Москва, 1997. – С.55.

3. Корнеев С.С. Определение режимов резания при нестационарной обработке материалов // Всерос. НТК. Машиностроительные технологии: Тез. докл. – Москва, 1998. – С.183–184.

4. Корнеев С.С. Использование результатов измерения параметров акустической эмиссии для выбора режимов обработки сложнопрофильных деталей // Пятая Всерос. НТК. Состояние и проблемы технических измерений: Тез. докл. – Москва, 1998. – С.110–111.

5. Барзов А.А., Логинов В.П., Корнеев С.С. Оптимизация режимов механической обработки при нестационарных условиях формообразования методом акустической эмиссии // Фундаментальные исследования новых технологий: Сб. – Липецк: Липецкое изд-во, 1998. – С.112–113.