

На правах рукописи

УЛИТИНА АННА ВЯЧЕСЛАВОВНА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Специальность: 05.03.01 – Технологии и оборудование механической
и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'А. Улитина', is positioned in the lower right quadrant of the page.

Нижний Новгород - 2004

Работа выполнена в Нижегородском государственном техническом университете

Научный руководитель: член-корреспондент АТН РФ,
доктор технических наук, профессор
Сорокин В. М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Рыкунов А. Н.

кандидат технических наук, доцент
Лаптев И. Л.

Ведущая организация: Филиал института машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН
в Нижнем Новгороде

Защита состоится 24 июня 2004 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д212.165.09 при Нижегородском государственном техническом университете по адресу: 603600, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д.24, ауд. 1258.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного технического университета.

Автореферат разослан « 24 » мая 2004 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д212.165.09

Устинов

Устинов Б. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В задаче управления качеством поверхностного слоя деталей машин при обработке резанием актуальным направлением является разработка моделей, адекватно отражающих процесс достижения необходимого уровня шероховатости и позволяющих управлять им. Однако моделирование процессов формо-, размерообразования и срезания припуска при резании, как информационных процессов взаимодействия образующейся поверхности A_n , производящей поверхности A_{HO} и поверхностей резания $A_{\alpha\gamma}$, не позволяет с необходимой точностью прогнозировать и управлять шероховатостью, так как оценивает лишь одну расчетную составляющую шероховатости: геометрико-кинематическую и копирования шероховатости режущих кромок. На формирование шероховатости и состояние поверхностного слоя накладывается и результат кинематического и силового последствия превращения срезаемого припуска в стружку, который приводит к образованию вторичной переходной пластически деформированной зоны (так называемой вторичной зоны пластического контакта, застойной зоны, нароста и т.д.). Являясь важнейшей интегративной характеристикой процесса резания, вторая составляющая значительно труднее подвергается формализации и моделированию. Но именно она при чистовой и получистовой обработке является превалирующей (существенно превышающей первую). На сегодняшний день для достоверного прогнозирования и управления шероховатостью необходимо моделирование процесса формирования шероховатости в широком диапазоне изменения условий обработки. Важно, чтобы модель не только численно, с некоторым приближением, описывала величину шероховатости, но и раскрывала закономерности ее формирования, позволяя тем самым уменьшить до минимума необходимость в физическом моделировании при разработке технологических процессов изготовления деталей.

Цель работы

1. Моделирование процесса формирования шероховатости при обработке металлов резанием на примере точения. Выявление факторов, оказывающих определяющее влияние на формирование шероховатости и позволяющих управлять ею.

2. Создание обобщенной схемы формирования шероховатости для основных представителей обрабатываемых и инструментальных материалов, в широком диапазоне изменения условий реализации процессов резания.

3. Разработка математической модели процесса формирования шероховатости на базе логистического анализа.

4. Исследование процесса формирования шероховатости при помощи полученной модели. Уточнение модели на основе новых данных о про-

цессе формирования шероховатости, полученных с использованием современных методов анализа сигнала.

Методы и средства исследований

Решение поставленных задач основывалось на анализе фундаментальных исследований отечественных и зарубежных авторов. При выполнении работы использовались методы математического и физического моделирования.

Измерение и анализ шероховатости поверхностного слоя проведены на разработанном стенде, на базе профилографа-профилометра мод. 252 и персонального компьютера. Программное обеспечение для стенда написано в системе LabVIEW 6i (National Instruments Corp.).

Логистический анализ экспериментальных данных выполнен с использованием статистических пакетов прикладных программ STADIA (НПО «Информатика и компьютеры») и STATGRAPHICS PLUS (Statistical Graphics Corp.).

Научная новизна работы

1. Разработана математическая модель процесса формирования шероховатости при обработке металлов резанием для основных представителей конструкционных материалов на базе экстремальной зависимости шероховатости (параметр Ra) от скорости резания при широком изменении условий реализации (подача, внешние среды, инструментальные материалы и т.д.)

2. Установлено наличие коридора значений шероховатости верхняя и нижняя граница, которого практически не зависят от скорости резания, свойств обрабатываемого и инструментального материалов. Увеличение активности внешней среды приводит к некоторому снижению уровня верхней границы, оставляя неизменной нижнюю границу.

Практическая ценность работы

1. Разработан стенд, предназначенный для измерения шероховатости по ГОСТ 27964-88 «Измерение параметров шероховатости. Термины и определения» и исследования профилограммы обработанной поверхности. Реализованы следующие функции исследования профилограммы поверхности: сохранение в электронном виде банка данных; фильтрация; спектральный и корреляционный анализы.

2. Предложена методика логистического анализа для исследования процесса формирования шероховатости при обработке металлов резанием и описания экстремальных зависимостей шероховатости от скорости резания, подачи и СОТС.

3. Предложен алгоритм назначения режимов резания на базе разработанной математической модели для чистовых и получистовых операций.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы доложены на:

- ежегодных научных конференциях и семинарах Нижегородского государственного технического университета в 1997-2003 г.г.;
- заседаниях кафедры «Технология машиностроения» НГТУ в 1997-2003 г.г.;
- Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 30-летию Арзамаского филиала НГТУ «Наука-производству: современные задачи управления, экономики, технологии и экологии в машино- и приборостроении». – Арзамас: Аф НГТУ, 1998.
- Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехники» (X Бенардосовские чтения). – Иваново: ИГЭУ, 2001.
- Всероссийской научно-технической конференции «Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении». – Нижний Новгород – Арзамас: НГТУ – АГПИ, 2001.
- VI Международной научно-технической конференции «Динамика технологических систем». – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2001.

По содержанию и результатам теоретических и экспериментальных исследований опубликовано 5 статей.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех тематических глав, общих выводов, списка литературы из 90 наименований, приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации.

В первой главе проведен аналитический обзор состояния исследований процесса формирования шероховатости поверхности при обработке металлов резанием.

Одним из важнейших факторов, характеризующих качество поверхности, является шероховатость. От шероховатости поверхности зависит износ деталей, точность сопряжений, усталостная прочность и многие другие свойства. Поэтому изучению процессов формирования шероховатости, разработке методов ее оценки и изысканию путей управления факторами на нее влияющими, придается особое значение.

Первыми основополагающими работами по исследованию шероховатости поверхности и факторов на нее влияющих явились работы Беспрозванного И. М., Дьяченко П. Е., Исаева А. И. В этих работах впервые с достаточной полнотой были рассмотрены вопросы влияния на шероховатость поверхности упругой и пластической деформации, геометрии формообразующей части инструмента и шероховатости его кромок, жесткость используемого оборудования. Определены основные тенденции формирования микропрофиля при лезвийной обработке. Эти тенденции нашли отражение в

последующих работах по технологическому обеспечению качества поверхности деталей машин при лезвийной обработке таких авторов как Суслов А. Г., Рыжов Э. В., Силин С. С., Макаров А. Д., Безьязычный В. Ф., Кожина Т. Д. и др.

В связи с разработкой проблемы применения смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) под руководством Клушина М. И. в НГТУ были определены основные факторы влияющие на шероховатость обработанной поверхности. Это скорость резания, подача, СОТС, геометрия инструмента и т. д. Предложена схема формирования шероховатости в зависимости от них. Основные положения этой схемы, которые послужили основой для данной работы:

1. На шероховатость поверхности при лезвийной обработке оказывает влияние самоорганизация фрикционных контактов в зоне резания заканчивающаяся образованием вторичных пластически деформированных зон (зон пластического контакта, застойных зон, нароста и т. д.). Квазистабильные поверхности этих зон частично или полностью подменяют переднюю и задние поверхности инструмента (нарост является особой формой существования переходной зоны). Как следствие существенно увеличивается уровень шероховатости над расчетным (составляющие геометрико-кинематическая и копирования режущей кромки).

2. Описанное явление находит отражение на шероховатости поверхности во всем диапазоне изменения условий обработки и отличается только масштабным фактором. Так на чистовых и получистовых режимах оно проявляется в существенном увеличении шероховатости над значением, определяемым составляющими геометрико-кинематическая и копирования шероховатости режущей кромки. Данное увеличение шероховатости в значительной степени зависит от условий контактного взаимодействия (скорости резания, внешней среды) и слабо изменяется с увеличением подачи в пределах чистовых и получистовых режимов.

Необходимость дальнейшего исследования и разработки математического описания ее, определило круг задач настоящей диссертационной работы:

1. Разработать концептуальную модель процесса формирования шероховатости в зависимости от факторов на нее влияющих: скорость резания, подача, СОТС, геометрия инструмента и т.д.

2. Создать математическую модель процесса формирования шероховатости при обработке резанием основных представителей обрабатываемых материалов в широком диапазоне изменения условий обработки.

4. Исследовать процесс формирования шероховатости при помощи полученной модели.

5. На базе разработанной математической модели для чистовых и получистовых операций разработать алгоритм расчета параметра Ra .

Во второй главе изложены методики и средства исследований.

Параметрическое описание модели проводилось на примере двух основных представителей конструкционных сталей: сталь 45 и нержавеющая сталь 12X18H10T. Режимы резания: подачи от 0,05 до 0,6 мм/об и диапазон скоростей резания от 0,001 до 15 м/с. Внешние среды от высокого вакуума до водных СОЖ, с подачей их с давлением до 15 МПа (воздух, масляные СОЖ, водные СОЖ (эмульсии, полусинтетические, синтетические)). Инструментальные материалы: быстрорежущие стали, твердые сплавы, керамика, СТМ.

Измерение и анализ шероховатости поверхности производились на разработанном стенде, состоящем из профилографа-профилометра мод 252 («Калибр»), аналогово-цифровой платы сбора данных (ЗАО «Руднев-Шиляев»), встроенной в персональный компьютер. Программное обеспечение создано в системе LabVIEW 6i (National Instruments Corp.) – интегрированной среде для создания интерактивных программ сбора, обработки данных и управления периферийными устройствами. Сочетание графического языка и современного компилятора позволяет значительно сократить время разработки сложных систем при сохранении высокой скорости выполнения программ. Программное обеспечение представлено в виде блока виртуальных приборов, направленных на решение следующих задач:

- обработка профилограммы поверхности: удаление линейного тренда, отсечка шага, сглаживание;
- расчет параметров шероховатости ГОСТ 25142-82 «Шероховатость поверхности. Термины и определения»;
- исследование микропрофиля поверхности: фильтрация, анализ амплитудно-частотного спектра и корреляционной функции профилограмм поверхности.

Построение математической модели процесса формирования шероховатости осуществлялось при помощи логистического анализа. Целью его является построение и исследование логистических зависимостей, описывающих исследуемый процесс.

Подбор параметров логистической зависимости, максимально соответствующих экспериментальным данным, производился при помощи нелинейного метода наименьших квадратов (МНК). Для его реализации в работе использовался алгоритм Левенберга-Марквардта. Логистический анализ является разновидностью нелинейного регрессионного анализа. Количественным показателем адекватности полученных результатов может служить коэффициент детерминации R^2 , который показывает долю дисперсии, объясненной данной моделью в общей дисперсии. Значения коэффициента детерминации R^2 изменяются от 0 до 1, чем больше его значение, тем лучше выбранная модель описывает реальную зависимость.

В третьей главе обоснован выбор математической модели процесса формирования шероховатости и произведена идентификация модели

(подбор коэффициентов) для основных представителей конструкционных сталей: стали 45 и нержавеющей стали 12X18H10T.

Основываясь на положениях изложенных в первой главе данной работы, в основу модели была положена зависимость шероховатости от скорости резания и внешней среды (рис. 1), которая является экстремальной и характеризуется наличием максимума Ra_{\max} при скорости V_M . Для рассмотрения и определения функциональной зависимости удобно разделить зависимость $Ra-V$ на две ветви: левую (до скорости V_M) и правую (после скорости V_M).

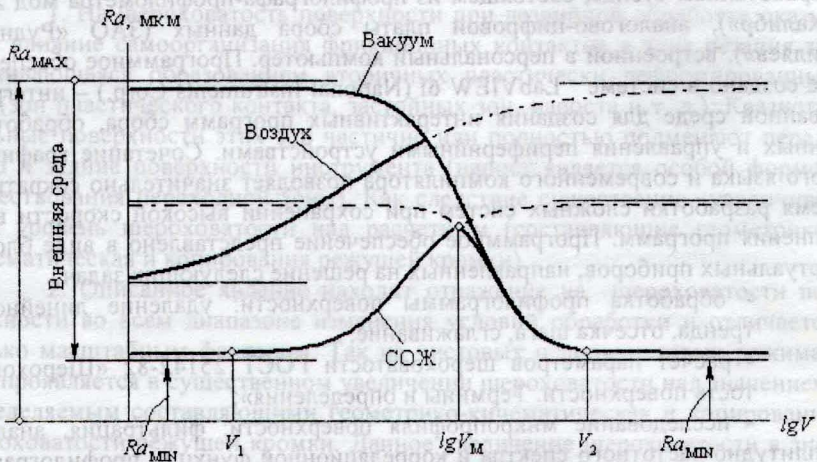


Рисунок 1 – Схема зависимости шероховатости от скорости резания и внешних сред

При описании многих процессов в биологии, экономике, физике очень часто используется модифицированный экспоненциальный закон, так называемый закон логистического развития. Его особенность заключается в ограничении скорости роста зависимой величины и в ее стремлении к некоторому пределу. Иначе говоря, для исследуемой величины есть предел, выше которого по физическим причинам ее значение быть не может. Такое поведение характерно для левой ветви зависимости $Ra-V$. Аналогично рассуждая, правую ветвь зависимости $Ra-V$, также можно описать при помощи логистической зависимости – только убывающей. Хорошим подтверждением данному предположению является зависимость $Ra-V$ при тчении в вакууме. Она стартует в зоне малых скоростей с Ra_{\max} и только с некоторой скорости начинает уменьшаться, достигая минимального уровня шероховатости в зоне высоких скоростей.

Используются различные математические описания логистических зависимостей, однако несмотря на их многообразие, все они обладают важным, для использования в практических целях свойством. Они содержат информацию о пределах, с которых стартуют и к которым стремятся, причем в явном виде – в виде параметров уравнения зависимости. Тем самым задается коридор значений, которые может принимать исследуемая величина. Владение такой информацией очень важно для достоверного прогнозирования шероховатости в широком диапазоне изменения условий обработки.

Экстремальная зависимость шероховатости от скорости резания описана разрывной функцией, состоящей из двух логистических кривых, возрастающей и убывающей, с точкой пересечения $Ra_{\max}(V_M)$. Частным случаем является зависимость $Ra-V$ при резании в вакууме: зависимость описывается одной убывающей логистикой на всем диапазоне изменения скорости резания. Верхний предел логистической зависимости описывающей зависимость $Ra-V$ в вакууме представляет собой верхнюю границу коридора значений Ra .

Для представления зависимости $Ra-V$ в широком диапазоне изменения скорости резания (0,001 ... 15 м/с) независимая величина (скорость резания) была взята в виде десятичного логарифма: lgV .

В результате предварительных исследований выбрано следующее математическое описание модели процесса формирования шероховатости от скорости резания при обработке резанием:

$$Ra(V) = \begin{cases} a_1 + \frac{a_2}{1 + \exp(-a_3 \cdot (\log(V) - a_4))}, & n_{pu}V \leq V_M \\ b_1 + \frac{b_2}{1 + \exp(-b_3 \cdot (\log(V) - b_4))}, & n_{pu}V \geq V_M \end{cases} \quad (1)$$

где: a_1, b_1 – представляют собой минимально возможное значение шероховатости при малых и высоких скоростях резания, мкм; a_2, b_2 – расстояние в микрометрах между минимально возможным и максимальным уровнями шероховатости левой и правой ветвей зависимости $Ra-V$, причем значение максимально возможного уровня шероховатости является гипотетическим и численно он либо равен $Ra_{\text{вак}}$ либо меньше его; a_3, b_3 – коэффициенты, характеризующие скорость роста, задают угол наклона («крутизну») логистической зависимости, причем $b_3 < 0$ (правая ветвь представлена убывающей логистической зависимостью), приблизительно можно определить $a_3(b_3)$

$= \frac{4.394}{\Delta V}$, где $\Delta V = \log V_{90\%} - \log V_{10\%}$; $V_{90\%}$ - скорость при которой достигается 90% от $(a_1 + a_2)$; $V_{10\%}$ - скорость при которой достигается 10% от $(a_1 + a_2)$; a_4 , b_4 - десятичный логарифм скорости, соответствующей точке перегиба логистики; V_M представляет собой скорость при которой достигается максимальное значение шероховатости, в этой точке пересекаются левая и правая логистические зависимости (см. рис. 1).

На рисунке 2 показана схема определения начальных значений параметров $a_1(b_1)$, $a_2(b_2)$, $a_3(b_3)$, $a_4(b_4)$ модели.

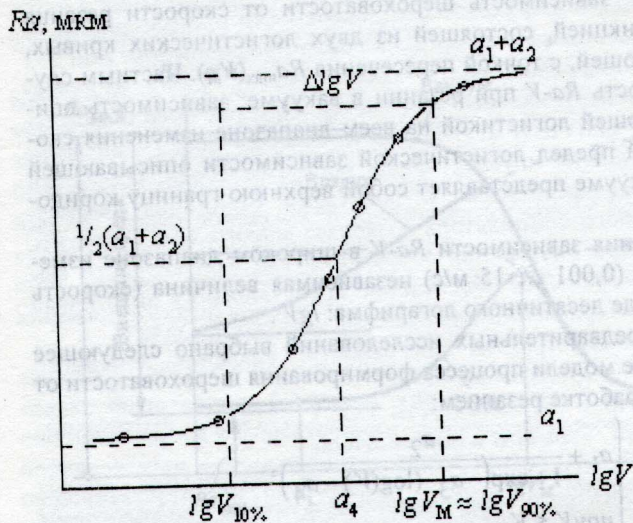


Рисунок 2

Идентификация предложенной модели (подбор параметров модели) осуществлялась посредством анализа экспериментальных данных зависимости $Ra-V$ для сталей 45 и 12X18H10T, опубликованных в работах Клушина М. И., Тихонова В. М., Серова М. Е, Игнатъева М. Е: 1) зависимости $Ra-V$ при точении (инструментальный материал Т15К6; $s=0.075$ мм/об; $t=0,5$ мм; $r_b=0,8$ мм; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=15^\circ$; $\gamma=0^\circ$; $\alpha=6^\circ$) с использованием различных по активности СОТС; 2) зависимости $Ra-V$ при точении на воздухе с разными подачами 0,075 мм/об, 0,2 мм/об и 0,4 мм/об (инструментальный материал Т15К6; $t=0,5$ мм; $r_b=0,8$ мм; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=15^\circ$; $\gamma=0^\circ$; $\alpha=6^\circ$). Для стали 45 были обработаны экспериментальные данные по влиянию на шероховатость водных СОТС с интенсификацией подачи в зону резания (высоконапорная струя давлением $P=12$ МПа совместно с поливом сверху с $Q=36$ л/мин) и инструментальных материалов (Р6М5, Т15К6, ВОК-60, силинит-Р; корбанадо).

Сначала был выполнен логистический анализ правых и левых ветвей экспериментальных зависимостей по отдельности. Из 132 исследуемых логистик лишь 16 не удалось описать. Показателем соответствия полученных результатов экспериментальным данным является коэффициент детерминации R^2 , он колебался от 0,90 до 0,99, что говорит об адекватном описании левой и правой ветвей при помощи возрастающей и убывающей логистических зависимостей.

Полученные в предыдущем анализе значения параметров модели, использовались для задания начальных значений их при проведении логистического анализа, в котором оценивалась зависимость $Ra-V$ на всем диапазоне скоростей резания и исследуемая функция была представлена в виде модели (1). Показатели адекватности модели на данном этапе еще более высокие: коэффициент детерминации R^2 изменялся от 0,97 до 0,99.

Для удобства дальнейшего использования модели (1) был сокращен массив полученных параметров за счет объединения в группы экспериментальных данных. Выделены следующие группы по внешним средам: 1) вакуум; 2) воздух; 3) масляные СОЖ; 4,5) водные СОЖ. В связи с несущественным влиянием свойств инструментальных материалов на зависимость $Ra-V$ удалось с хорошим приближением для всех инструментальных материалов использовать не зависящие от них параметры модели. В результате удалось осуществить это обобщение с коэффициентом детерминации более 0,80, что подтверждает правомерность подобного обобщения.

Ra , мкм

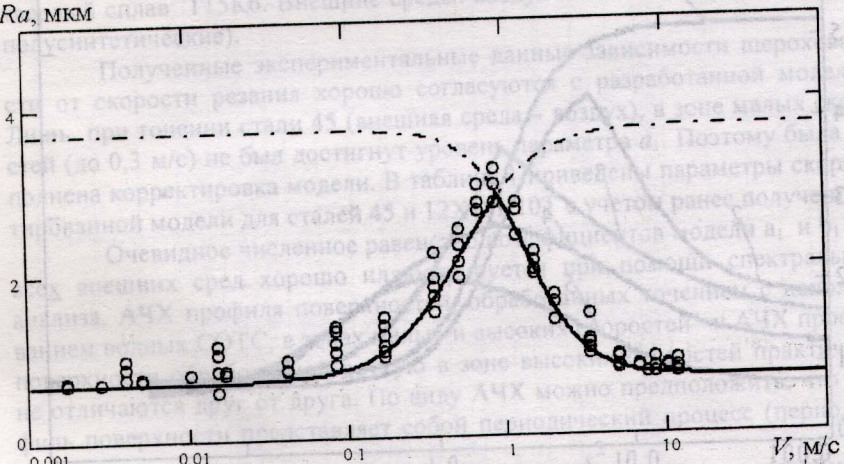


Рисунок 3

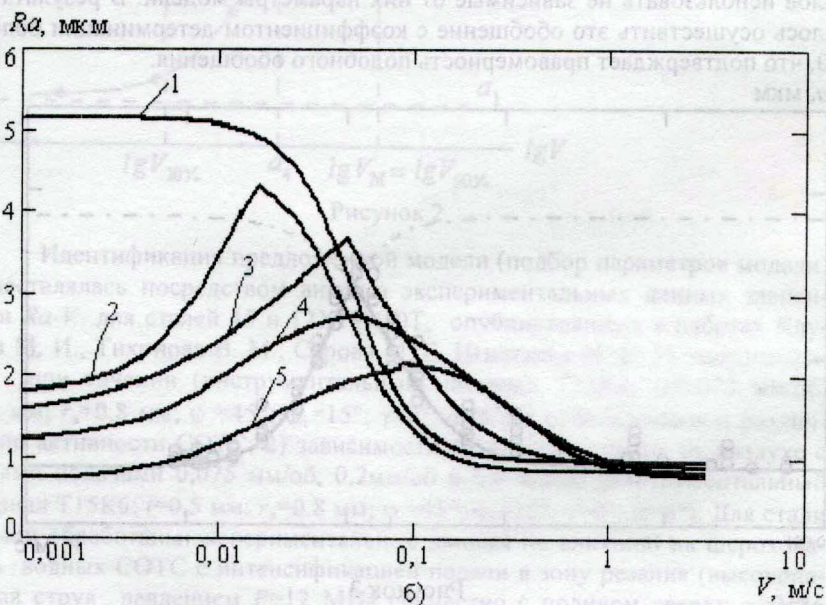
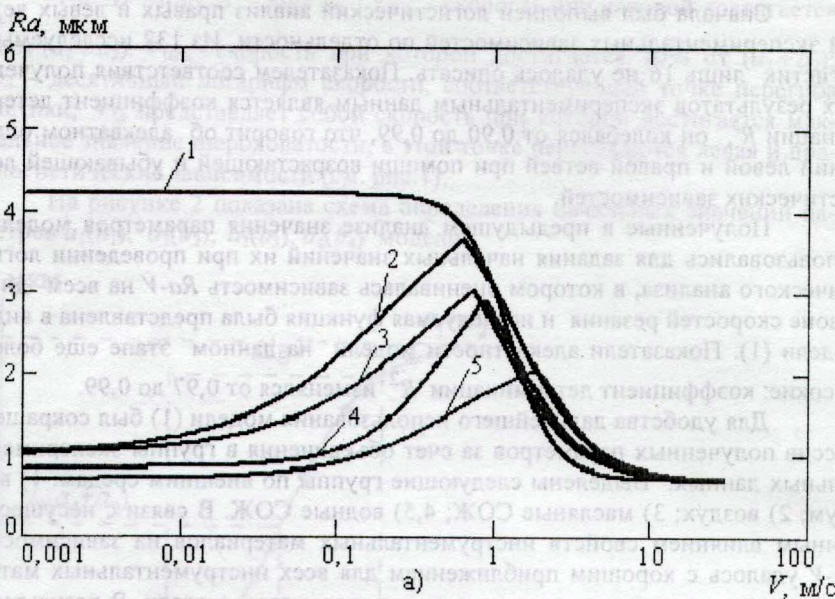


Рисунок 4 – Зависимость шероховатости от скорости резания для сталей 45 (а) и 12Х18Н10Т (б). Внешние среды: 1 – вакуум; 2 – воздух; 3 – масляные СОЖ; 4,5 – водные СОЖ.

В качестве примера на рисунке 3 приведена зависимость $Ra-V$ при обработке стали 45 с применением водных СОЖ. Пунктиром на рис. 3 показаны мнимые части левой и правой ветвей зависимости $Ra-V$, представляющие верхнюю границу коридора значений Ra для водных СОЖ. Все экспериментальные точки с очень хорошим приближением располагаются в окрестностях левой и правой логистик.

На рисунке 4 для основных представителей обрабатываемых сталей 45 (а) и 12Х18Н10Т (б) для каждой из пяти внешних сред (1- вакуум; 2 – воздух; 3 – масляные СОЖ; 4 и 5 – водные СОЖ) показаны графики уравнений $Ra-V$ модели ($t=0,5$ мм; $S=0,075$ мм/об; $r_b=0,8$ мм; $\varphi=45^\circ$; $\varphi=15^\circ$; $\gamma=0^\circ$; $\alpha=6^\circ$). При обработке очень разных материалов многие параметры модели оказались равными, но скорости V_M , соответствующие максимальной шероховатости различались почти на 1,5 порядка (приблизительно от 0,05 м/с до 1 м/с).

В четвертой главе проведено исследование процесса формирования шероховатости при помощи полученной математической модели и уточнение модели на основе новых данных.

Эксперименты по тестированию полученной при обработке сталей 45 и 12Х18Н10Т математической модели процесса формирования шероховатости были проведены на режимах резания и в условиях соответствующим экспериментальным данным, послужившим основой построения модели (см. главу 3). В качестве инструментального материала был использован твердый сплав Т15К6. Внешние среды: воздух и водные СОЖ (эмульсии и полусинтетические).

Полученные экспериментальные данные зависимости шероховатости от скорости резания хорошо согласуются с разработанной моделью. Лишь при точении стали 45 (внешняя среда – воздух), в зоне малых скоростей (до 0,3 м/с) не был достигнут уровень параметра a_1 . Поэтому была выполнена корректировка модели. В таблице 1 приведены параметры скорректированной модели для сталей 45 и 12Х18Н10Т с учетом ранее полученных.

Очевидное численное равенство коэффициентов модели a_1 и b_1 для всех внешних сред хорошо иллюстрируется при помощи спектрального анализа АЧХ профиля поверхностей, обработанных точением с использованием водных СОЖ, в зонах малых и высоких скоростей и АЧХ профиля поверхности обработанной всухую в зоне высоких скоростей практически не отличаются друг от друга. По виду АЧХ можно предположить, что профиль поверхности представляет собой периодический процесс (период равен

подаче, амплитуда приблизительно равна $\frac{s^2}{16 \cdot r_b}$) в узкополосном слу-

чайном шуме. Это позволяет сделать вывод о единых механизмах формирования шероховатости в зоне малых и высоких скоростей, разделенных 4 порядками (0,001 ... 15 м/с).

Таблица 1 – Пример параметрического описания модели (1) ($\rho=0,075$ мм/об; $r_g=0,8$ мм; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=15^\circ$; $\gamma=0^\circ$; $\alpha=6^\circ$)

	V_3 м/с	a_1 МКМ	a_2 МКМ	a_1+a_2 МКМ	a_3	a_4	b_1 МКМ	b_2 МКМ	b_1+b_2 МКМ	b_3	b_4	R^2
Сталь 45												
вакуум	-	-	-	-	-	-	0,70	3,50	4,2	-5,36	0,13	0,97
воздух	0,78	1,35	2,74	4,09	2,00	-0,68	0,70	3,50	4,2	-5,36	0,13	0,96
масляные СОЖ	0,78	1,00	3,20	4,20	2,00	-0,40	0,70	3,00	3,70	-5,36	0,13	0,96
Водные эмульсии	0,87	0,70	2,98	3,68	4,17	-0,28	0,70	2,98	3,68	-5,50	0,13	0,95
СОЖ полусинтет.	1,19	0,70	1,56	2,26	5,12	-0,28	0,70	1,56	2,26	-8,00	0,30	0,95
Сталь 12Х18Н10Т												
вакуум	-	-	-	-	-	-	0,82	4,18	5,00	-6,04	-1,32	0,98
воздух	0,016	1,80	3,57	5,37	4,85	-1,98	0,82	3,77	4,59	-5,46	-1,34	0,96
масляные СОЖ	0,045	1,43	4,29	5,72	2,00	-1,40	0,82	4,29	5,11	-3,83	-1,19	0,97
Водные эмульсии	0,083	0,82	1,60	2,42	3,40	-1,77	0,82	1,44	2,26	-5,26	-0,42	0,95
СОЖ Полусинтет.	0,212	0,82	1,02	1,84	1,86	-1,19	0,82	1,99	2,81	-3,20	-0,81	0,95

Следует отметить, что динамические характеристики правой ветви зависимости $Ra-V$, задаваемые коэффициентами b_3 и b_4 (угол наклона зависимости, точка перегиба), лишь незначительно изменялись с увеличением активности внешней среды. То есть после скорости V_M на формирование шероховатости практически не оказывает влияние внешняя среда и зависимость $Ra-V$ как бы переходит в автономный режим. АЧХ профиля поверхности обработанной на воздухе в зоне малых скоростей близок по характеру АЧХ профиля в зоне «наростообразования» и отличается лишь масштабом. В этом случае профиль представляет собой сочетание широкополосного случайного шума и гармонической составляющей.

Далее было исследовано влияние на параметры модели (см. табл. 1) величины подачи. С этой целью были исследованы зависимости $Ra-S$ для трех зон скоростей: малых, наростообразования, высоких. Полученные данные соответствовали известному утверждению о незначительном влиянии подачи на шероховатость в зоне малых, соответствующих чистовым и получистовым режимам, подачи. В качестве примера на рис. 5 приведены экспериментальные данные для обработки стали 45 (внешняя среда - воздух) с подачами от 0,05 мм/об до 0,6 мм/об.

Ra , МКМ

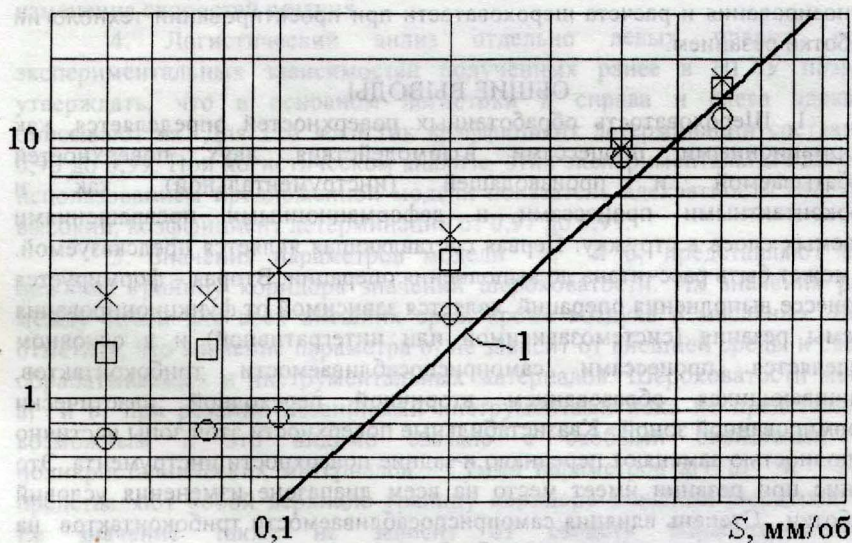


Рисунок 5 – Зависимость шероховатости от подачи сталь 45 – Т15К6, внешняя среда воздух (1 – $Ra_{расч}$ по формуле В. Л. Чебышева; \circ – $V=7$)

м/с; □ - $V=0,01$ м/с; × - $V=V_M$ (скорость максимума наростообразования для соответствующей подачи)

Спектральный и корреляционный анализы профилограмм поверхностей до фильтрации составляющей с периодом равным подаче и после показал, что до подачи $S=0,2$ мм/об в профиле превалирует случайная составляющая, а доля периодической компоненты не превышает 10%. После подачи $S=0,2$ мм/об в профиле начинает преобладать периодическая компонента. Установлено, что параметры a_2 и b_2 практически не изменяются на всем диапазоне подач от 0,05 до 0,6 мм/об. Параметры a_1 и b_1 при подачах до 0,2 мм/об мало зависят от подачи, но при дальнейшем увеличении подачи они начинают бурно расти. Такое поведение характерно для экспоненциального закона роста. Был выполнен нелинейный регрессионный анализ с использованием в качестве описываемой функции экспоненциальной зависимости (возрастающей):

$$a_1 = b_1 = c_1 \cdot e^{c_2 \cdot S} = 0,5 \cdot e^{7,2 \cdot S}, \quad (2)$$

здесь c_1, c_2 - параметры.

Полученное уравнение (2) вместе с табл. 1 завершает параметрическое описание модели и позволяет использовать ее для прогнозирования и расчета шероховатости при проектировании технологии обработки резанием.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Шероховатость обработанных поверхностей определяется, как информационными процессами взаимодействия двух поверхностей обрабатываемой и производящей (инструментальной), так и трибоконтактными процессами и деформационными превращениями срезаемых слоев в стружку. Первая составляющая является предсказуемой. Она может быть рассчитана до выполнения операции. Вторая – формируется в процессе выполнения операций, является зависимой от функционирования системы резания (системозависимой или интегративной) и в основном определяется процессами самоприспосабливаемости трибоконтактов, заканчивающихся образованием вторичной переходной пластически деформированной зоны. Квазистабильные поверхности этой зоны частично или полностью заменяют переднюю и задние поверхности инструмента. Это явление при резании имеет место на всем диапазоне изменения условий обработки. Степень влияния самоприспосабливаемости трибоконтактов на шероховатость поверхности при обработке металлов резанием зависит от выбранных режимов обработки. При чистовых и получистовых режимах этот фактор оказывает превалирующее значение. Это выражается в существенном превышении уровня шероховатости над расчетным значением.

2. Влияние самоприспосабливаемости трибоконтактов на шероховатость поверхности при обработке резанием в значительной степени зависит от условий контактного взаимодействия. Это позволило выбрать в качестве основы для модели процесса формирования шероховатости экстремальную зависимость шероховатости от скорости резания. Описание экстремальной зависимости шероховатости от скорости резания и внешней среды выполнено при помощи логистических зависимостей. Логистические зависимости подчиняются закону роста (убывания) с насыщением. Важное для исследования процесса формирования шероховатости свойство логистических зависимостей это информация о пределах, с которых они стартуют и к которым стремятся, причем в явном виде – в виде параметров модели.

3. Математическая модель процесса формирования шероховатости на основе зависимости шероховатости от скорости резания и внешней среды представлена разрывной функцией из двух логистических зависимостей: возрастающей до скорости V_M максимального значения шероховатости (зона нароста) и убывающей после скорости V_M . При отсутствии внешней среды (резание в вакууме с разрежением 12 мПа) шероховатость описывается одной убывающей логистической зависимостью на всем диапазоне изменения скоростей резания.

4. Логистический анализ отдельно левых правых ветвей экспериментальных зависимостей полученных ранее в НГТУ позволил утверждать, что в основном логистики и справа и слева адекватно описывают их. Для 116 логистик коэффициент детерминации составил от 0,90 до 0,99. При логистическом анализе этих экспериментальных данных с использованием предложенной модели показатель адекватности еще более высокий, коэффициент детерминации от 0,97 до 0,99.

5. Значения параметров модели a_1 и b_1 представляют собой нижнюю границу коридора значений шероховатости. Их значения равны между собой для всех внешних сред, кроме воздуха и масляных. Важно отметить, что значение параметра b_1 не зависит от внешней среды и свойств обрабатываемых и инструментальных материалов. Шероховатости меньше a_1 и b_1 при резании лезвийными инструментами пока не представляется возможным и это видимо связано с особыми свойствами всех поликристаллических материалов. Сумма параметров $a_1 + a_2$ и $b_1 + b_2$ представляют собой верхнюю границу коридора значений шероховатости. Ее значение также не зависит от свойств обрабатываемых и инструментальных материалов. С увеличением активности внешней среды значения $a_1 + a_2$ и $b_1 + b_2$ постепенно уменьшаются. Верхняя граница коридора представляет предельное развитие очага деформации и достигается оно ($b_1 + b_2$) только при резании в глубоком вакууме. В реальных условиях эта граница является мнимой (расчетной).

6. Математическое описание разработанной модели разработанной модели (см. уравнения (1) и (2)), а параметрическое описание приведено в таблице 1. Она позволяет и вторую составляющую шероховатости перевести в ранг расчетной. Модель положена в основу алгоритма расчета шероховатости при проектировании чистовых и получистовых операций технологических процессов обработки резанием.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Сорокин В. М., Улитина А. В. Моделирование процессов формирования шероховатости обработанных поверхностей // Технология машиностроения. Новые исследования и разработки студентов, аспирантов и преподавателей: Материалы научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Нижний Новгород: НГТУ, 1998 – с.17-20.

2. Сорокин В. М., Улитина А. В. Исследование процессов образования шероховатости обработанной поверхности // Наука-производству: современные задачи управления, экономики, технологии и экологии в машино- и приборостроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции посвященной 30-летию Арзамасского филиала НГТУ. – Арзамас, 1998 – с.66-69.

3. Сорокин В. М., Улитина А. В. Математическая модель формирования шероховатости поверхности при точении // Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Нижний Новгород – Арзамас, 1998 – с. 66-69.

4. Сорокин В. М., Улитина А. В. Прогнозирование шероховатости при обработке резанием // Состояние и перспективы развития электротехнологии: тезисы докладов Международной научно-технической конференции (Х Бенардосовские чтения). – Иваново: ИГЭУ, 2001 – с. 220.

5. Сорокин В. М., Улитина А. В. Самоорганизация фрикционных контактов при обработке лезвийным инструментом // Динамика технологических систем: Труды VI Международной научно-технической конференции. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2001 – с. 100-104.

Подписано в печать 20.05.04. Формат 60 × 84 ¹/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 349.

Нижегородский государственный технический университет.
Типография НГТУ. 603600, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.