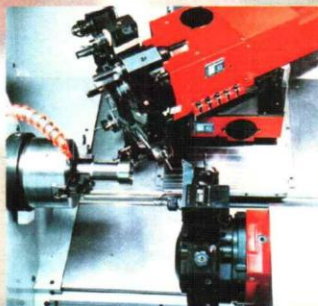
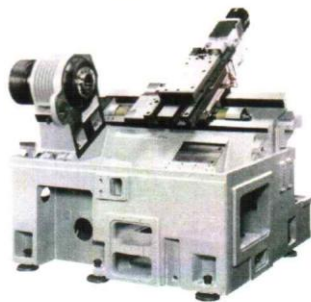


**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ
МЕТАЛЛООБРАБОТКИ И КОНСТРУКЦИЯХ
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН
И КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ**



УФА 2012

УДК 621.7
ББК 34.5

Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий. Межвузовский научный сборник / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2012. – 257 с.

В межвузовском сборнике научных трудов представлены статьи, подготовленные на основе результатов исследований в области технологических возможностей металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ, представленных на Всероссийской научно-технической конференции в рамках Инновационно-промышленного салона и специализированной выставки ПРОМЭКСПО-2012. Авторами статей являются преподаватели, аспиранты, научные сотрудники, инженеры, квалифицированные специалисты, студенты и магистранты УГАТУ, РГАТА, ПГТУ, НГТУ, ОмГТУ и других учебных заведений, а также специалисты промышленных предприятий России.

Сборник адресуется широкому кругу читателей.

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. Постнов В. В,
(научн. редактор),
д-р техн. наук, проф. Кудояров Р. Г.
(ответст. за выпуск),
канд. техн. наук, доц. Латышов Р. Р.,
канд. техн. наук, доц. Дурко Е. М.,
канд. техн. наук, доц. Черников П. П.,
канд. техн. наук, доц. Акмасев О. К.,
канд. техн. наук, доц. Фецак С. И.,
ст. преп. Хадиуллин С. Х. (техн. секр.).

Материалы публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-4221-0265-5

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2012

Грубый С.В.

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана
(г. Москва)*

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ДИСЦИПЛИНЫ «ОПТИМИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ»

Проведены экспериментальные и теоретические исследования, направленные на расширение и уточнение количественных соотношений, характеризующих процесс резания материалов в широком диапазоне условий. Результаты исследований отражены в виде количественных соотношений на основе степенных и полиномиальных уравнений. Уточнены методы управления и оптимизации режимных параметров, обеспечивающие повышение эффективности механической обработки. Результаты научных исследований и разработанных методик в концентрированном виде нашли отражение в учебной дисциплине "Оптимизация механической обработки".

Характерной чертой современного этапа развития механосборочного производства является постановка и решение экстремальных задач по поиску оптимальных условий протекания технологических процессов. Подобный рост исследовательского интереса к экстремальным задачам связан с ограниченностью природных, материальных и людских ресурсов, необходимостью экономии энергии и материалов. Для решения этих задач используются компьютеризированные интегрированные производственные системы с учетом усиленной дифференциации изделий по номенклатуре на фоне конкуренции с аналогичными изделиями прежде всего импортного производства. В этих условиях разработка новых или совершенствование существующих технологических процессов должны основываться на критериях технологической и экономической эффективности, а одним из резервов развития производства является снижение технологической себестоимости с учетом прогнозируемого роста объемов лезвийной обработки легированных, труднообрабатываемых и закаленных материалов в автомобилестроении, аэрокосмической промышленности, машиностроении и др. отраслях. Ожидается, что в структуре инструментальных материалов по-прежнему сохранится ведущая роль твердых сплавов (около 70%), вместе с тем возрастет использование в лезвийной обработке алмазов и материалов на основе нитрида бора (до 5÷6%). В краткосрочном периоде развития предприятия без привлечения значительных трудовых и материальных затрат существенный эффект может быть достигнут путем управления режимными параметрами на основе автоматизированного расчета по количественным моделям за счет снижения себестоимости, энергоемкости, повышения производительности и качества обработки.

В долгосрочном периоде прогнозируется развитие чистовых методов, основанных на использовании уникального оборудования, микро- и нанотехнологий обработки прецизионных деталей машин и приборов, точность размеров, формы и расположения поверхностей которых составляет микрометры или доли микрометров.

Анализ литературных данных, а также имеющийся производственный опыт указывают на существенную роль точных количественных оценок при выборе режимов резания, в особенности на операциях лезвийной обработки деталей с предельно высокими требованиями по качеству обработки. Сложность проектирования подобных операций обусловлена несовершенством математического аппарата, недостаточной адекватностью применяемых моделей, нелинейностью взаимосвязей между их параметрами. Очевидным становится и насущная необходимость коренного изменения базового математического обеспечения существующих САПР ТП с переходом на новые научно обоснованные принципы его создания. Учитывая выше сказанное, проблема повышения эффективности обработки на основе управления режимными параметрами и процессом изнашивания инструмента, используя моделирование, нелинейные нестационарные модели и оптимизацию как средство, является актуальной для теории и практики металлообработки.

Выбору или расчету режимных параметров лезвийной обработки посвящено большое количество литературных источников. Вопросы оптимизации этих параметров изложены только в специальной литературе, например [1 - 3].

Основываясь на традициях школы резания металлов МГТУ (МВТУ) им. Баумана на протяжении ряда лет проведены теоретические и экспериментальные исследования с существенными для науки и практики результатами.

Разработана методика моделирования и аппроксимации результатов экспериментальных исследований многофакторными полиномиальными моделями, отражающими связь характеристик резания или скорости изнашивания инструментов с режимными переменными и геометрическими параметрами инструмента. Например, для расчета стойкости твердосплавных резцов, сил резания, скорости изнашивания инструмента при обработке заготовок из сталей различных марок, титанового сплава предложено использовать полиномиальные уравнения, учитывающие влияние факторов – скорости, глубины, подачи, главного угла в плане, вида:

$$\begin{aligned}
 y_1 = \lg(T) &= f_1(v, s, t, \varphi_0) = \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{f}(\mathbf{x}) = b_1 + b_2 v + b_3 s + \dots + b_k \varphi_0^2; \\
 y_2 = \lg(P) &= f_2(v, s, t, \varphi_0) = \dots; \\
 y_3 = \lg(I_{nl}) &= f_3(v, s, t, \varphi_0) = \dots,
 \end{aligned}$$

где переменные включены в кодированном (безразмерном) виде.

Рассмотрена модель процесса косоугольного несвободного резания, стружкообразования и изнашивания резцов из твердых сплавов и нитрида бора как основа оптимизации и управления режимными параметрами и включающая последовательность алгоритмически взаимосвязанных математических выражений и внутренних аппроксимаций [4]. В основу модели положена установленная и экспериментально обоснованная связь скорости изнашивания задней поверхности инструмента с обобщенным параметром, характеризующим процесс резания. В качестве обобщенного параметра предложено отношение скорости резания к твердости изнашиваемой инструментальной поверхности как функции температуры контакта:

$$I_{\text{и}} = f(x) = f[v / HV(T_2)],$$

где $I_{\text{и}}$ – скорость изнашивания, мм/мин; v – скорость, м/с, HV – твердость или микротвердость по Виккерсу, МПа, T_2 – средняя температура, °С. Значения скорости изнашивания использованы для расчета величины износа и стойкости инструмента путем численного интегрирования. На этой основе разработана расчетная методика, которая позволяет выполнить оперативный автоматизированный анализ процесса изнашивания, стойкости резцов и обрабатываемости конструкционных сталей и сплавов применительно к условиям конкретных операций, и исключает проведение обширных экспериментальных исследований. Результатами расчетов являются многофакторные полиномиальные модели скорости изнашивания и стойкости резцов или степенные уравнения, справедливые для условий обработки широкой гаммы конструкционных сталей и сплавов, включая труднообрабатываемые.

Разработаны положения теории и методологии управления и оптимизации режимных параметров, и процессом изнашивания инструмента, основанные на использовании нелинейных нестационарных моделей скорости изнашивания инструмента, и направленные на повышение эффективности лезвийной обработки. Применяемые методы оптимизации режимных параметров (ОРП) и методические основы управления изложены в учебном пособии [5].

Исследован процесс, разработана модель алмазного точения металлооптических поверхностей, отражающая связь режимных параметров с характеристиками качества поверхностного слоя, и методика выбора и аттестации кристаллов природных алмазов для оснащения специальных алмазных резцов и обработки протяженных металлооптических поверхностей [4]. Результаты расчетов показывают, что процесс изнашивания алмазных резцов характеризуется малой интенсивностью, величина которой на несколько порядков меньше, чем интенсивность изнашивания твердосплавного инструмента.

Изучение процесса резания твердосплавными и алмазными резаками показывает их полное соответствие по качественным показателям. Вместе с тем количественные оценки имеют существенное различие. Если классифицировать процесс по толщине срезаемого слоя, то точение твердосплавными резаками характеризуется толщинами в десятые доли миллиметра. Точение резаками из кубического нитрида бора закаленной стали характеризуется толщинами срезаемого слоя в сотые и тысячные доли миллиметра. Алмазное точение отражающих поверхностей металлооптических элементов является процессом микрорезания, если толщина среза больше 0,1 мкм ($S_0 \sim 3$ мкм/об) и процессом нанорезания, если толщина среза меньше этого значения.

В последние годы исследуется и развивается новый технологический процесс, так называемое "пластическое" резание хрупких материалов, типичным представителем которых является широко используемый в микроэлектронике монокристалл кремния. Кремний имеет структуру алмаза с прочными ковалентными связями. Вместе с тем установлено, что в результате высокого гидростатического давления происходит превращение кремния с кубической решеткой в аморфное металлическое состояние. Такие условия могут возникнуть в тонком прирезцовом слое кристалла при его обработке алмазным резцом с малыми значениями глубины и подачи. Например, известны результаты экспериментов по обработке кристалла Si алмазным резцом с радиусом кромки при вершине $r = 2$ мкм, глубиной резания 1 мкм, подачей 0,1 мкм/об. Для этих условий средняя толщина среза составила 3,2 нм, в зависимости от износа инструмента тангенциальная составляющая силы находилась в пределах $0,02 \div 0,08$ Н, радиальная составляющая – $0,5 \div 5$ Н, шероховатость обработанной поверхности - $Ra < 5$ нм.

Следует отметить также перспективные возможности алмазного лезвийного инструмента для формирования наноструктур на кремниевых подложках посредством механического воздействия сканирующего или атомно-силового микроскопа. Преимуществом такого микроскопа является возможность наномасштабного перемещения и использования наконечника зонда в качестве микроинструмента. Приведен пример, когда консоль в виде кремниевого рычага была снабжена алмазным наконечником. Силы резания могут быть рассчитаны, исходя из величины отклонения и скручивания консоли. Один из реализованных режимов обработки поверхности монокристалла кремния: нормальная нагрузка 610 мкН, шаг сканирования (подача) 59 нм, скорость обработки 120 мкм/с, направление обработки $\langle 110 \rangle$. В этих условиях на обработанной поверхности не было обнаружено трещин, наблюдалась стружка непрерывного типа, шероховатость обработанной поверхности изменялась в пределах $Ra \sim 3 \div 0,5$ нм.

Алмазным инструментом осуществляли резание кремния с глубиной менее 10 нм и шириной менее 150 нм. Возникла сила резания в пределах $5 \div 150$ мкН, шероховатость менее 5 нм.

Таким образом, проведенное моделирование и результаты анализа показывают, что процесс резания в макро-, микро- и нано- диапазоне толщин

прежде характеризуется общими закономерностями с существенным отличием по количественным показателям. Дальнейшее развитие лезвийной обработки заключается в необходимости создания нового технологического оборудования, разработке технологий изготовления алмазных инструментов, в совокупности обеспечивающих реализацию отмеченных преимуществ и перспектив.

Результаты исследований в концентрированной и доступной форме изложены в основу учебной дисциплины "Оптимизация механической обработки" по учебному плану подготовки инженеров по специальности 121300 "Инструментальные системы машиностроительных производств". Учебная дисциплина предусматривает цикл лекций и семинарские занятия.

Цикл лекций направлен на освещение методических и теоретических вопросов оптимизации режимных параметров (ОРП) по основным видам лезвийной механической обработки. Рассматриваются вопросы автоматического моделирования процесса резания и уравнения, аппроксимирующие зависимости резания металлов. Приводятся обоснование критериев и целевых функций, характеризующих операцию механической обработки. Рассматриваются виды (структурная, параметрическая) и методы оптимизации: линейное программирование; метод внутренней штрафной функции как метод решения задач нелинейного программирования с технологическими ограничениями; минимизация функции многих переменных методом Ньютона и покоординатного спуска и др. Излагаются современные тенденции и особенности назначения режимных параметров на станках с числовым программным управлением.

На семинарских занятиях студенты решают задачи по расчету и оптимизации режимных параметров на операциях точения, сверления и фрезерования. Сформулирован ряд задач с различными исходными данными для каждого студента: нормирование операции механической обработки; ОРП методом линейного программирования; минимизация функции себестоимости и штучного времени; ОРП при многоинструментной последовательной и параллельной обработке и др.

Полученные знания студенты используют при проведении научно-исследовательской работы в 10 и 11 семестрах и при формировании исследовательской части дипломного проекта. Ряд оптимизационных задач нашли отражение в диссертационных работах, в частности, ОРП при наружном и внутреннем точении сферических поверхностей пар-баллонов из коррозионностойкой стали и титанового сплава для ракетно-космической техники.

Список Литературы

1. Рыжов Э.В., Аверченко В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
2. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. – М.: Машиностроение, 1982. – 208 с.

3. Скуратов Д.Л., Трусов В.Н. Определение рациональных условий обработки при производстве деталей ГТД. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2002. – 152 с.

4. Грубый С.В. Моделирование процесса резания твердосплавными и алмазными резами: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. -107 с.

5. Грубый С.В. Методы оптимизации режимных параметров лезвийной обработки: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. -96 с.

Берёзина Е.В., Богомолов М.В., Годлевский В.А., Фомичев Д.С.

Ивановский государственный университет

(г. Иваново)

Ивановский институт государственной противопожарной службы

МЧС России

(г. Иваново)

ПЛАСТИЧНЫЕ СОТС С ПРИСАДКАМИ СТРУКТУРНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Рассматриваются вопросы применения при обработке резанием пластичных СОТС, а также оценивается эффективность их использования в зависимости от основы и содержания различных присадок.

В области исследования и разработки новых СОТС отмечают две тенденции. Первая из них сводится к отказу от химически активных присадок и замены их присадками «структурного действия», работа которых связана с эффектом поверхностной надмолекулярной самоорганизации [1]. Вторая тенденция — ограниченная подача СОТС: т.е. не непрерывным поливом, а небольшими количествами, дозами, необходимыми и достаточными для выполнения конкретной технологической операции. При этом существенно снижается потребность в СОТС, и практически исчезает необходимость в утилизации и регенерации использованного смазочного материала. СОТС, подаваемые в минимизированных количествах, мы предложили называть смазочными материалами материалы «разового применения» [2]. В последнее время популярным становится термин «почти сухое резание» (near dry machining) [3].

Тот факт, что эффективное смазочное действие СОТС может быть обеспечено подачей даже очень небольшого количества смазочной среды, обусловлено микрокапиллярным смазочным механизмом [4]. В рамках данного