

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

**В. А. Белозёров, М. Х. Утешев, А. Н. Калиев**

# **МЕХАНИКА ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ**

**Том II**

**ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СТВ**

Под общей редакцией  
доктора технических наук, профессора М. Х. Утешева

Тюмень  
ТюмГНГУ  
2012

УДК 621.91.01  
ББК 34.63 – 1  
Б 435

Рецензенты:  
доктор технических наук А. А. Силич  
генеральный директор ОАО «Тюменьстанкосервис» В. А. Аверин

**Белозёров, В. А.**  
Б 435      **Механика деформирования и разрушения при резании.** / В. А. Белозёров, М. Х. Утешев, А. Н. Калиев ; под ред. М. Х. Утешева. — Том II. Обработка инструментами из СТМ. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2012. — 128 с.  
ISBN 978-5-9961-0545-8

Во втором томе монографии изложены принципы выбора областей эффективного использования резцов из сверхтвёрдых материалов (СТМ) при тонком точении жаропрочных сплавов и сталей с учётом величин теплофизической характеристики (коэффициента теплопроводности) и характеристики прочности (предела прочности на растяжение) выбираемой марки инструментального СТМ (отечественного или зарубежного), то есть реализуется системный термомеханический подход при выборе марки СТМ для тонкого точения жаропрочных сплавов и сталей.

Приведена разработанная методология расчёта динамической прочности режущих частей инструментов из СТМ методом конечных элементов при тонком точении жаропрочных сплавов на станках с ЧПУ, обрабатывающих центрах и гибких производственных модулях (ГПМ) на оптимальных экономических режимах резания. В качестве экономического критерия оптимальности при обработке на станках с ЧПУ принята наибольшая экономическая эффективность обработки поверхности детали (прибыль), как наиболее рациональный, по нашему мнению, критерий экономической оптимальности при данных условиях обработки.

Книга может быть полезна научным работникам, аспирантам, инженерам, преподавателям и студентам.

УДК 621.91.01  
ББК 34.63 – 1

ISBN 978-5-9961-0545-8

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего  
профессионального образования  
«Тюменский государственный  
нефтегазовый университет», 2012

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ТОНКОМ ТОЧЕНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....	8
1.1. Технологическая эффективность обработки труднообрабатываемых сплавов и сталей на токарных станках с ЧПУ и пути оптимизации режимов резания .....	8
1.2. Современные направления в разработке методов назначения режимов резания металлов .....	12
1.3. Влияние динамической прочности и надежности режущего инструмента на показатели эффективности обработки на токарных станках с ЧПУ .....	14
1.4. Эффективность использования резцов из СТМ на основе нитрида бора на станках с ЧПУ с учетом характеристик прочности, других физико-механических и теплофизических свойств СТМ .....	16
1.4.1. Сверхтвердые материалы – качественно новая группа инструментальных материалов. Классификация СТМ .....	16
1.4.2. Техничко-экономическая эффективность использования резцов из СТМ при обработке на станках с ЧПУ .....	22
1.5. Оценка динамической прочности резцов из СТМ на основе КНБ при тонком точении жаропрочных сплавов на никелевой основе .....	28
1.6. Выводы и постановка задач исследования .....	30
2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ РЕЗЦАМИ ИЗ СТМ .....	32
2.1. Методика исследований основных контактных характеристик в процессе резания инструментами из СТМ .....	32
2.1.1. Аппаратура, режущие инструменты, обрабатываемые материалы .....	33
2.1.2. Подготовка и проведение экспериментов .....	37

3. КОНТАКТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ РЕЗЦАМИ ИЗ СТМ .....	42
3.1. Контактные характеристики на передних и задних поверхностях резцов из СТМ .....	43
3.2. Выводы .....	57
4. ПРОЧНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ИЗ СТМ ПРИ ТОНКОМ ТОЧЕНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....	58
4.1. Распределение контактных напряжений по длине контакта на передней поверхности инструмента из СТМ .....	59
4.2. Закономерности распределения контактных напряжений вдоль режущей кромки и по площади контакта на передней поверхности инструмента из СТМ .....	69
4.3. Аналитический расчет хрупкой прочности режущей части инструмента из СТМ .....	75
4.4. Оценка трещиностойкости режущей части инструмента из СТМ при тонком точении жаропрочных сплавов на станках с ЧПУ .....	85
4.5. Выводы .....	87
5. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ РЕЗЦАМИ ИЗ СТМ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....	90
5.1. Физическая оптимизация тонкого точения жаропрочных сплавов резцами из СТМ .....	90
5.2. Экономическая оптимизация тонкого точения жаропрочных сплавов резцами из СТМ на станках с ЧПУ, обрабатывающих центрах и ГПМ .....	92
5.3. Диагностика, контроль и прогнозирование напряженно-деформированного состояния режущей части инструмента из СТМ .....	101
5.4. Экспресс-метод испытаний на динамическую прочность резцов из СТМ и других инструментальных материалов .....	103

5.5. Технологическая эффективность и качество обработанных поверхностей деталей при тонком точении и растачивании жаропрочных сталей, закаленных легированных сталей резцами из СТМ на станках с ЧПУ и обрабатывающем центре на оптимальных экономических режимах резания при управлении процессами нагружения режущих частей инструментов из СТМ .....	110
5.5.1. Качество обработанных поверхностей деталей при тонком точении жаропрочных сплавов резцами из СТМ .....	110
5.5.2. Эффективность тонкого растачивания отверстия втулки из закаленной легированной стали резцом из гексанита-Р на обрабатывающем центре .....	113
5.6. Выводы и практические рекомендации .....	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	119

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими задачами, стоящими перед машиностроением, являются повышение производительности общественного труда, улучшение качества выпускаемой продукции. Главным направлением решения этих задач является интенсификация производственных процессов за счёт создания и внедрения принципиально новых инструментальных сверхтвёрдых материалов.

В настоящее время как в России, так и за рубежом много внимания уделяется конструированию инструментов с многогранными и круглыми пластинами, вследствие их значительных преимуществ по сравнению с напайными инструментами. На инструментальных заводах организован промышленный выпуск сборного лезвийного инструмента с механическим креплением круглых и многогранных неперетачиваемых двухсторонних пластин из сверхтвёрдых материалов (СТМ) на основе твёрдых модификаций нитрида бора: композит О1 (эльбор-РМ), композит 05ИТ, композит 1ОД (гексанит-Р).

Сменные многогранные пластины (СМП) ознаменовали новый подход к организации инструментального обеспечения станков и металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ. При правильной организации технико-экономический эффект применения неперетачиваемых пластин из СТМ очень высок. Преимущества СМП заключаются в многократном использовании державки резца, формировании геометрии передней грани инструмента до спекания, устранении переточек и пайки, сокращении времени смены инструмента. Следствием реализации этих преимуществ СМП является: повышение качества, точности и надёжности деталей, обеспечение стружкодробления, повышение производительности, уменьшение типоразмеров инструментов, сокращение стоимости. Сокращение времени смены инструмента при использовании СМП за счёт устранения переточек позволяет значительно уменьшить период экономической стойкости резцов и, следовательно, увеличить скорость резания и производительность обработки на токарных станках с ЧПУ. Многократное использование державки снижает стоимость одной смены инструмента, что также способствует снижению периода экономической стойкости инструмента.

Автоматизация современного производства, создание гибких автоматизированных производств, гибких технологических систем, робототехнических комплексов, организация групповой обработки на станках с ЧПУ предъявляют особые требования к технологической подготовке производства, в частности, к производству инструмента с высокой износостойкостью и прочностью, обеспечивающих высокую надёжность технологических процессов.

Внедрение в производство высокоэффективных инструментальных материалов сдерживается из-за недостаточной прочности их. Режущая кромка инструмента является наиболее слабым с точки зрения прочности звеном в технологической системе, что ограничивает рост производительности и технико-экономической эффективности обработки.

Непрерывный рост объёма и интенсивности процессов металлообработки в промышленности, изменение структуры, функциональных возможностей и стоимости технологического оборудования, всё более широкое применение высокопрочных материалов, имеющих как правило, низкую обрабатываемость, обуславливают необходимость системного подхода к управлению технологическими процессами с позиции обеспечения соответствующих показателей качества и достижения максимальной технико-экономической эффективности обработки.

Высокая стоимость станков с ЧПУ, увеличение стоимости станкочаса эксплуатации станков с ЧПУ экономически предопределяет необходимость интенсификации режимов обработки с целью достижения окупаемости, понижения расходов на эксплуатацию дорогостоящего оборудования.

Обработка резанием труднообрабатываемых материалов на токарных станках с ЧПУ при недостаточной прочности режущей части инструмента сопровождается интенсификацией изнашивания инструмента, понижением размерной точности обработки, частыми отказами из-за разрушений режущей части инструмента при резании, приводящими к повышенным технологическим потерям по простоям и браку и, как следствие, к снижению технико-экономической эффективности обработки.

Решение проблемы повышения эффективности обработки жаропрочных сплавов и сталей на токарных станках с ЧПУ в условиях вариации параметров динамической прочности СТМ на основе нитрида бора и величин контактных нагрузок при резании может быть достигнуто путём исследований напряжённо-деформированного и теплового состояния режущей части инструмента из СТМ в процессе резания, что позволит оценивать запас прочности режущей части инструмента, являющийся вероятностной характеристикой надёжности инструмента, с тем, чтобы на этой основе повысить надёжность прогнозирования и установить эффективный комплексный критерий оценки работоспособности инструмента, а также создать банк данных оптимальных режимов резания тонкого точения жаропрочных сплавов и сталей и закалённых легированных сталей с поверхностной твёрдостью HRC 35-40 резцами из СТМ для станков с ЧПУ с применением персонального компьютера.