

**В. Ф. МАКАРОВ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОТЯГИВАНИЯ  
ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

Старый Оскол  
ТНТ  
2022

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ</b> .....	7
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	9
<b>ГЛАВА 1. УСЛОВИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОТЯГИВАНИЯ СЛОЖНОФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН</b> .....	17
1.1. Проблемы, возникающие при протягивании труднообрабатываемых материалов .....	17
1.2. Основные технические требования к процессам формообразования сложнофасонных поверхностей деталей машин .....	20
1.3. Технологические особенности процесса протягивания среди других процессов формообразования сложнофасонных поверхностей деталей машин .....	27
1.4. Режимы резания и режущие инструменты, применяемые при протягивании труднообрабатываемых материалов .....	31
1.5. Задачи оптимизации процесса резания при протягивании ...	42
<b>ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	45
2.1. Анализ структурно-фазового состава, прочностных и пластических свойств сталей и сплавов, обрабатываемых протягиванием .....	45
2.2. Модернизация протяжного оборудования, разработка конструкций и выбор рациональных марок материалов протяжек для решения задач оптимизации .....	59
2.3. Методы исследования износостойкости протяжек, температурно-силовых и адгезионных явлений процесса резания при протягивании.....	74
2.4. Особенности методики исследования основных параметров качества поверхностного слоя и усталостной прочности протягиваемых деталей в лабораторных и производственных условиях .....	77

<b>ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПРОТЯГИВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ .....</b>	<b>80</b>
3.1. Установление наиболее благоприятных температурных зон резания с позиции снижения прочностных и пластических свойств сталей и сплавов при их нагреве .....	80
3.2. Моделирование и расчёт тепловых процессов резания многозубым инструментом при различных режимах протягивания труднообрабатываемых материалов .....	89
3.2.1. Исследование тепловых полей и расчёт температуры резания при протягивании многозубым инструментом .....	91
3.2.2. Расчёт оптимальных скоростей резания при протягивании жаропрочных сталей и сплавов аналитическим методом .....	102
3.3. Экспериментальное определение оптимальных режимов резания при протягивании труднообрабатываемых сталей и сплавов .....	110
3.4. Исследование влияния режимов резания и геометрии протяжек на изменение силы резания и процесс стружкообразования .....	144
3.5. Влияние режимов протягивания на характер изменения временных технологических напряжений в обрабатываемых деталях .....	177
<b>ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПРОТЯГИВАНИЯ И ГЕОМЕТРИИ ПРОТЯЖЕК НА ФОРМИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ .....</b>	<b>183</b>
4.1. Влияния режимов протягивания и геометрии протяжек на формирование шероховатости протянутой поверхности ...	184
4.2. Влияние режимов протягивания на глубину и степень наклёпа .....	202
4.3. Влияние режимов протягивания на формирование остаточных напряжений .....	219
4.4. Исследование микроструктуры и химсостава поверхностного слоя деталей, обработанных на различных скоростях резания .....	235

4.5. Влияние режимов резания на усталостную прочность протянутых деталей .....	247
--	-----

**ГЛАВА 5. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ МНОГОСЕКЦИОННЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПРОТЯЖЕК В УСЛОВИЯХ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЗАНИЯ .....**

5.1. Особенности износа и хрупкого разрушения твердосплавных протяжек .....	258
5.2. Влияние контактных адгезионных явлений при протягивании на хрупкое разрушение и износ протяжек ...	265
5.3. Влияние нестационарных прерывистых условий резания при протягивании на хрупкое разрушение и износ протяжек .....	276
5.4. Разработка способа скоростного протягивания деталей ГТД твердосплавными многосекционными протяжками .....	305
5.5. Статистическая оценка надёжности работы протяжек при оптимизации процесса протягивания .....	320

**ГЛАВА 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОЦЕССА СКОРОСТНОГО ПРОТЯГИВАНИЯ «ЁЛОЧНЫХ» ЗАМКОВ ТУРБИНЫХ ЛОПАТОК ПЕРЕД ФРЕЗЕРОВАНИЕМ И ГЛУБИНЫМ ШЛИФОВАНИЕМ .....**

6.1. Эффективность процесса скоростного протягивания «ёлочных» замков турбинных лопаток .....	332
6.2. Анализ процесса фасонного фрезерования «ёлочных» замков турбинных лопаток .....	341
6.3. Эффективность процесса глубинного шлифования «ёлочных» замков турбинных лопаток .....	348
6.4. Сравнительная оценка показателей производительности, качества и себестоимости при интенсификации различных процессов резания замков турбинных лопаток .....	375

**ГЛАВА 7. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОТЯГИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ .....**

7.1. Технические рекомендации по выбору режимов резания и геометрии протяжек при внедрении процессов скоростного протягивания деталей из жаропрочных сплавов .....	390
--	-----

7.2. Эффективность скоростного протягивания замковых соединений дисков и лопаток турбин и компрессоров .....	400
7.2.1. Протягивание торцевых шлиц «Хирга» на дисках турбин .....	402
7.2.2. Скоростное протягивание пазов «ласточкин хвост» в кольцах направляющих аппаратов .....	404
7.2.3. Протягивание замков лопаток компрессора на скоростных режимах резания .....	406
7.2.4. Автоматизация протягивания замков лопаток .....	407
7.2.5. Скоростное протягивание пазов «ласточкин хвост» в дисках компрессоров .....	409
7.2.6. Испытание процесса скоростного протягивания «ёлочных» пазов в дисках турбин .....	410
7.3. Примеры эффективного внедрения оптимального протягивания на предприятиях моторостроения .....	420
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>422</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....	<b>426</b>