

674
И-62

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР
БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. С. М. КИРОВА

674.053:621,934(043.3)

На правах рукописи

НИКИТИН Александр Константинович

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО
СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ КРУГЛЫХ ПИЛ
С КОМПЕНСАЦИОННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ**

Специальность 05.06.02

Машины и механизмы лесоразработок, лесозаготовок,
лесного хозяйства и деревообрабатывающих производств
(05.420)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск, 1974 г.

674
М-62
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт
им. С.М.Кирова

На правах рукописи

Никитин Александр Константинович

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И
УСТОЙЧИВОСТИ КРУГЛЫХ ПИЛ С КОМПЕНСАЦИОННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

3626ар
Специальность 05.06.02

Машины и механизмы лесоразработок, лесозаготовок,
лесного хозяйства и деревообрабатывающих производств
/05.420/

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

БИБЛИОТЕКА БТИ
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

Минск, 1974 г.

Работа выполнена в Украинском научно-исследовательском институте механической обработки древесины Минлесдревпрома УССР.

Научный руководитель - кандидат технических наук Исаков А.И.

Научный консультант - доктор технических наук,
профессор Манжос Ф.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Мовнин М.С.,
кандидат технических наук,
доцент Микулинский В.И.

Ведущее предприятие: ЦНИИМЭ

Автореферат разослан " 15 " декабря 1974 г.

Защита диссертации состоится " 15 " января 1975 г. в 10 часов на заседании Совета Белорусского технологического института им. С.М.Кирова /220630, Минск-50, ул. Свердлова 13-а, корп. 4, ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук

/Е.А.Грушевская/

Успешное решение задач, поставленных перед деревообрабатывающей промышленностью XXIV съездом Коммунистической партии Советского Союза, требует значительного повышения производительности труда, внедрения новой высокопроизводительной техники, усовершенствования технологических процессов, а также внедрения мероприятий, направленных на экономию и рациональное использование древесины. Вопросы повышения производительности труда и рационального использования древесины неразрывно связаны с применением новых, усовершенствованных конструкции дереворежущего инструмента и оптимизацией режимов резания. В этой связи особое внимание заслуживают вопросы, связанные с повышением эксплуатационных показателей круглых плоских пил, так как согласно имеющимся данным круглопильные станки составляют 40%, а на некоторых предприятиях 50-60% всего станочного парка. При данных условиях улучшение качества поверхностей, получаемых после продольной распиловки, а также снижение ширины пропила позволят значительно уменьшить объем отходов древесины при распиловке и последующей обработке.

Качество процесса распиловки во многом зависит от устойчивости полотен дисковых пил. Следствием потери диском плоской формы упругого равновесия является: увеличение ширины пропила, ухудшение поверхностей, формируемых при пилении, увеличение потребляемой мощности, подгорание материала.

За последние годы проделана большая работа по выяснению причин выпучивания пильных дисков. Разработаны методы и средства, способствующие повышению устойчивости круглых пил. Вопросы напряженного состояния, колебаний и устойчивости круглых пил рассмотрены в работах Бернштейна М.С., Боженко В.С., Грубе А.Э., Грубе Н.А., Гуркина Г.С., Жодзимского Г.А., Лапина П.И., Муравьева С.М., Пашкова В.К., Санева В.И., Стахивева Ю.М., Твердниковой М.М., Хасдана С.М., Юзефовича Г.И., Якунина Я.К. /СССР/, Барца Е. /ФРГ/, Скогlund С. /Швеция/ и др. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные указанными авторами, позволили установить влияние основных конструктивных и режимных параметров на устойчивость круглых пил. Полученные данные являются основой для совершенствования известных и разработки новых методов и технических средств, способствующих повышению устойчивости дереворежущих пил. Одним из методов повыше-

ния устойчивости дисковых пил является метод, предусматривающий ослабление средней зоны пил компенсационными отверстиями.

Целью настоящей работы является теоретическое и экспериментальное исследование напряженного состояния круглых плоских пил с ослабленной средней зоной, определение зависимости критической температуры плоских пил от формы и размеров компенсационных отверстий.

Диссертационная работа изложена на 150 страницах машинописного текста, содержит 3 приложения, 12 таблиц, 120 рисунков. Работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов и приложений.

В первой главе рассмотрены виды напряжений, действующих в диске работающей пилы, определены причины нагрева полотен круглых пил, дан критический анализ методов повышения устойчивости круглых пил. На основании проведенного анализа сделаны обобщающие выводы и определены задачи исследований.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям напряженного состояния и устойчивости вращающихся и нагреваемых плоских круглых пил с ослабленной средней зоной.

В третьей главе приведены методика и результаты экспериментальных исследований характера распределения и величины внутренних температурных напряжений, действующих при нагреве в дисках моделей, изготовленных из оптически чувствительного материала ЭД-6М. Эксперименты осуществлялись поляризационно-оптическим методом.

В четвертой главе изложены методика и результаты эксперимента по определению величины критических температурных перепадов круглых плоских пил.

В общих выводах подведены итоги исследований и даны рекомендации, касающиеся выбора формы и размеров компенсационных отверстий, обеспечивающих повышенную устойчивость круглых плоских пил.

Состояние вопроса и постановка задачи исследования

При распиливании древесины в диске круглой пилы под действием ряда факторов возникают внутренние напряжения, которые совместно с начальными напряжениями оказывают большое влияние на поведение пилы в пропиле. Распределение напряжений в диске, форма проявления их действия, а также причины появления различны.

Под действием центробежных сил инерции в диске вращающейся пилы возникают значительные по величине растягивающие радиальные и тангенциальные напряжения. Величина указанных напряжений зависит от скорости вращения диска и его размеров. Результатом действия центробежных напряжений является повышение боковой жесткости диска и увеличение собственной частоты колебаний диска.

При вращении круглая пила, как правило, совершает поперечные колебания, амплитуда и форма которых различны и зависят от многих факторов. Указанные колебания обуславливают появление значительных изгибных знакопеременных напряжений, которые могут привести к усталости металла и постепенному развитию трещин, зарождающихся в местах наибольшей концентрации напряжений.

Круглая пила, при распиливании древесины, испытывает действие сил резания, вызывающих появление в диске нормальных напряжений, величина которых значительно меньше центробежных напряжений. Напряжения от сил резания не учитываются при исследованиях напряженного состояния круглых пил. Однако, имея периодический характер действия, указанные напряжения могут вызывать при определенных условиях значительные поперечные колебания дисков пил.

При распиливании древесины на круглопильных станках часть затраченной энергии за счет трения различных элементов о древесину идет на нагрев диска пилы. Распределение температуры по радиусу диска пилы может иметь различный характер, зависящий от многих факторов. Периферийное расположение зон трения пилы о распиливаемый материал, а также большое температурное сопротивление диска в радиальном направлении обуславливают появление температурного перепада между периферийной и центральной зонами пилы. В результате этого в диске пилы возникают сжимающие и растягивающие температурные напряжения.

Из всех напряжений, действующих в диске пилы, температурные напряжения оказывают наибольшее влияние на поведение пилы в пропиле. Указанные напряжения понижают собственную частоту колебаний диска, расширяют области динамической неустойчивости круглых пил и являются основной причиной потери диском пилы плоской формы упругого равновесия.

При нормальных условиях работы инструмента нагрев диска пи-

ды осуществляется за счет тепла, поступающего от оснований зубьев. Причиной нагрева зубьев является:

1. Трение о древесину поверхностей затупления в области трехгранных углов.

2. Трение задней грани зуба о дно пропила.

3. Трение боковых поверхностей зуба о стенки пропила.

4. Трение стружки о переднюю грань.

Нагрев полотна работающей круглой пилы в большинстве случаев происходит не только от трения элементов зубьев о распиливаемый материал, а также от трения боковых поверхностей диска о древесину и опилки, попадающие между пилой и поверхностями пропила. Причинами, вызывающими указанное трение, являются:

1. Недостаточная ширина пропила.

2. Несовпадение направления подачи материала с плоскостью вращения пилы.

3. Перебазирование распиливаемого материала в процессе пиления.

4. Перераспределение внутренних напряжений в распиливаемой древесине.

5. Попадание большого количества опилок в просвет между пилой и стенками пропила.

6. Вибрации диска пилы.

7. Неправильная установка направляющих элементов.

8. Неровности и выпучины на диске пилы.

Наличие значительного количества факторов, способствующих фрикционному нагреву круглых пил обуславливает большую вероятность ухудшения качества обработки на круглопильных станках от действия внутренних температурных напряжений. Для обеспечения устойчивой работы круглых пил в настоящее время применяют различные методы и средства.

Наиболее распространенным методом повышения устойчивости плоских круглых пил является проковка. При проковке путем пластической деформации средней зоны диска пилы достигается образование внутренних растягивающих тангенциальных напряжений в периферийной зоне диска. Полученные напряжения частично компенсируют сжимающие температурные напряжения, возникающие при нагреве пилы в процессе работы. Достоинством данного метода подготовки пил является то, что он не требует сложного специального оборудования и практически может быть выполнен на любом деревообрабатывающем предприятии.

К недостаткам проковки можно отнести следующие:

1. Данная операция может быть выполнена только пилоставом высокой квалификации.
2. Наклеп, имеющий место при проковке, приводит к образованию тонкого поверхностного хрупкого слоя, в котором легко возникают мелкие трещины, являющиеся концентраторами напряжений.
3. Проковка повышает критическую температуру нагрева периферийной зоны диска пилы только на 20°C .

К недостаткам проковки можно отнести отсутствие объективного легко применимого метода контроля качества выполнения проковки.

Применяемый в настоящее время метод контроля начальных внутренних напряжений, основанный на измерении прогиба диска пилы от действия собственного веса, не дает достаточно полных и объективных данных о напряженном состоянии диска. Незначительная величина получаемых прогибов не позволяет произвести их точное измерение и поэтому в большинстве случаев качество проковки зависит от опыта и интуиции пилостава.

Другим распространенным методом подготовки круглых плоских пил является вальцевание пил — метод по своему содержанию и назначению, аналогичный проковке. Вальцевание может осуществляться рабочим средней квалификации. При необходимости процесс вальцовки может быть механизирован. К недостаткам указанного метода подготовки пил следует отнести необходимость наличия в инструментальных мастерских деревообрабатывающих предприятий специальных вальцовочных приспособлений, а также отсутствие объективных легко выполнимых методов контроля качества выполнения вальцевания.

Оригинальный метод создания начальных растягивающих напряжений в периферийном кольце дисковой пилы предложен австралийскими учеными. Диск пилы при помощи кислородной горелки нагревался в кольцевой зоне, расположенной несколько ниже окружности впадин, до температуры 330°C . Контроль за температурой диска в зоне нагрева осуществлялся путем визуального наблюдения за появлением температурных цветов определенных окрасок. Температурные напряжения, возникающие в диске при температуре 330°C , незначительно превышают предел пропорциональности металла диска пилы, поэтому при остывании в нагреваемой зоне возникают остаточные деформации, обеспечивающие натяжение периферийного кольца. Данный метод под-

готовки пил рекомендован для создания начальных напряжений в дисках пил большого диаметра, проковка и вальцовка которых затруднительна. Недостатками метода являются относительная сложность и субъективность оценки температуры диска в зоне нагрева.

Одним из направлений повышения устойчивости круглых пил является создание приспособлений и устройств, позволяющих уменьшать температурный перепад за счет нагрева средней зоны или охлаждения периферийной зоны диска пилы. Нагрев или охлаждение работающей пилы может осуществляться непрерывно или периодически. В первом случае изменение теплового баланса диска происходит независимо от напряженного состояния пилы. Во втором случае нагрев или охлаждение пилы осуществляются только при появлении характерных признаков, свидетельствующих о наличии в периферийной зоне диска значительных сжимающих напряжений. Таким признаком может являться резкое увеличение амплитуды поперечных колебаний вращающегося диска.

Для непрерывного нагрева средней зоны диска на практике часто используют сальники /плетенки/, изготовленные из пропитанных маслом пакли, пеньки или кожи. Установка сальников с небольшим поджимом к диску пилы обеспечивает при вращении диска в результате возникающего трения постоянный нагрев средней зоны инструмента. Применение указанного метода повышения температуры средней зоны круглых пил требует особой тщательности и опыта пилоставы, но даже при квалифицированном выполнении данный метод обеспечивает весьма незначительную компенсацию температурного перепада и поэтому может применяться только в качестве вспомогательного метода повышения устойчивости дисковых пил.

Качественно новым этапом в развитии практики повышения устойчивости круглых пил путем нагрева или охлаждения определенных зон диска является создание ленинградскими учеными Грубе А.Е. Соневым В.И. и Пашковым В.К. автоматических устройств, осуществляющих без вмешательства рабочего поддержание на определенном уровне теплового режима работающей пилы.

Испытание опытных образцов автоматических устройств в лабораторных и производственных условиях показали, что они являются эффективным средством улучшения качества распиловки на круглопильных станках. Однако, необходимость создания дополнительных довольно сложных устройств на станках, обеспечение этих устройств

сматы воздухом и водой препятствует их широкому внедрению на деревообрабатывающих предприятиях.

В настоящее время в ряде стран проводятся лабораторные и производственные испытания дисковых пил, на боковые поверхности которых с целью уменьшения коэффициента трения скольжения между стенками пропила и диском пилы нанесен слой антифрикционного материала. Испытание выявили ряд существенных преимуществ пил, покрытых антифрикционным материалом по сравнению с обычными пилами. Так, например, пилы, покрытые слоем тефлона-S, имеют коэффициент трения о древесину на 56-66% ниже, чем обычные пилы, поэтому при трении о стенки пропила они не нагреваются. К боковым поверхностям пил, покрытых тефлоном, не прилипает смола.

Основным недостатком указанного метода повышения устойчивости дисковых пил является заметный износ слоя антифрикционного материала при трении о стенки пропила.

Одним из методов уменьшения температурных напряжений является метод, основанный на выполнении в периферийных зонах дисков пил компенсационных радиальных прорезей. Согласно имеющимся данным, круглые пилы с компенсационными прорезями значительно меньше подвержены тепловому короблению при нагреве периферийной зоны диска, чем пилы, не имеющие компенсаторов. Кроме того, при работе пил с компенсационными прорезями уровень шума на 13-16% ниже, чем при работе обычных пил.

Наблюдающееся ограниченное применение указанного метода повышения устойчивости дисковых пил, особенно в отечественной практике, связано с отсутствием обоснованных рекомендаций о требуемом количестве компенсационных прорезей и их размерах. Данное положение объясняется тем, что до настоящего времени не решен ни теоретически, ни экспериментально вопрос о зависимости величины и распределения сжимающих температурных напряжений от размеров и количества компенсационных прорезей. Имеющиеся в литературе данные носят слишком общий характер и не всегда верно отражают действительную картину влияния компенсаторов на распределение температурных напряжений. Решение вопроса, связанных с установлением зависимости величины и распределения температурных напряжений от количества и размеров прорезей, позволит установить оптимальное количество прорезей и их размеры для любого диска пилы. Учитывая при этом простоту изготовления прорезей, объектив-

ность контроля качества их выполнения, а также то, что срок службы пилы не сокращается /при условии заточки зубьев пил по заданным граням/, можно будет рекомендовать более широко применять пилы с периферийными компенсационными прорезями.

В последние годы за рубежом появились плоские дисковые пилы, имеющие в средней зоне отверстия различных форм и размеров. Наиболее характерные виды компенсационных отверстий показаны на рис. I. Согласно имеющимся сообщениям, пилы с ослабленной средней зоной более устойчивы при нагреве, чем пилы, не имеющие компенсационных отверстий.

Исследованию влияния отверстий одной формы – внутренних радиальных щелей – на распределение центробежных напряжений посвящена диссертация Боженко В.С., выполненная в ЛТА им. С.М.Кирова в 1954 г. До настоящего времени она является единственной работой по вопросу теоретического анализа напряженного состояния вращающихся плоских дисковых пил, средняя зона которых ослаблена отверстиями. В результате проведенных теоретических исследований было установлено, что центробежные тангенциальные напряжения, действующие в периферийной зоне диска, имеющего внутренние радиальные прорези, по своей величине превышают аналогичные напряжения, действующие в цельном диске. Указанное обстоятельство, согласно выводам Боженко В.С., повышает устойчивость дисковых пил и дает возможность отказаться от выполнения подготовительных операций /проковки и вальцовки/.

Необходимо отметить, что, проведенный В.С.Боженко теоретический анализ напряженного состояния вращающихся пил, имеющих в средней зоне компенсационные отверстия, без учета температурных напряжений, оказывающих наибольшее влияние на поведение пилы в пропиле и по своей величине значительно превышающих другие напряжения, действующие в диске работающей пилы, не является достаточно полным и не позволяет делать окончательные выводы о влиянии компенсационных отверстий на напряженное состояние и устойчивость плоских дисковых пил.

Пробные эксперименты, выполненные Барцем Е. /ФРГ/, показали, что пилы с компенсационными отверстиями не испытывают осевых деформаций при температурных перепадах, являющихся критическими для цельных пил.

В результате исследований, проведенных Стажиевым Ю.М., было установлено, что у пил с ослабленной средней зоной при холостом

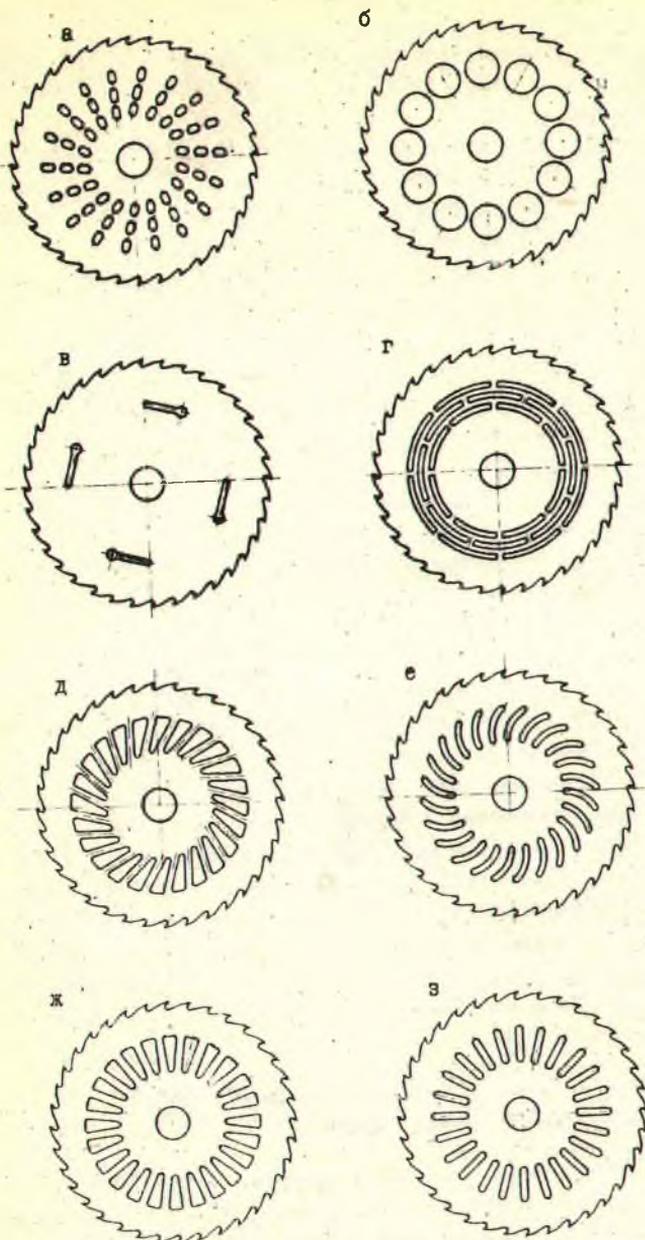


Рис. I. Виды компенсационных отверстий.

вращении отсутствуют автоколебания. Данное обстоятельство позволяет применять пилы с отверстиями на высоких /закритических/ скоростях вращения.

Анализ имеющихся экспериментальных и теоретических данных позволил сделать вывод, что ослабление средней зоны диска пилы компенсационными отверстиями является эффективным методом повышения устойчивости круглых пил.

Изучение опытных образцов пил с компенсационными отверстиями, изготовленных в нашей стране и за рубежом, показало, что количество, местоположение, форма и размеры отверстий выбирались интуитивно без каких бы то ни было обоснований. Данное положение объясняется отсутствием до настоящего времени теоретически или экспериментально обоснованных рекомендаций, касающихся выбора формы и размеров компенсационных отверстий. Последнее, в свою очередь, связано с отсутствием работ по вопросу термостойкости плоских дисковых пил с ослабленной средней зоной.

С целью изучения влияния компенсационных отверстий и прорезей на устойчивость круглых плоских пил в настоящей работе рассмотрены следующие вопросы.

1. Влияние компенсационных отверстий на распределение центробежных и тепловых напряжений в дисках плоских пил.

2. Определение критической температуры дисков пил с ослабленной средней зоной.

Влияние периферийных компенсационных прорезей на распределение температурных напряжений в дисках пил.

Преимущество указанного метода повышения устойчивости дисковых пил по сравнению с методами, применяемыми в настоящее время на деревообрабатывающих предприятиях, позволяет рассматривать задачу определения зависимости величины и распределения температурных и центробежных напряжений, действующих в дисках пил, от формы и размеров компенсационных отверстий, как актуальную и важную для производства задачу.

Критическая температура круглых плоских пил с ослабленной средней зоной

При определении температурных и центробежных напряжений в пиле с ослабленной средней зоной диск инструмента рассматривался состоящим из трех основных частей /рис. 2/:

I - периферийного кольца I с наружным радиусом R_0 , равным радиусу окружности впадин, и внутренним радиусом R_1 ;

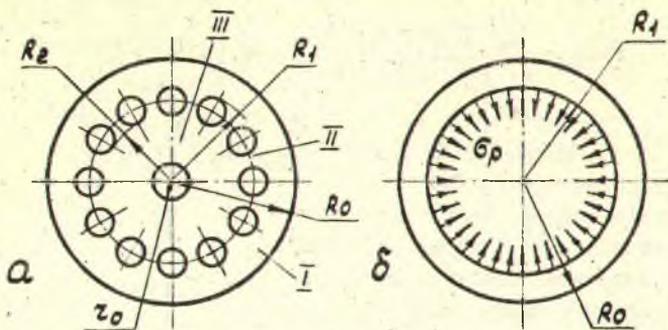


Рис. 2. Схема расчета температурных и центробежных напряжений в периферийном кольце диска пилы с ослабленной средней зоной.

II - ослабленной средней зоны II с наружным радиусом R_1 и внутренним радиусом R_2 ;

III - внутреннего кольца III соответственно с радиусами R_2 и z_0 .

Основной целью расчетов являлось определение характера распределения и величины внутренних радиальных и тангенциальных температурных и центробежных напряжений, действующих в периферийном кольце диска пилы.

Реакция перемычек на периферийное кольцо при увеличении внутреннего диаметра кольца, вызванного действием температурных или центробежных напряжений, представлена в виде равномерно распределенной радиальной нагрузки, приложенной к внутренней поверхности радиуса R_1 . Величина распределенной нагрузки определялась в зависимости от количества перемычек и их радиальной жесткости.

При вращении пилы силы инерции вызывают появление в диске центробежных напряжений. Выражения, определяющие радиальные и тангенциальные центробежные напряжения, действующие в периферийном кольце диска пилы с ослабленной средней зоной, могут быть представлены в виде:

$$\sigma_r^{\omega} = \frac{E}{1-\mu^2} \left\{ \frac{3+\mu}{8} (1-\mu^2) \frac{1}{gE} (R_0 - z_m)^2 \left[a_4^2 + a_5^2 - (z+a)^2 - \frac{a_4 a_5^2}{(z+a)^2} \right] + \frac{6r^{\omega} (1-\mu^2) R_1 a_4}{E(R_0 + R_1)} \left[\frac{a_4^2}{(z+a)^2} - 1 \right] \right\};$$

$$\sigma_r^{\omega} = \frac{E}{1-\mu^2} \left\{ \frac{3+\mu}{8} (1-\mu^2) \frac{\gamma \omega^2}{gE} (R_0 - z_{ш})^2 \left[a_2^2 + a_3^2 - \frac{1+3\mu}{3+\mu} (\alpha + a)^2 + \frac{a_4^2 a_5^2}{(\alpha + a)^2} - \frac{6_p \omega (1-\mu^2) R_1 a_1}{E (R_0 + R_1)} \left[\frac{a_6^2}{(\alpha + a)^2} + 1 \right] \right] \right\};$$

$$\text{где: } a = \frac{z_{ш}}{R_0 - z_{ш}}; \alpha_1 = \frac{R_1}{R_0 - R_1}; a_4 = \frac{R_0}{R_0 - z_{ш}}; a_5 = \frac{R_1}{R_0 - z_{ш}}; a_6 = \frac{R_1}{R_0}$$

E, μ — упругие константы;

γ — удельный вес материала диска пилы;

ω — угловая скорость вращения диска;

g — ускорение силы тяжести;

$z_{ш}$ — радиус зажимных шайб.

Радиальные центробежные напряжения, действующие по внутреннему контуру периферийного кольца, определяются уравнением:

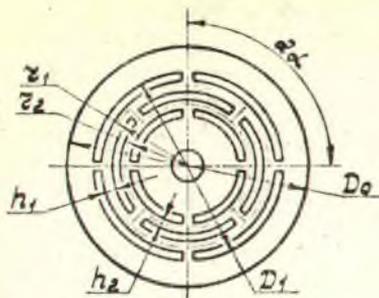
$$\sigma_p^{\omega} = \frac{\kappa_5}{\kappa_6};$$

$$\kappa_5 = -\frac{1-\mu^2}{8} \frac{\gamma \omega^2}{gE} R_1^3 + \frac{3+\mu}{1+\mu} (1-\mu^2) \frac{\gamma \omega^2}{gE} \left[R_0^2 R_1 (1 + a_1^2) + \frac{1+\mu}{1-\mu} R_0^2 R_1 \right] + \frac{1-\mu^2}{8} \frac{\gamma \omega^2}{gE} (R_2 - z_0)^3 (1 + \alpha_3)^3 - \frac{3+\mu}{1-\mu} \frac{1-\mu^2}{8} \times \frac{\gamma \omega^2}{gE} (R_2 - z_0) \left[(z_0^2 + R_2^2)(1 + \alpha_3) + \frac{R_2^2 \alpha_3^2}{1 + \alpha_3} \right];$$

$$\kappa_6 = \frac{R_2 R_1}{E (z_0 + R_2)} \left[(1-\mu)(1 + \alpha_3) + (1+\mu) \frac{\alpha_3^2}{1 + \alpha_3} \right] + \frac{R_1}{E (1 - \alpha_1^2)} \times \left[a_2^2 (1-\mu) + 1 + \mu \right] + \frac{2 R_1 \beta \sin \frac{180^\circ}{n}}{d};$$

Используя полученные зависимости, был выполнен расчет центробежных напряжений, возникающих в периферийном кольце плоской пилы с ослабленной средней зоной /рис. 3/.

Нагрев периферийной зоны круглой пилы приводит к появлению в диске пилы внутренних радиальных и тангенциальных температурных напряжений, действующих параллельно срединной плоскости инструмента и симметрично распределенных относительно оси вращения



$D_0 = 456 \text{ мм}$
 $D_1 = 346 \text{ мм}$
 $b = 25 \text{ мм}$
 $2\alpha = 60^\circ$
 $r_1 = 158 \text{ мм}$
 $r_2 = 138 \text{ мм}$
 $h_1 = 10 \text{ мм}$
 $h_2 = 10 \text{ мм}$

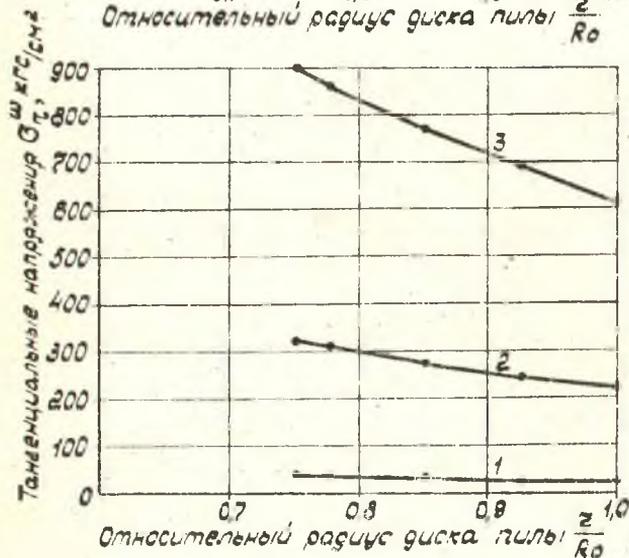
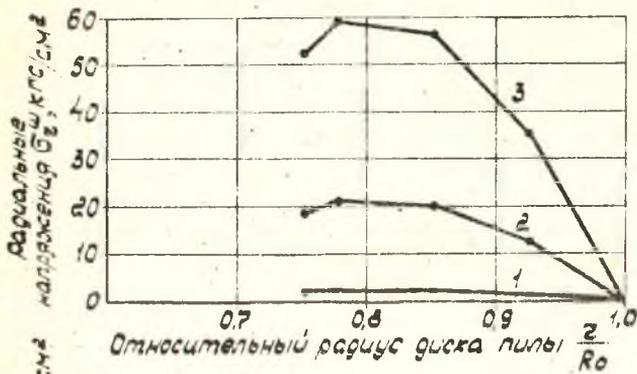


Рис. 3. Распределение центробежных напряжений по радиусу периферийного кольца диска пилы: 1- $n=1000$ об/мин; 2- $n=2000$ об/мин.; 3- $n=5000$ об/мин.

диска. По толщине пилы температурные напряжения действуют симметрично относительно срединной плоскости диска.

Внутреннее кольцо при вычислении тепловых напряжений в периферийном кольце принималось абсолютно жестким.

Вопросы концентрации напряжений около отверстий не рассматривались.

Общие выражения, определяющие величину и распределение тепловых радиальных и тангенциальных напряжений, действующих в периферийном кольце диска пилы с ослабленной средней зоной, имеют вид:

$$\sigma_z^{\theta} = E\alpha_1 \left\{ -\frac{1}{(x+a)^2} \int_{z_{R_1}}^x \theta(z,a) dz + \left[\frac{1}{1+2a} - \frac{a^2}{(1+2a)(x+a)^2} \right] x \right.$$

$$\left. \times \int_{z_{R_1}}^1 \theta(z,a) dz + \frac{\sigma_p a^2 (1+a)^2}{E\alpha_1 (x+a)^2 (1+2a)} - \frac{\sigma_p^{\theta} a^2}{E\alpha_1 (1+2a)} \right\};$$

$$\sigma_r^{\theta} = E\alpha_1 \left\{ -\theta + \frac{1}{(x+a)^2} \int_{z_{R_1}}^x \theta(z,a) dz + \left[\frac{1}{1+2a} + \frac{a^2}{(1+2a)(x+a)^2} \right] x \right.$$

$$\left. \times \int_{z_{R_1}}^1 \theta(z,a) dz - \frac{\sigma_p^{\theta} a^2 (1+a)^2}{E\alpha_1 (x+a)^2 (1+2a)} - \frac{\sigma_p^{\theta} a^2}{E\alpha_1 (1+2a)} \right\};$$

Анализ температурных полей, возникающих в дисках плоских пил, показал, что распределение температуры по радиусу периферийного кольца шириной, составляющей 0,2 - 0,3 от радиуса окружности впадин, может быть описано уравнением

$$\theta = \theta_0 \Pi + \theta_0 (1-\Pi) z_i^p;$$

где θ_0 - температурный перепад между центральной и периферийной зонами диска пилы;

Π, p - параметры, определяющие характер температурного поля по радиусу периферийного кольца.

$$z_i = \frac{z - R_1}{R_0 - R_1};$$

Радиальные температурные напряжения, действующие по внутреннему контуру периферийного кольца при осесимметричном нагреве диска пилы, определяются уравнением

$$\sigma_{\rho}^{\theta} = \frac{2\alpha_1 \theta_0 \left[\frac{1}{2} \Pi(1+2a_1) + \frac{1-\Pi}{\rho+2} + \frac{a_1(1-\Pi)}{\rho+1} \right] - \alpha_1 \rho_0 \Pi \frac{1}{R_1} T}{\frac{2B \sin \frac{180^\circ}{n}}{j} + \frac{1}{E} \left(1 + \mu + \frac{2a_1^2}{1+2a_1} \right)}$$

где T — тепловое радиальное расширение перемычки при коэффициенте линейного расширения, равном единице, и разности температур окружающей среды и периферийного торца перемычки 1°C .

Используя полученные уравнения, был проведен расчет температурных напряжений, действующих в периферийном кольце диска пилы с ослабленной средней зоной /рис. 3/. Результаты вычислений в виде графиков представлены на рис. 4.

Температурный перепад между периферийной и центральной зонами диска пилы, при котором происходит потеря устойчивости, называется критическим температурным перепадом.

В настоящей работе при решении вопроса термоустойчивости пил с ослабленной средней зоной применен энергетический критерий устойчивости, являющийся основой для эффективных приближенных методов решения задач устойчивости.

Функция прогибов диска, потерявшего в результате неравномерного осесимметричного нагрева плоскую форму упругого равновесия, представлена в виде ряда

$$w = \cos(m\varphi) \sum_{i=2}^n \Pi_i \chi_i^i$$

где m — число узловых диаметров;
 φ — текущий угол.

$$\chi_i = \frac{2 - 2u}{R_0 - 2u}$$

Определение минимума функции приращения полной потенциальной энергии проведено по методу Ритца. Значение критического температурного перепада с требуемой точностью определялось путем расщипления определителя

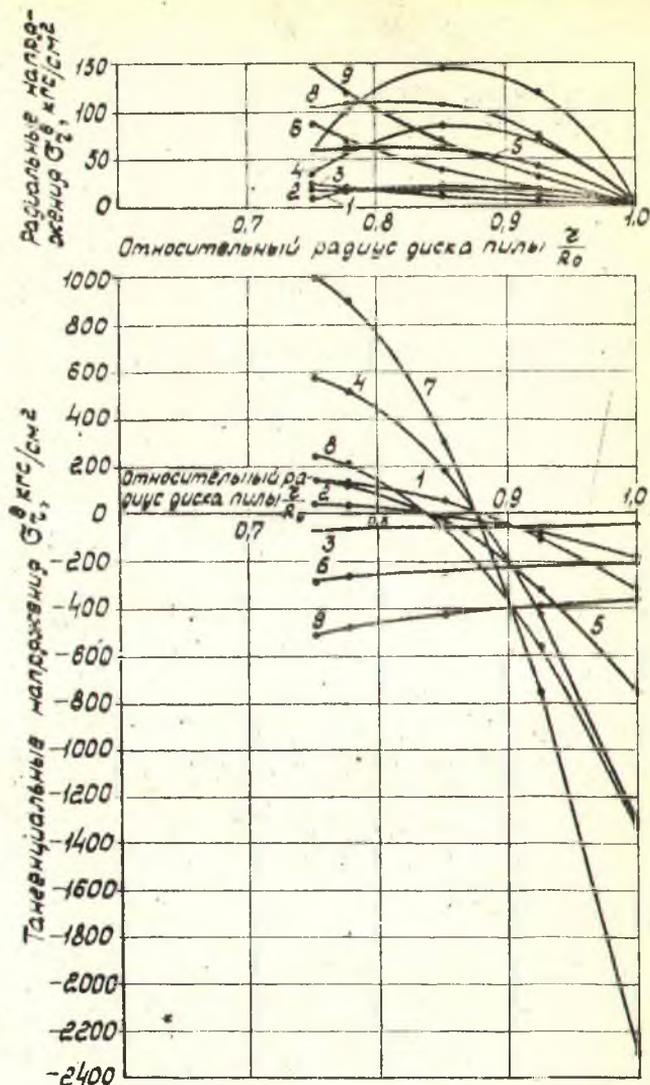


Рис. 4. Распределение температурных напряжений по радиусу периферийного кольца диска пилы с ослабленной средней зоной /рис. 3/;
 1, 2, 3 - $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$, $\mu = 0; 0,5$; 1. 4, 5, 6 - $\theta_0 = 80^\circ\text{C}$, $\mu = 0; 0,5$; 1. 7, 8, 9 - $\theta_0 = 140^\circ\text{C}$, $\mu = 0; 0,5$; 1.

$$\begin{array}{cccccc} \delta_{22} & \delta_{32} & \dots & \delta_{i2} & \dots & \delta_{n2} \\ \delta_{23} & \delta_{33} & \dots & \delta_{i3} & \dots & \delta_{n3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{2k} & \delta_{3k} & \dots & \delta_{ik} & \dots & \delta_{nk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{2n} & \delta_{3n} & \dots & \delta_{in} & \dots & \delta_{nn} \end{array}$$

где

$$\begin{aligned} \delta_{ik} = & \frac{D}{2(\rho_0 - \gamma_{11})^2} \int_0^1 \left\{ \left[i(i-1)(x+a)x^{i-2} + ix^{i-1} - \frac{m^2 x^i}{x+a} \right] g_1 - (1-\mu)(x-1)x \right. \\ & \times kx^{k-2} \left(ix^{i-1} - \frac{m^2 x^i}{x+a} \right) - (1-\mu)i(i-1)x^{i-2}(x+a)g_2 + 2(1-\mu)m^2 \left(\frac{x^i}{x+a} - \right. \\ & \left. \left. - ix^{i-1} \right) g_3 \right\} dx + \frac{\beta}{2} \int_0^1 \left[\sigma_{\Sigma} ix^{i-1} kx^{k-1} (x+a) + \sigma_{\tau} \frac{m^2}{x+a} x^{i+k} \right] dx; \end{aligned}$$

$$i = 2, 3, 4, \dots, n;$$

$$k = 2, 3, 4, \dots, n.$$

Расчеты значений критических температурных перепадов плоских круглых пил с ослабленной средней зоной осуществлялись по специально разработанной программе на электронной вычислительной машине БЭСМ-6. Некоторые значения критических температурных перепадов, полученных для пил с кольцевыми компенсационными отверстиями /рис. 3/, приведены в таблице 1.

На основании проведенных теоретических исследований сделаны следующие выводы:

1. Изменение в практически допустимых пределах толщины диска / β / , коэффициента теплоотдачи боковых поверхностей диска пилы / α_1 / и коэффициента теплопроводности материала диска пилы / λ / не приводит к заметному снижению радиального температурного градиента в дисках плоских пил.

2. Ослабление средней зоны диска пилы компенсационными отверстиями приводит к следующим изменениям напряжений, действующих при нагреве и вращении в периферийном кольце диска пилы:

Таблица 1

Значения критических температурных перепадов $\Delta\theta_{кр}$ /°С/
 для пил с кольцевыми компенсационными отверстиями /рис. 3/
 $/D = 500$ мм, $b = 2.5$ мм, $n = 3000$ об/мин/

z_1 мм	h_1 мм	z_2 мм	h_2 мм	2α				
				45°	60°	72°	90°	120°
158	10	138	10	64	178	220	255	276
		135,5	15	52	144	207	247	272
		133	20	49	135	203	241	271
155,5	15	133	10	33	80	155	214	255
		130,5	15	25	56	106	196	249
		128	20	22	49	90	185	242
153	20	128	10	21	46	86	183	242
		125,5	15	17	34	59	127	221
		123	20	15	28	48	99	205

- радиальные температурные и центробежные напряжения уменьшаются;
- тангенциальные температурные и центробежные напряжения растяжения возрастают;
- сжимающие тангенциальные температурные напряжения уменьшаются.

3. Влияние ослабленной средней зоны на напряженное состояние нагреваемого периферийного кольца возрастает при уменьшении температурного градиента по радиусу периферийного кольца, а также при уменьшении температурного перепада между наружным и внутренним контурами периферийного кольца.

4. Нагрев боковых поверхностей периферийного кольца диска пилы с ослабленной средней зоной в зависимости от размеров компенсационных отверстий и их количества повышает или снижает величину критической температуры инструмента.

5. Наибольшее повышение устойчивости дисковых пил с ослабленной средней зоной достигается при равномерном нагреве периферийного кольца.

6. При некоторых сочетаниях жесткости и количества перемычек величина $\Phi_{кр}$ не зависит от характера распределения температуры по радиусу периферийного кольца.

Экспериментальное исследование влияния компенсационных
отверстий и прорезей на распределение температурных
напряжений в дисках из оптически чувствительного
материала ЭД-6М

В настоящей работе исследование температурных напряжений проводилось методом фототермоупругости. Метод фотоупругости или поляризационно-оптический метод занимает особое положение среди экспериментальных методов исследования напряженного состояния деталей. Он позволяет быстро и точно решать сложные практические задачи, определять действительное напряженное состояние в объеме исследуемых объектов, давая одновременно наглядную картину распределения напряжений. Исключительная наглядность данного метода выгодно отличает его от всех других методов исследования напряжений. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений имеет следующие существенные преимущества по сравнению с методами, позволяющими исследовать напряжения на реальных объектах:

- снимаются ограничения из-за сложности формы и наличия зон концентрации напряжений;
- модели из пластмассы легче изготовить и на них удобнее проводить эксперименты в лабораторных условиях;
- измерения поляризационно-оптическим методом позволяют получить поля напряжений по поверхности и объему модели при различных способах ее нагружения.

Поляризационный метод основан на свойстве большинства прозрачных оптически изотропных материалов становится двоякопреломляющими при деформации от действия внешних или внутренних напряжений.

Несмотря на важность задачи исследования тепловых напряжений методом фотоупругости, имеется немного опубликованных работ, посвященных данной теме. Это обстоятельство связано: с трудностями моделирования в моделях из оптически чувствительного материала температурных полей, подобных температурным полям, имеющих место в реальных конструкциях и деталях; со значительным влиянием повышенной температуры на оптические и механические свойства прозрачных оптически чувствительных материалов; с трудностями выполнения измерений.

В проведенных исследованиях модели были выполнены из высоко-модульного оптически чувствительного материала ЭД-6М, изготовлен-

ного на основе эпоксидной смолы ЭД-6. Указанный материал прозрачен, обладает высокой оптической чувствительностью, оптически и физически изотропен, в определенных диапазонах температур имеет линейную зависимость между напряжением и деформациями, легко обрабатывается.

Одним из основных свойств оптически чувствительных материалов, применяемых при исследовании напряжений поляризационно-оптическим методом, является их оптическая чувствительность, характеризующаяся ценой интерференционной полосы материала. Определение цены полосы полученного материала - тарировка материала - осуществлялось путем нахождения порядка полос в центре диаметрально светлого тарировочного диска диаметром 50 мм и толщиной 5 мм. Тарировка производилась на поляризационной установке в условиях круговой поляризации в монохроматическом и белом свете. Диаметрально светлые тарировочного диска осуществлялось посредством специального нагружающего устройства. Величина сжимающей силы определялась по диафрагме светящего типа ЛПУ-2.

Проведенные наблюдения за образованием и перемещением полос в тарировочном диске при постепенном увеличении сжимающего усилия позволили определить порядок полос в центре диска при различных сжимающих усилиях. В результате получено среднее значение цены полосы оптически чувствительного материала ЭД-6М.

$$\sigma_0^{(10)} = 10,2 \text{ кгс/см}^2.$$

Упругие свойства материала ЭД-6М претерпевают ряд существенных изменений по мере роста температуры нагрева модели. Исследованиями Савченко В.И. установлено, что оптически чувствительный материал ЭД-6М в диапазоне температур от 0°C до 70°C является упругим материалом. Поэтому изучение распределения температурных напряжений проводилось при нагреве моделей до температуры, не превышающей 70°C.

Примененная методика изготовления заготовок для моделей, их отжиг, а также правильно выбранные методы и режимы окончательной механической обработки позволили получить модели, в которых к моменту исследования полностью отсутствовали внутренние остаточные напряжения и краевой эффект времени.

Необходимым условием применения метода фотоупругости для исследования влияния отверстий и радиальных компенсационных прорезей на величину и распределение температурных напряжений в дисках круглых плоских пил является создание в геометрически подоб-

ной модели из оптически чувствительного материала ЭД-6М температурного поля, аналогичного температурному полю, возникающему в диске работающей круглой пилы. С целью выяснения возможности моделирования требуемых температурных полей в дисках из ЭД-6М были проведены экспериментальные исследования распределения температуры по радиусу диска модели. В качестве исследуемого образца был принят диск из ЭД-6М с наружным диаметром 112,5 мм, внутренним диаметром 30 мм и толщиной 10 мм. Измерение температуры в диске модели осуществлялось медноконстантовыми термопарами.

Результаты измерения температуры в разных точках диска модели при свободном конвективном теплообмене на боковых поверхностях модели представлены в виде графика 1 на рис. 5. Полученное распределение температуры по радиусу диска модели с достаточной степенью точности может быть описано уравнением параболы четвертой степени

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta \rho^4;$$

где θ_0 - температура окружающей среды;
 $\Delta\theta$ - разность температур периферийной и центральной зон диска модели;

$$\rho = \frac{z}{R_0};$$

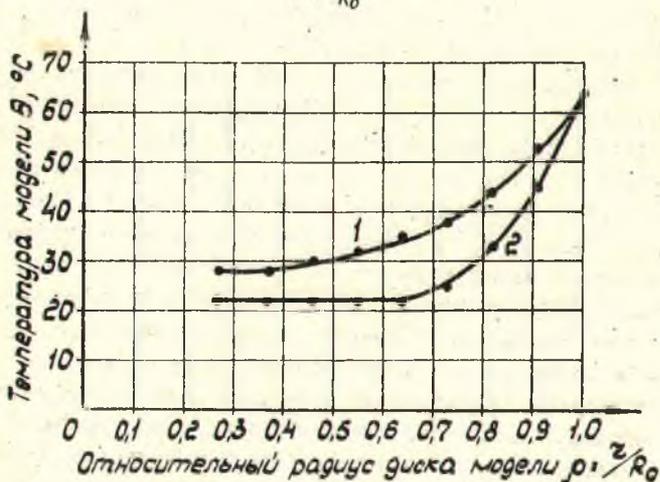


Рис. 5. Распределение температуры по радиусу диска модели: 1 - без обдува боковых поверхностей; 2 - при обдуве боковых поверхностей.

С целью получения в модели температурного поля с более высоким радиальным температурным градиентом был применен обдув боковых поверхностей диска модели, позволивший увеличить теплоотдачу с боковых поверхностей исследуемого диска. Обдув обеих боковых поверхностей модели осуществлялся из расположенной в центральном отверстии диска насадки, являющейся одновременно базой нагреваемого диска.

Температурное поле, возникающее в диске модели, при нагреве периферийной зоны до 60°C и при охлаждении боковых поверхностей модели путем обдува воздухом, имеющим температуру 22°C , представлено в виде графика 2 на рис. 5. Полученное распределение температуры по радиусу диска модели описывается уравнением параболы шестой степени. Данное температурное поле подобно температурным полям, возникающим в дисках плоских пил при распиловке древесины. Данное обстоятельство обуславливает возможность применения метода фотоупругости для исследований распределения температурных напряжений в дисках плоских пил обычной конструкции и в дисках пил с компенсационными отверстиями и прорезями.

Исследование моделей осуществлялись на полярископе производства фирмы "Карл Цейс" /ГДР/. Данное поляризационное устройство предназначено для наблюдения за общей картиной напряженного состояния исследуемых моделей, для определения методом полос или сопоставления цветов разности главных напряжений в отдельных сечениях или точках моделей, а также для определения траектории главных напряжений — изоклин.

Нагрев периферии дисков производился спиралью из константовой проволоки, намотанной на разрезное кольцо, выполненное из ЭД-6М. Температура нагрева цилиндрической поверхности модели контролировалась при помощи двух медно-константовых термопар, радиально установленных в каркасе нагревающего кольца.

В процессе проведения эксперимента изучалось влияние семи видов компенсационных отверстий и влияние 3-х, 4-х, 8-и, 12-и, 16-и периферийных радиальных компенсационных прорезей, глубиной, составляющей 0,1 и 0,2 от наружного радиуса модели, на распределение и величину нормальных температурных напряжений.

Исследование напряженного состояния нагреваемых моделей из ЭД-6М проводилось при выполнении условий, обеспечивающих образование в диске модели стационарного температурного поля, подобно температурному полю, возникающему в диске работающей пилы.

Просвечивание неравномерно нагретых моделей на полярископе при плоской и круговой поляризации белого и монохроматического света позволило:

- установить характер образования, перемещения и формоизменения интерференционных полос, представляющих собой геометрическое место точек с одинаковой разностью главных нормальных напряжений;

- определить форму изоклин различных параметров - линий, имеющих независимо от применяемого света черную окраску и являющихся геометрическим местом точек, в которых направление одного из главных напряжений совпадает по направлению с плоскостью поляризации полярископа.

Разделение главных напряжений осуществлялось путем численного интегрирования уравнений равновесия Ляме-Максвелла вдоль траекторий главных напряжений - изостат. Данный метод предусматривает совместное использование полученных картин полос и изоклин.

Полученные в результате расшифровки экспериментальных данных графики распределения температурных нормальных напряжений, действующих вдоль радиуса периферийного кольца модели с ослабленной средней зоной, представлены на рис. 6. На данном рисунке представлены также графики распределения радиальных и тангенциальных температурных напряжений по радиусу аналогичной модели, полученные путем расчета по методике, изложенной во второй главе настоящей работы.

Вычисленные значения корреляционного отношения показали, что экспериментальные и теоретические зависимости совпадают вполне удовлетворительно. Величины корреляционных отношений для всех исследуемых моделей находятся в пределах 0,949 - 0,995.

На рис. 7. представлены графики распределения тангенциальных температурных напряжений, действующих в неравномерно нагретых моделях по радиусу, проведенному посередине между соседними радиальными периферийными компенсационными прорезями.

Анализ результатов, полученных при исследовании методом фотоупругости моделей с периферийными компенсационными прорезями, показал, что оптимальным количеством прорезей при длине прорезей $0,1 R_0$ и $0,2 R_0$ являются соответственно 12 и 8 прорезей. Дальнейшее увеличение количества прорезей не приводит к заметному уменьшению сжимающих тангенциальных температурных напряжений.

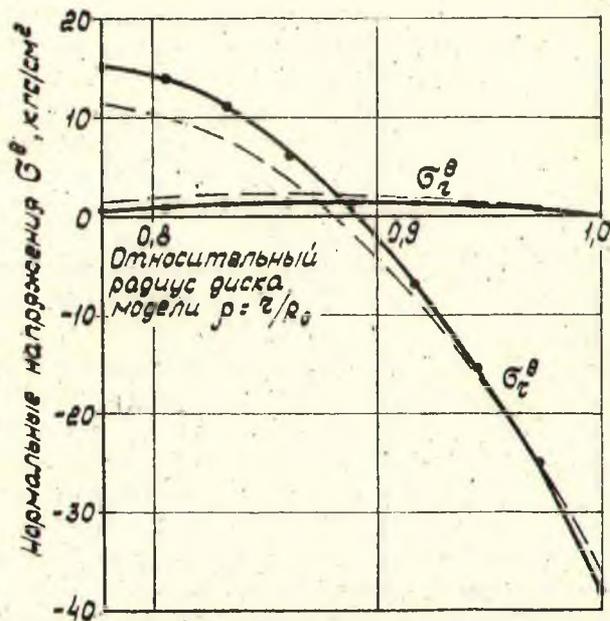
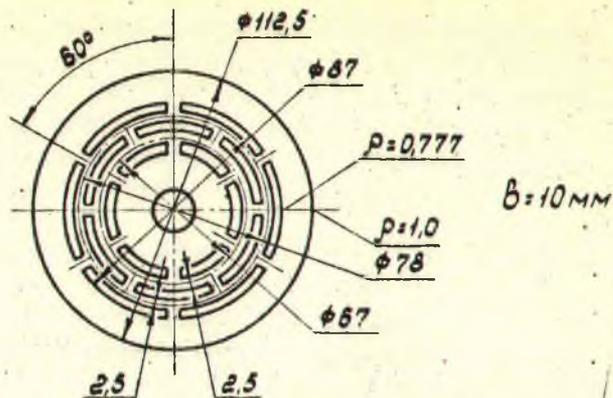


Рис. 6. Распределение радиальных σ_r и тангенциальных σ_t температурных напряжений по радиусу периферийного кольца модели;

————— экспериментальные зависимости
 - - - - - теоретические зависимости.

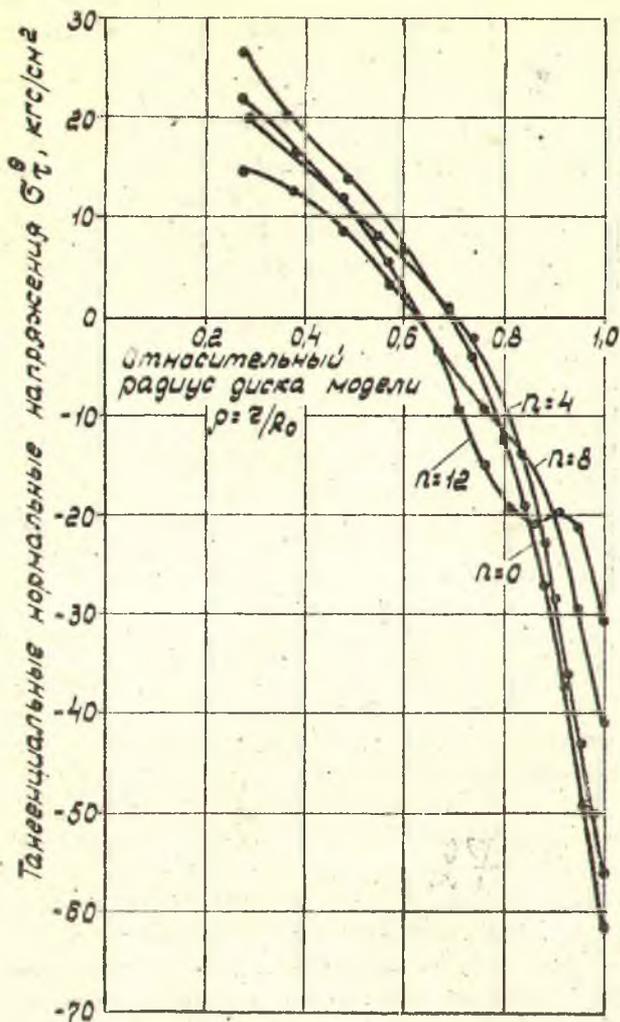


Рис. 7. Распределение тангенциальных температурных напряжений σ_{τ} по радиусу модели с периферийными компенсационными прорезями $l = 0,1 R_0$.

Принятое в настоящее время количество компенсационных радиальных прорезей в дисках плоских пил /3-4 прорези/ не является достаточным для обеспечения устойчивой работы дисковых пил.

Экспериментальное определение критической температуры круглых плоских пил

Для подтверждения основных результатов, полученных аналитическими методами, были проведены экспериментальные исследования плоских круглых пил. Основной целью экспериментов являлось определение величины критических температурных перепадов между периферийными и центральными зонами дисков пил.

Для экспериментальных исследований были выбраны непрокованная плоская круглая пила диаметром 500 мм толщиной 2,5 мм и круглая пила аналогичных размеров с ослабленной средней зоной. Ослабление средней зоны исследуемой пилы осуществлялось путем выполнения кольцевых отверстий, расположенных по трем concentрическим окружностям. Размеры и количество компенсационных отверстий выбирались, исходя из условия получения инструмента, критическая температура которого не зависит от характера распределения температуры по радиусу периферийного кольца.

Перед проведением экспериментальных исследований круглые пилы были подвергнуты статической балансировке на специальном балансировочном устройстве, разработанном в лаборатории станков и инструментов УкрНИИМОД. Данное устройство позволило определить зону расположения и величину имеющейся несбалансированной массы в дисках пил. Необходимое количество несбалансированного металла было удалено путем обработки абразивным кругом спинки зубьев и дна впадин. Остаточный дебаланс в пилах, прошедших балансировку, не превышал Эгссм.

Исследование плоских круглых пил проводилось на специально созданной экспериментальной установке, принципиальная электро-механическая схема которой приведена на рис. 8. Исследуемый диск пилы I устанавливался на консольной части вращающегося вала 2 и зажимался при помощи гайки между двумя шайбами диаметром 120 мм. Основной несущий вал расположен горизонтально на двух радиальных шарикоподшипниках. Вращение вала с исследуемым инструментом осуществлялось через клиноременную передачу 3 от двигателя постоянного тока 16 типа ПНФ-2,5. Регулировка скорости вращения диска пилы производилась путем изменения напряжения, подаваемого на

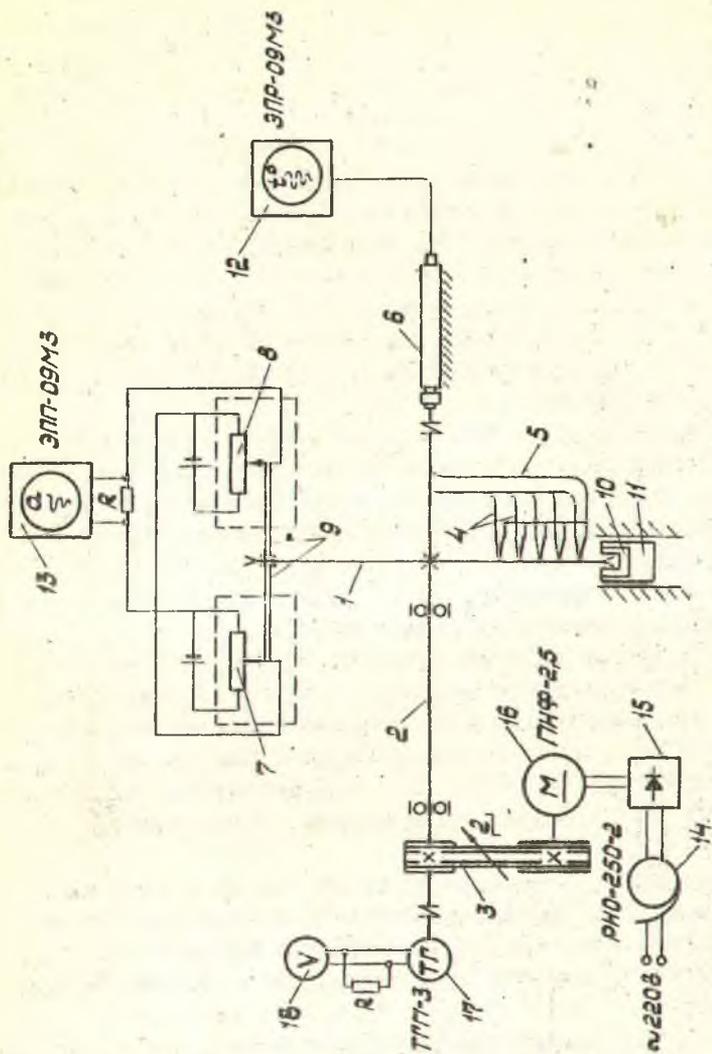


Рис. 8. Принципиальная электромеханическая схема экспериментальной установки.

двигатель, а также путем установки различного передаточного отношения клиноременной передачи. Данные методы регулировки позволяют изменять скорость вращения исследуемого инструмента в диапазоне от 0 до 6000 об/мин. Измерение скорости вращения вала осуществлялось при помощи тахогенератора постоянного тока 17 типа ТП-3, ротор которого соединен с основным валом. Нагрев периферии диска пилы осуществлялся при помощи ацетилено-кислородной горелки, закрепляемой на расстоянии 70 мм от боковых поверхностей периферийной зоны пилы. Величина осевого отклонения периферийных колец вращающихся и нагреваемых исследуемых пил определялась при помощи контактно-потенциметрических измерительных устройств 7, 8, каждое из которых состоит из кронштейна с изнашиваемыми контактирующим элементом, потенциметрического датчика, пружины и демфера.

При вращении диска пилы контактирующие элементы скользят по наиболее отклоненным в осевом направлении участкам периферийной зоны диска пилы. При тепловой деформации диска осуществляется поворот кронштейнов на угол, пропорциональный величине отклонения периферийной зоны пилы. Запись величины осевого отклонения периферийной зоны исследуемой пилы осуществлялась автоматическим самопишущим потенциметром 13 типа ЭПП-09М3.

Рамах осевых колебаний зубчатого венца исследуемых пил определялся также по ширине пропилов, полученных в контрольных образцах 10, закрепляемых в направляюще-базирующем устройстве 11. Контрольные образцы с целью уменьшения силы резания и исключения демпфирования колебаний пилы стенками пропила выполнялись из парафина и представляли собой параллелепипеды размером 30 x 20 x 6 мм.

В процессе проведения эксперимента образцы жестко закреплялись в подставке и, перемещаясь вместе с ним в прямоугольных направляющих, устанавливались по отношению к диску таким образом, что зубья вращающейся пилы производили в образцах пропилы глубиной 10 мм.

Определение температуры пилы осуществлялось при помощи медно-константановых термопар. Измерение термо э.д.с. производилось с помощью электронного двенадцатиточечного потенциметра 12 типа ЭПР-09М3.

Подключение термопар, расположенных на вращающемся диске пилы, к измерительному прибору осуществлялось по, так называемой,

однопроводной схеме включения. В указанной схеме включения термоэлектрод 5 является общим для всех термопар и выведен к токосъемному устройству одним отводом, а электроды 4 подводятся каждый в отдельности.

Поочередное включение термопар к измерительной схеме осуществлялось при помощи переключающего устройства автоматического потенциометра. В качестве токосъемного устройства был применен ртутный многоканальный токосъемник 6 типа РТ-1. Имея малые контактные э.д.с., данное устройство практически не изменяет величины термо э.д.с. измерительных термопар.

Кинематическая связь между основным валом и ротором токосъемника осуществлялась при помощи упругой муфты, позволяющей компенсировать неточности установки токосъемника.

Электродвигатель, корпуса подшипников основного вала, измерительные и нагревающие устройства закреплены на базовой плите, установленной на массивном бетонном основании.

Измерение ширины пропила в образцах осуществлялось после проведения эксперимента при помощи оптической трубки Бринеля.

Определение формы коробления вращающегося и нагреваемого диска пилы осуществлялось путем визуального наблюдения за диском при освещении его стробоскопическим источником света.

Анализ полученных материалов показывает, что диски с внутренними компенсационными отверстиями обладают повышенной тепловой устойчивостью и сохраняют плоскую форму упругого равновесия при температуре, являющейся критической для цельных дисков пил.

Существенное влияние на устойчивость круглых пил оказывает скорость вращения инструмента. Одинаковое увеличение скорости вращения цельной пилы и пилы с компенсационными отверстиями повышает величину критического температурного перепада у пилы с ослабленной средней зоной в большей степени, чем у цельной круглой пилы. При вращении пилы с ослабленной средней зоной со скоростью 3000 об/мин нагрев ее периферийной зоны в течение 45 минут не привел к потере диском плоской формы устойчивости. Максимальная температура нагрева при этом достигала 150°C.

Проведенные исследования показали, что после потери дисками пил плоской формы устойчивости при продолжении нагрева наблюдается интенсивное увеличение ширины пропила. Скорость приращенная ширины пропила у пилы с ослабленной средней зоной выше, чем у пилы без компенсационных отверстий.

Деформации цельного диска пилы и периферийного кольца диска пилы с компенсационными отверстиями при температурных перепадах, превышающих критические температурные перепады, происходили по второй верной форме с образованием двух недеформированных диаметров.

Полученные в результате экспериментальных наблюдений значения критических температурных перепадов плоской круглой пилы с ослабленной средней зоной вполне удовлетворительно совпадают с полученными ранее теоретическими значениями.

Общие выводы

1. Поведение круглой пилы в пропиле при распиловке древесины зависит от величины и характера распределения внутренних нормальных напряжений, действующих в диске.

Наибольшее влияние на поведение пилы оказывают температурные сжимающие напряжения. Причиной возникновения указанных напряжений является температурный перепад между периферийной и центральной зонами диска пилы. В результате действия температурных напряжений понижается собственная частота колебаний диска, расширяются области динамической неустойчивости, происходит потеря диском плоской формы устойчивости. В итоге ширина пропила увеличивается, ухудшается качество получаемых поверхностей, растет потребляемая мощность.

2. Проведенный анализ показал, что применяемые в настоящее время на деревообрабатывающих предприятиях методы подготовки круглых плоских пил /проковка и вальцовка/ имеют ряд недостатков и не обеспечивают устойчивую работу инструмента, поэтому разработка новых методов повышения устойчивости круглых плоских пил является актуальной и важной для производства задачей.

3. Теоретические исследования показали, что ослабление средней зоны диска пилы позволяет практически исключить влияние температурных напряжений на поведение пилы в пропиле.

4. Наибольшее повышение устойчивости круглых плоских пил может быть достигнуто при ослаблении средней зоны диска компенсационными отверстиями, показанными на рис. 1 г, д, е.

5. Ослабление средней зоны диска пилы отверстиями, показанными на рис. 1 б, ж, з, вследствие большой радиальной жесткости получаемых перемычек не приводит к заметному увеличению устойчивости инструмента.

6. Периферийные компенсационные радиальные прорези оказывают существенное влияние на величину и распределение температурных напряжений, возникающих при распиловке материала в периферийных зонах дисков плоских пил. Оптимальным количеством радиальных прорезей с точки зрения уменьшения сжимающих температурных напряжений является 8 прорезей длиной $0,2 R_0$ и 12 прорезей длиной $0,1 R_0$, / R_0 — радиус окружности впадин/.

7. Разработанная методика теоретического анализа напряженного состояния и устойчивости круглых плоских пил с ослабленной средней зоной позволяет изучать влияние отверстий рассмотренных форм и различных размеров на величину и распределение сжимающих температурных напряжений, а также на устойчивость круглых пил любых типоразмеров. Полученные данные позволяют объективно решать вопросы, связанные с выбором формы и размеров компенсационных отверстий.

8. Составленные и отработанные программы расчета позволяют эффективно, с применением современной вычислительной техники осуществлять анализ влияния различных конструктивных и режимных параметров на:

- распределение температуры по радиусам круглых плоских пил;
- жесткость перемычек между компенсационными отверстиями;
- величину критической температуры круглых пил с ослабленной средней зоной.

Полученные программы могут быть использованы при разработке новых конструкций пил с компенсационными отверстиями.

9. При теоретическом исследовании устойчивости круглых плоских пил целесообразно применение приближенных методов вычислений, обеспечивающих достаточно высокую точность получаемых результатов при относительно невысокой трудоемкости.

10. Поляризационно-оптический метод позволяет эффективно решать задачи, связанные с исследованием термонапряженного состояния плоских дисков с компенсационными отверстиями и прорезями.

11. В работе приведены практические рекомендации по выбору конструктивных параметров круглых пил с компенсационными отверстиями.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. Моделирование температурных полей в дисках из оптически активного материала ЭД-6М. Сборник научных трудов молодых специалистов, Киев, УкрНИИМОД, 1970.

2. Расчет температурных напряжений в диске плоской пилы с эластичной средней зоной. Материалы четвертой научно-технической конференции. Киев, УкрНИИМОД, 1971.

3. Исследование влияния радиальных прорезей на тепловые напряжения в дисках плоских пил. Материалы второй конференции молодых специалистов и ученых. М.; ВНИИДМАШ, 1971.

4. Экспериментальное исследование плоских дисковых пил с эластичной средней зоной. Материалы пятой научно-технической конференции. Киев, УкрНИИМОД, 1972.

5. О расчете температурных напряжений в дисках круглых плоских пил. В сб. "Новое в технике и технологии деревообработки". Вып. 25. Под общей ред. Гарасевича Г.И. М., изд-во "Лесная промышленность", 1972.

6. Определение критической температуры пил с эластичной средней зоной. Тезисы научно-технической конференции "Совершенствование техники и технологии деревообрабатывающей промышленности". Киев, УкрНИИМОД, 1974.

Основные положения диссертации доложены на научно-технических конференциях аспирантов, соискателей и молодых специалистов /г. Киев, УкрНИИМОД, 1969-1972 гг./, на второй научно-технической конференции молодых специалистов и ученых /г. Москва, ВНИИДМАШ, 1972 г./, а также на научно-технической конференции "Совершенствование техники и технологии деревообрабатывающей промышленности" /г. Киев, УкрНИИМОД, 1974 г./.

БФ 20031, 4. XII-74 г., зак. 969, тир. 120, об"ем 2 I/4п.л.

ОКМІ РВЦ ЦСУ УССР