

494614

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской
Революции и ордена Трудового Красного Знамени
государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана

На правах рукописи

БЛАЖИЕВСКИЙ Петр Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КАМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ
МАШИН

05.03.01 - Процессы механической и физико-
технической обработки, станки и инструменты

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1991

Работа выполнена в Хмельницком технологическом институте

Научный руководитель - к.т.н., профессор ПОПОВ С.А.

Научный консультант - к.т.н., доцент КОНДРАТЮК В.И.

Официальные оппоненты - д.т.н., с.н.с. ЯРОСЛАВЦЕВ В.М.

к.т.н., с.н.с. СЫЧЕВ Ю.И.

Будущее предприятие - НПО Ленбуммаш

Защита состоится "28" февраля 1991 г. на заседании специализированного Совета К.053.15.15 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., дом. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

печатью учреждения,

1991 г.

С.Мещеряков

л. Тираж 100 экз.
у.мана

М 494617

Актуальность работы. Устойчивой тенденцией промышленного развития на современном этапе является расширение круга конструктивных материалов. Природный камень, прежде всего твердых пород, обладает уникальным комплексом свойств по сравнению с традиционными материалами. В частности, удельный вес и температурный коэффициент линейного расширения гранита в 2-3 раза ниже, чем у стали и чугуна, а демпфирующая способность и износостойкость на порядок выше, чем у последнего. Важными свойствами являются также: пассивность к воздействию электромагнитных полей и агрессивных сред, отсутствие внутренних напряжений.

Значительные промышленные запасы блочного камня, наряду с указанными свойствами, способствуют расширению номенклатуры и объемов выпуска каменных деталей. Основными их производителями, после химического машиностроения, становятся прецизионное станко- и приборостроение, метрологическая и электронная промышленность.

Наиболее трудоемким этапом изготовления деталей является предварительное формообразование в связи с тем, что в машиностроении применяют заготовки только из твердых пород камня с припусками на порядок большими, чем у металлических заготовок. Существующая технология черновой обработки базируется, в основном, на методах, известных в строительстве и горном деле. При этом не учитывается влияние технологической наследственности на эксплуатационные свойства деталей. В результате снижается надежность работы соответствующих машин. Например, после обточки шарошкой с последующим шлифованием, период наработки прессовых гранитных валов на отказ меньше регламентированного и на бумажных комбинатах их часто перешлифовывают. Потери бумажного подотна за каждый час простоя только одной машины - около 200 тыс.м².

Минимальную глубину поверхностного дефектного слоя обеспечивает обработка алмазно-абразивным инструментом. Однако, предварительное формообразование деталей с удалением больших объемов камня абразивным резанием характеризуется высоким расходом энергии и алмазов.

Учитывая хрупкие свойства камня, предпочтительна комбинированная схема удаления припуска, за счет образования в нем канавок алмазным резанием и отделения межканавочного (скальваемого) слоя от заготовки скальванием.

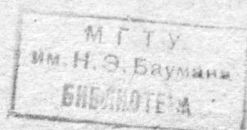
Целью работы является повышение эффективности процесса предварительного формообразования каменных деталей машин применением комбинированных методов удаления припуска, совмещающих алмазно-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1497617

Блажиевский П.В. Исследования



абразивное резание и скалывание.

Задачи исследований. Известные в строительстве и горном деле, комбинированные инструменты работоспособны, в основном, по мягким и средней твердости породам камня. Исходя из того, что процесс алмазно-скалывающей обработки твердокаменных пород не изучен и для формообразования каменных деталей машин предлагается впервые, в настоящей работе решаются следующие задачи:

1. Теоретическое обоснование выбора рациональных методов алмазно-скалывающей обработки заготовок из твердых пород камня на основе изучения особенностей механики процесса.

2. Расчет основных геометрических параметров и разработка конструкций комбинированных инструментов.

3. Экспериментальное исследование влияния геометрии инструментов и условий обработки на ее энергоемкость.

4. Разработка технологических приемов формообразования плоскостей станин прецизионного оборудования и периферии руслек пресовых валов.

5. Разработка практических рекомендаций по внедрению малооперационной технологии обработки крупных цилиндрических заготовок на универсальном металлорежущем станке.

Методы исследований. Анализ кинематики процесса обработки выполнен на основе разработанной классификации схем комбинированного резания. Теоретические исследования закономерностей отделения скалываемого слоя и расчеты геометрических параметров скалывателя базировались на допущениях классической теории изгиба пластин в интерпретации метода конечных элементов. Исследования обеспечивались разработанным пакетом прикладных программ, реализованных на ЭВМ ЕС-1036 и ЕС-1045. Адекватность расчетных оценок проверялась в условиях физического моделирования и натурных экспериментов. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами математической статистики.

Научная новизна. Применительно к процессам формообразования наружных плоских и цилиндрических поверхностей каменных деталей впервые предложена классификация комбинированных схем удаления припуска, совмещающих алмазно-абразивное резание и скалывание. Разработана методика выбора рациональной схемы обработки по критериям относительной силы и геометрии откола. Выявлены экспериментальные зависимости энергетических показателей алмазно-скалывающей обработки от условий ее осуществления, геометрических и

конструктивных параметров инструмента. Обнаружено существование для каждой схемы предельной осевой глубины обработки, обусловленной переходом к нерегулярному характеру и повышенной энергоемкости процесса отделения скальваемого слоя. Разработана оригинальная методика расчета минимальных значений толщины и угла заострения дискового скальвателя комбинированного инструмента.

Практическая ценность. Теоретическими и экспериментальными исследованиями обосновано предпочтение в использовании совмещенной многопроходной и последовательно-совмещенной схем обработки. Разработаны защищены 4 авторскими свидетельствами конструкции периферийных и торцовых инструментов трех различных типов, в зависимости от исполнения скальвающих элементов; определены области рационального применения каждого типа, а также критерии затупления их режущих и скальвающих элементов. Применительно к крупным валам разработаны и защищены авторскими свидетельствами методы обработки заготовок круглого и квадратного сечения однодисковым инструментом. Даны рекомендации по построению рациональной структуры операции черновой обработки плоскостей станин прецизионных сверлильных станков. Разработана малооперационная технология обработки периферии гранитной рубашки прессовых валов, а также необходимые устройства (перебор, блок автоматического управления) для ее осуществления на вальцешлифовальном станке. Результаты исследований прошли производственные испытания на НПО "Ротор" (Черкассы) и ПО Днепротяжбуммаш им.Артема (Днепропетровск). Годовой экономический эффект от внедрения на последнем составил 58 тыс.руб.

Апробация работы и публикации. По результатам работы опубликовано 7 статей и тезисов докладов, получено 6 авторских свидетельств и положительных решений на их выдачу.

Основные положения диссертации докладывались на: научно-технической конференции в ИСМ АН УССР "Разработка и внедрение высокопроизводительных технологий обработки защитных покрытий", Киев, 1987; республиканском научном семинаре "Интенсификация и оптимизация обработки резанием конструкционных материалов", Львов, 1988; Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки", Москва, 1988; научно-технической конференции Джамбулского технологического института, Джамбул, 1989; XV межвузовском семинаре по механике, Хмельницкий, 1990; научно-технической конференции с международным участием "Камнеобработка на Украине", Киев, 1990;

заседаниях научных семинаров кафедр МТ-I МГТУ им.Н.Э.Баумана и технологии машиностроения ХТИ. Разработки экспонировались на ВДНХ СССР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 79 рисунков, 17 таблиц, список литературы из 161 наименования и 7 приложений. Общий объем работы 250 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, определена ее цель, приведены краткие результаты.

В первой главе дан анализ современного состояния производства каменных деталей машин, а также методов и инструментов для формообразования архитектурно-строительных изделий и горных выработок.

Показано, что детали из природного камня получили широкое распространение в технике, особенно в качестве базовых элементов и рабочих органов машин. Поэтому требования к точности их формы и качеству поверхностей существенно отличаются от принятых в строительстве. Большинство деталей имеет простую призматическую или цилиндрическую форму и по общемашиностроительной классификации А.П. Соколоцкого относится к классам: плит, балок, валов и дисков.

Предварительное формообразование заготовок из твердых пород камня характеризуется трудоемкостью и осуществляется известными в металлообработке, строительстве и горном деле методами и инструментами. Лезвийным резанием обрабатывают только поверхности малой площади и в труднодоступных местах, из-за низкой производительности и стойкости инструмента. При использовании высокопроизводительных горных инструментов и физических методов удаления припуска образуется рыхлый поверхностный слой. Алмазно-абразивные инструменты - износостойки и обеспечивают высокое качество обработанной поверхности.

Но для удаления больших объемов припуска предпочтительны комбинированные инструменты, совмещающие алмазное резание и скалывание. Инструменты, разработанные сотрудниками ИСМ АН УССР, Карагандинского политехнического института ВНИИалмаза, ЦКБтяжмаш, УкрНИИСтромпроект, фирм "Winter", "Gahn Kolb", Ганноверского технического университета предназначены для обработки в основном мягких и средней твердости пород камня и бетона.

Основное внимание большинство исследователей процессов обработки комбинированными инструментами уделяют алмазному резанию. В отдельных работах содержатся расчеты геометрических параметров комбинированного инструмента с учетом действующих на него сил при скалывании камня. Однако, расчеты выполнены применительно к условиям комбайновой проходки выработок в мягких породах. При обработке наружных поверхностей заготовок из твердых пород камня условия взаимодействия инструмента с припуском существенно отличаются.

На основании проведенного анализа литературных источников и, исходя из цели обеспечения высокой производительности и качества обработки при малой энерго- и алмазоемкости, сформулированы задачи настоящих исследований.

Во второй главе содержатся теоретические исследования особенностей механики процесса алмазно-скалывающей обработки заготовок из твердокаменных пород, а также проверка адекватности расчетных оценок в условиях физического моделирования и натурных экспериментов.

Структура комбинированной схемы резания включает два основных процесса: 1) образование скалываемого слоя при разделении припуска на части, за счет прорезки в нем канавок алмазно-абразивными элементами инструмента; 2) отделение скалываемого слоя от заготовки при воздействии на него скалывающих элементов инструмента.

Применительно к формообразованию наружных плоских и цилиндрических поверхностей вращающимся инструментом, разработана классификация методов разделения припуска. Признаками для классификации являются: количество и тип размерных параметров (толщина, ширина, длина) припуска, по которым происходит его разделение, а также исполнение инструмента (периферийный, торцовый). Среди комбинированных методов рассмотрены только те, при которых дно или стенка разделительной канавки совпадают с контуром обработанной поверхности. Показано, что периферийный инструмент разделяет припуск только за счет движения подачи и его технологические возможности шире, чем у торцового.

Критерием классификации схем обработки является порядок совмещения процессов образования и отделения скалываемого слоя. Для последовательной характерна независимая реализация указанных процессов с использованием множества различных методов и инструментов, рассмотрение которых не входит в рамки настоящей работы.

Обработка по рассмотренным вариантам совмещенных, смешанных схем выполняется комбинированными инструментами, содержащими отрезной алмазный круг и, установленный соосно с ним, скалыватель в форме усеченного конуса. При совмещенной однопроходной (СО) схеме скалываемый слой отделяется по мере его образования в течение одного прохода инструмента (рис.1). Особенностью многопроходного варианта этой схемы (СМ) является образование скалываемого слоя за несколько проходов, включая текущий, на котором происходит его отделение. При последовательно-совмещенной однопроходной (ПСО) схеме процессы образования и отделения скалываемого слоя осуществляются одновременно, но не в таком проходе отделяется слой, образованный на предыдущем. Многопроходный вариант этой схемы не рассматривался, так как геометрия скалываемого слоя и, очевидно, закономерности его отделения не изменяются по сравнению с однопроходным.

Определены условия выбора основных геометрических параметров инструмента, обеспечивающих реализацию заданной схемы обработки:

- совмещенная однопроходная: $i = 0$

$$r - t_p + w_z \operatorname{ctg} \beta < r_p < r - h_a - \frac{2w_z + b_a - b_k}{2} \operatorname{ctg} \beta$$

- совмещенная многопроходная: $i = 0$

$$r_p + \frac{2B - b_a + b_k}{2} \operatorname{ctg} \beta < r_p < r - \frac{t_p}{K_b} (2Nk_b - K_b - N)$$

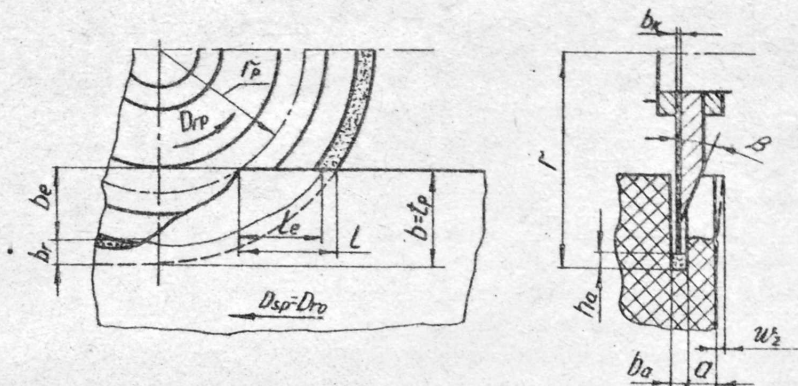
- последовательно-совмещенная $i = b_a + a - b_k / 2$

$$r - t_p + w_z \operatorname{ctg} \beta < r_p < r - \Delta h_a - \frac{2w_z + b_a - b_k}{2} \operatorname{ctg} \beta$$

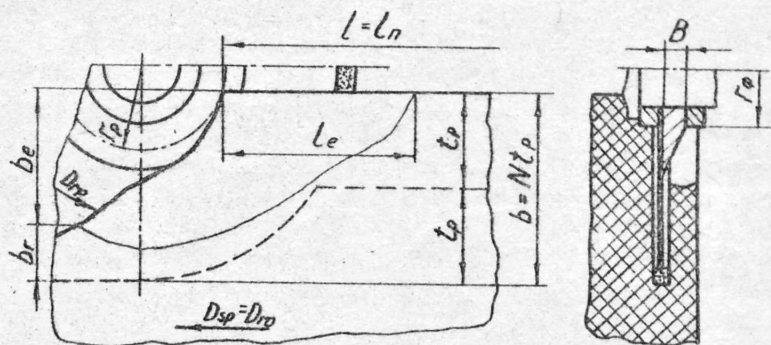
где r_p - рабочий радиус скалывателя; i - расстояние между торцами круга и скалывателя.

В указанных соотношениях параметры $r, b_a, b_k, r_p, t_p, h_a$ назначены по известным рекомендациям, а значения остальных - приняты ориентировочно. Для их уточнения использованы результаты исследований механики процесса отделения скалываемого слоя и условий работоспособности комбинированного инструмента.

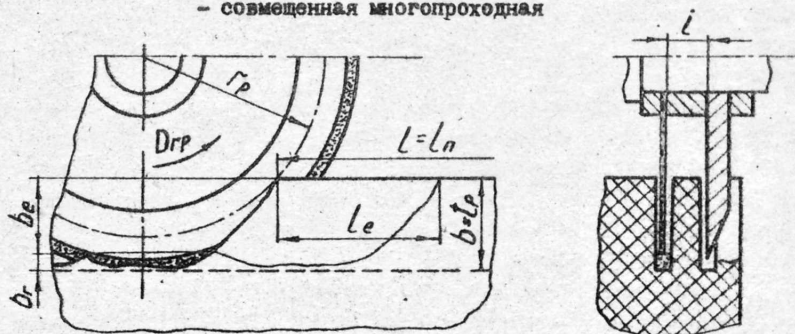
Критериями рационального выбора схемы обработки являются минимальные энергозатраты на ее выполнение и высокое качество обработанной поверхности (минимальная высота остаточных гребешков). Относительно процесса отделения скалываемого слоя указанные характеристики определяются силой и геометрией откола. Для их оценки выполнен анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) слоя.



- совмещенная однокроходная



- совмещенная многопроходная



- последовательно-совмещенная однокроходная

Рис. I. Схемы алмазно - скатывающей обработки

Расчетная модель скалываемого слоя представлена в виде консолиной пластины, определенной формы для каждой схемы (рис. I), изгибаемой сосредоточенной поперечной силой. Методика исследования НДС расчетной модели разработана на основе допущений классической теории изгиба пластин в интерпретации метода конечных элементов (МКЭ). Методика имеет ряд отличительных особенностей, упрощающих и ускоряющих расчеты.

Апробация методики исследования и пакета программ выполнена путем расчета областей, по которым известны "точные" решения. Для 100-элементной модели отклонения прогибов и изгибающих моментов составляли 8-17%, а при сгущении сетки до 300 элементов погрешность не превышала 5%, что свидетельствует о сходимости получаемых решений. Адекватность расчетной оценки НДС подтверждена экспериментальными данными по прогибам физических моделей скалываемого слоя.

Полученные картины распределения напряжений по сечениям скалываемого слоя для рассмотренных схем обработки позволяют определить:

- относительные значения силы откола $\delta Q = \frac{\sigma_{imax}}{\sigma_{imax}}$, где σ_{imax} - максимальное напряжение для i -той схемы, σ_{imax} - наибольшее напряжение среди найденных максимумов;

- расположение линий откола, которое характеризуют коэффициенты изменения размеров сколотого элемента относительно скалываемого слоя:

$$K_b = \frac{b}{b_e} ; K_c = \frac{t}{l_e} ; K_{sc} = \frac{t_p^2}{b_e l_e}$$

В результате становится возможным прогнозировать размеры сколотых элементов, высоту остаточных гребешков, частоту контактов скалывателя с припуском, и в конечном итоге, энергоемкость и качество обработки.

СМ схема характеризуется минимальными δQ и K_{sc} , но высоким K_b (табл. I), поэтому она предпочтительна при обработке с разделением толщины припуска. При обработке по методу разделения ширины припуска следует принимать ПСО схему, обеспечивающую минимальный K_b и, следовательно, наименьшую высоту остаточных гребешков.

Статистический анализ фактических размеров сколотых элементов показал, что они подчинены нормальному закону распределения и наиболее вероятные значения отличаются от расчетных на 3-12%.

Таблица I

Схемы обработки	δQ $\frac{\text{врез.}}{\text{устан.}}$	K_b	K_c	K_{sc}
СО, $r_{\min}$	1,25/2,18	1,32	0,83	1,1
СО, $r_{\max}$	1,75/3,88	1,8	2,6	4,7
СМ	1/1,38	1,53	0,33	0,28
ПСО	1,2/1,46	1,23	0,51	0,62

В третьей главе проведены расчеты геометрических параметров дискового скалывателя на основе разработанной методики определения прогиба кольцевой пластины линейно-переменной толщины под действием неосесимметричной нагрузки. Предложены новые конструкции комбинированных инструментов 3-х типов и определены области их рационального применения.

Возникающий от действия силы откола поперечный изгиб скалывателя ухудшает условия работы алмазного диска и работоспособность комбинированного инструмента сохраняется только до определенных значений прогиба. Расчет предельных геометрических параметров скалывателя выполнен исходя из условия, что его прогиб не превышает допустимого торцового биения $[w]$ алмазного диска.

Действительные значения прогиба определялись при последовательном переходе от проектных расчетов для упрощенной модели в виде круглой пластины постоянной толщины, но равной жесткости со скалывателем к проверочным расчетам для уточненной модели ступенчато-переменной толщины и одинаковых жесткостей ступеней с соответствующими частями скалывателя.

Толщина скалывателя, как показали расчеты, почти не зависит от его диаметра в диапазоне 250-500мм, поэтому можно принять среднее значение: $B = 9,4$ мм.

Получены значения прогибов скалывателей при $\beta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$. Вычисления для больших β не представляют интереса из-за уменьшения силы откола и увеличения продольной составляющей, которая сжимает слой. Скалыватели с углом заострения $\beta < 5^\circ$ не технологичны. Кривая зависимости $w = f(\beta)$ пересекает горизонталь $[w] = 0,32$ мм при $\beta = 9,67^\circ$. Таким образом, интервал рекомендуемых значений $\beta = 10-20^\circ$.

Найденные геометрические параметры скальвателя являются одним из условий разработки рациональных конструкций комбинированных инструментов. Второе условие вытекает из анализа особенностей кинематики процесса. Так как движение резания в процессе тделения скальваемого слоя D_{r0} — прямолинейное и совпадает с движением подачи при разделении припуска D_{sp} (рис. I), то вращения скальвателя совместно с кругом нецелесообразно.

Разработаны новые конструкции инструментов, у которых скальватели свободно вращаются относительно режущих элементов. Торцовая камнерезная фреза отличается установкой скальвателя между коническими центрирующими кольцами из антифрикционного материала. Конструкция приспособлена к эксплуатации на универсальных металлорежущих станках, не имеющих центрального канала в шпинделе для подачи СОЖ. Фреза рекомендуется для обработки плоскостей по СМ схеме с разделением толщины припуска. Другим представителем этого типа является инструмент периферийного исполнения для обточки валов путем последовательных поперечных врезаний. Удаление припуска осуществляется по ПСО схеме с разделением его ширины. Производственные испытания показали, что инструменты характеризуются высокой производительностью и износостойкостью.

Работоспособность инструментов с закрепленными скальвателями, вращающимися совместно с режущими дисками, ниже, но они проще по конструкции. Для уменьшения потерь мощности на трение и интенсивности износа скальватели выполняют сегментными со скошенной передней поверхностью.

После обработки по методу разделения ширины припуска на поверхности остаются неотделенные гребешки скальваемого слоя. Для их удаления, параллельно с основным объемом припуска, периферийный инструмент снабжают калибрующими элементами в виде крупнозернистого алмазного шлифовального круга или цилиндрической фрезы.

Разработана также конструкция торцовой фрезы с режущими, скальвающим и калибрующими зубьями. Особенностью является их установка по спирали Архимеда с определенным параметром. Тогда при скорости продольной подачи на оборот фрезы, равной шагу спирали все ее зубья проходят по одной трохойде, а не каждый зуб по своей, как для обычных фрез с круговым расположением зу-

бьев. При этом вместо последовательного разрушения всего объема припуска фреза работает по ПСО схеме его удаления. Так как в процессе резания одновременно участвует большое количество зубьев, то требуется значительная мощность привода главного движения и допускается обработка только мягких пород, например мраморных изоляционных щитов.

В четвертой главе представлены методика и результаты экспериментального исследования влияния параметров инструмента и режимов обработки на ее энергоемкость.

Для проведения экспериментов использована установка на базе модернизированного горизонтально-фрезерного станка 6804Г. Оборудование установки соответствовало задаче наблюдения и регистрации расходуемой в процессе обработки мощности двигателя станка, без учета мощности холостого хода и нагрузочных потерь. Показателями энергозатрат являлись амплитуда импульсов мощности N_a и удельная энергоемкость e .

Партия экспериментальных образцов (шлифованные плитки 60хх200х300мм) изготовлена из одной плиты Янцевского гранита. Выбор этого материала обусловлен широким его использованием для изготовления каменных деталей машин. В камнеобработке его часто принимают за эталон и относят к первой группе труднообрабатываемых пород.

Эксперименты проведены по классической однофакторной схеме. Варьируемые параметры: угол заострения β и рабочий радиус r_p скальвателя, тип его рабочей части и соединения с кругом, вариант схемы обработки и ее режимы.

Установлено, что увеличение r и β в диапазоне 5–30° сопровождается ростом N_a и e , характер зависимостей – степенной ($x_{N_a} > 1$; $x_e > 1$). При $\beta = 5^\circ$ работоспособность инструмента нарушалась (происходило упругое отжатие скальвателя без отделения припуска). Это подтверждает правильность расчетно определенного в главе 3 диапазона допускаемых значений β .

Сегментирование рабочей части скальвателя снижает амплитуду мощности в 1,5–2 раза, а подвижное его соединение с кругом в 2–3 раза. Переход от однопроходного варианта совмещенной схемы обработки к многопроходному и ПСО схеме сопровождается снижением N_a более, чем в 3 раза, а e – в 2–2,5 раза. Таким образом, подтверждены теоретические предположения главы 2 относительно выбора

рациональной схемы обработки по критериям относительной силы и геометрии откола.

Среди режимных параметров доминирующее влияние на энергоемкость обработки оказывает ее осевая глубина t_0 . Характер зависимостей – степенной, но значения показателей степени существенно отличаются для рассмотренных схем обработки, как и обнаруженные предельные значения $[t_0]$ (табл. 2). Существование последних обусловлено переходом к нерегулярному характеру процесса отделения скалываемого слоя и повышенным энергозатратам.

Таблица 2

Схемы обработки	Показатели		$[t_0]$
	γ_{κ_0}	γ_e	
СО	2,64	1,13	6,5
СМ	1,06	-0,92	14,5
ПСО	1,12	-0,53	9,5

Установлены критерии затупления режущих и скалывающих элементов комбинированного инструмента: допустимая величина износа алмазных сегментов по ширине $\Delta b_0 = 0,2-1\text{мм}$, высота уступа на конической поверхности закрепленного скалывателя $h_1 = 0,2-0,3\text{мм}$, а для свободно вращающегося $h_2 = 0,5-0,7\text{мм}$.

В пятой главе на основе результатов проведенных исследований даны практические рекомендации по осуществлению малооперационных технологий обработки призматических и цилиндрических заготовок, предложены новые технологические приемы обработки и новые показатели для оценки их технико-экономической эффективности.

Построение малооперационной технологии достигается за счет совершенствования этапа предварительного формообразования. При этом используются трепанирующие методы обработки на универсальных металлорежущих станках повышенной точности, предпочтительно шлифовальных. Характерная особенность трепанирующих методов заключается в удалении припуска не последовательным разрушением всего объема, а разделением его на части и отделением этих частей от заготовки путем скалывания или отрезки. Известным представителем трепанирующих методов обработки является кольцевое сверление (трепанация), откуда заимствовано название всей группы.

Среди рассмотренных методов обработки валов минимальной трудоемкостью характеризуется обточка последовательными поперечными врезаниями многодискового инструмента с последующим отделением скалываемого слоя и зачисткой остаточных гребешков зубчатой шарошкой.

Для оценки эффективности трепанирующих методов обработки предложены коэффициенты:

$$K_v = \frac{V_{дис}}{V_n} 100\% ; \quad K_s = \frac{S_{раз}}{S_{обр}}$$

где V_n ; $V_{дис}$ - общий объем припуска и диспергируемой его части, $S_{раз}$; $S_{обр}$ - площади поверхностей - обработанной и образующейся при разделении припуска.

При известном значении K_s , а также технологической производительности Π , удельного расхода q и массового содержания M инструментального материала можно прогнозировать трудоемкость операции $t_{оп}$ и поверхностную наработку инструмента на отказ T_n :

$$t_{оп} = \frac{K_s S_{обр}}{\Pi} + t_0, \quad T_n = \frac{M}{q K_s}$$

Проведен анализ двух альтернативных маршрутов изготовления гранитных рубашек пресовых валов бумагоделательных машин. Внедрена малооперационная технология, при которой черновая обточка комбинированным инструментом и чистовое шлифование осуществляются на одном модернизированном шлифовальном станке. Результаты внедрения показали высокую экономическую эффективность разработок.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В работе доказано повышение эффективности процесса предварительного формообразования каменных деталей применением комбинированных схем удаления припуска, за счет его разделения алмазным резанием на части и их отделения от заготовки скалыванием. В зависимости от порядка выполнения этих действий обработка реализуется по совмещенной, последовательной и смешанной схемам.

2. На основе допущений классической теории изгиба пластин в интерпретации метода конечных элементов, разработана и реализована в виде пакета прикладных программ, методика исследования напряженного состояния скалываемого слоя. В условиях физического моделирования подтверждена адекватность расчетных оценок. Метод

дика позволила теоретически обосновать выбор рациональной схемы обработки по критериям относительной силы и геометрии откола.

3. Установлено, что минимальными значениями этих параметров характеризуются совмещенная многопроходная и смешанная схемы обработки, причем первая предпочтительна при разделении толщины припуска, а вторая - ширины. Статистический анализ фактических размеров сколотых элементов показал, что они подчиняются нормальному закону распределения, а наиболее вероятные значения отличаются от расчетных на 3-12%.

4. С использованием дискретной модели кольцевой пластины линейно-переменной толщины выполнен расчет предельных значений толщины и угла заострения дискового скалывателя комбинированного инструмента. Установлено, что изменение диаметра скалывателя в диапазоне 250-500мм не оказывает существенного влияния на его предельную толщину.

5. Разработаны и защищены 4 авторскими свидетельства конструкции периферийных и торцовых комбинированных инструментов трех различных типов, в зависимости от исполнения скалывающих элементов. Определены области рационального применения инструментов каждого типа, а также критерии затупления режущих и скалывающих элементов.

6. Выявлены экспериментальные зависимости энергетических показателей алмазно-скалывающей обработки от условий ее осуществления. Сегментирование рабочей части скалывателя снижает амплитуду импульсов мощности в 1,5-2 раза, а подвижное соединение скалывателя с кругом - в 2-3 раза. При переходе с однопроходного варианта совмещенной схемы обработки к многопроходному и смешанной схеме амплитуда импульсов мощности снижается в 3 раза, а удельная энергоемкость - более, чем в 2 раза. С увеличением угла заострения и рабочего радиуса скалывателя энергоемкость обработки возрастает.

7. Доминирующее влияние на энергоемкость оказывают осевая глубина обработки. Найдены предельные ее значения, обусловленные переходом к нерегулярному характеру и повышенным энергозатратам процесса отделения скалываемого слоя. Максимальное значение соответствует совмещенной многопроходной схеме обработки. Влияние скорости резания, подачи и радиальной глубины обработки остается неизменным по отношению к резанию алмазным диском.

8. На деталях типа плит припуск толщиной более 20мм пред-

почтительно удалять методом двухстадийной отрезки алмазным диском, впотай привинченным к фланцу увеличенного диаметра. Заготовки с припуском 4-20мм обрабатывают методом разделения его толщины комбинированными инструментами.

9. Применительно к крупным валам разработаны и защищены авторскими свидетельствами методы обработки заготовок круглого и квадратного сечения однодисковым инструментом. Минимальной трудоемкостью характеризуется обточка цилиндрической поверхности многодисковым инструментом. Ее осуществляют путем последовательных поперечных врезаний на станках с ЧПУ или оснащенных блоком автоматического управления приводами.

10. Для построения малооперационной технологии изготовления каменных деталей машин следует на этапе их предварительного формообразования применять методы трепанирующей алмазной обработки и металлорежущие станки повышенной точности, предпочтительно шлифовальные. Такой подход на ПО Днепропетробумаш им.Артема позволил снизить почти в 3 раза трудоемкость обработки периферии гранитных рубашек прессовых валов бумагоделательных машин, повысить эксплуатационные свойства обработанной поверхности и за счет этого получить экономический эффект 58 тыс. рублей.

Новизна предложенных и научно обоснованных в диссертации технических разработок подтверждена положительными решениями Госкомизобретений на выдачу авторских свидетельств по заявкам №4372716, №4492867, №4647759, №4665953, №4702264.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Способ обточки каменных валов / Сост. В.И. Кондратюк, П.В. Блажиевский // Информ.листок Хмельницкого ЦНТИ. - 1987. - №071. - 5с.

2. Блажиевский П.В. Черновая механическая обработка каменных заготовок комбинированными способами // Сборник научных трудов ХТИБО. - Киев: УМК ВО, -С. 96-100.

3. Попов С.А., Кондратюк В.И., Блажиевский П.В. Алмазно-скалывающая обработка каменных заготовок в машиностроении //Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки: Тез.докл. Всесоюз. конф. - М., 1988. - С.244-245.

4. Попов С.А., Кондратюк В.И., Блажиевский П.В. Эффектив-

ность обработки деталей машин из камня лезвийным инструментом
// Обработка-88: Тез. докл. Всесоюз. конф. - М., 1988. - С. 25.

5. Кондратюк В.И., Блажиевский П.В., Баннов Г.М. Трепанная обработка деталей машин из камня алмазным и комбинированными инструментами // Тез. докл. XIX конф. Джембульского технологического института. - Джембул, 1989. - С. 38-39.

6. А.с. №1533864 СССР, МКИ В28D 1/04. Способ обточки каменных палов и инструмент для его осуществления / С.А. Попов, В.И. Кондратюк, П.В. Блажиевский // В.И. - 1990. - № 1.

7. Кондратюк В.И., Блажиевский П.В., Баннов Г.М. Скоростная лезвийная обработка каменных заготовок // Изв. вузов. Машиностроение. - 1990. - № 5. - С. 137-141.

8. Блажиевский П.В. Методика исследования механики процесса алмазно-скалывающей обработки // Тез. докл. XV межвузовского семинара по механике. - Хмельницкий, 1990. - С. 50.