

У440916

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ХАПАЧЕВ БОРИС СОСРУКОВИЧ

УДК 621.02:671.152.539.53

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО
АЛМАЗА В ПРАВЯЩИХ ИНСТРУМЕНТАХ

05.03.01 Процессы механической и физико-химической
обработки, станки и инструмент

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

Москва - 1985

*Министерство
Механики
1985*

Работа выполнена в Кабардино-Балкарском ордена Дружбы
народов государственном университете.

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент Х.Г.ТХАГАПСОВ

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор ОРЛОВ П.Н.
к.т.н., доцент ЛУКАШЕВ Л.К.

Ведущее предприятие: ВНИИАлмаз

Защита диссертации состоится "20" декабря 1986 г.
на заседании специализированного совета К/053.15.15
в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Револю-
ции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техни-
ческом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005,
Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5.

Ваш отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью,
просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
МВТУ.

А
Уч
специал
кандидат

Л-97
Подпи
Зак. №
Бауман

ЯКОВ

ем I п.л.
им. Н.Э.

М440916

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 гг. и на период до 1990 года" перед инструментальной промышленностью поставлена задача увеличения объема выпуска инструмента, в том числе алмазного, обеспечив более полное удовлетворение потребности в нем машиностроения и металлообработки.

Успешное решение этой задачи требует разработки обоснованных нормативов расхода и возврата алмазов применительно к важнейшим группам алмазных инструментов, в том числе и правящих. Учет на практике закономерностей износа (разрушения) алмаза позволит при соблюдении требований к качеству шлифуемой поверхности деталей выработать экономически обоснованные нормы расхода и возврата алмаза для правящих инструментов.

Цель работы. Повышение эффективности использования природного алмаза в правящих инструментах за счет применения научно-обоснованной методики регламентации ресурса алмазных инструментов.

Научная новизна. Получены результаты, доказывающие, что износ алмаза при правке абразивных кругов происходит главным образом под действием переменных термоупругих напряжений, возникающих в кристалле из-за появления в процессе правки значительных температурных градиентов.

Изучен характер изменения расхода алмаза в зависимости от степени его износа: удельная производительность алмаза при правке абразивных кругов снижается по экспоненциальной зависимости.

С помощью экспериментально-аналитического метода получено решение задачи по определению контактной температуры при правке абразивных кругов алмазным карандашом. На основе этого решения получена функция распределения температуры по длине кристалла.

Методом активного эксперимента проведен анализ влияния режимов правки на износ алмаза: получены уравнения регрессии, позволяющие определять ресурс инструмента и оптимизировать процесс правки в целях экономного расходования алмаза.

Практическая полезность. Разработаны методики:

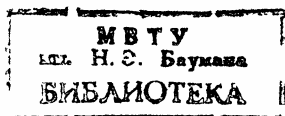
- прогнозирования ресурса работы правящего алмазного карандаша и определения срока службы правящих алмазных карандашей и роликов;

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1440916

Халачев Б.С. Повышение эфф



- испытания алмазных порошков на усталостную повреждаемость, включая повреждаемость при термоциклировании;
- определения контактной температуры при правке абразивных кругов алмазным карандашом.

Предложена конструкция алмазных карандашей с однослойным расположением кристаллов в связке, позволяющая повысить эффективность использования природного алмаза в правящих инструментах.

Реализация результатов работы. Результаты работы используются на Кабардино-Балкарском заводе алмазного инструмента при разработке и изготовлении новых конструкций правящих инструментов, предусматривающих однослойную укладку алмаза, и во Всесоюзном научно-исследовательском институте методики и техники разведки при выполнении комплексных программ по разработке методов повышения ресурса породоразрушающего инструмента из природных и синтетических алмазов.

Апробация работы. Работа полностью доложена и обсуждена на заседаниях научного семинара кафедры АМ-2 Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана и кафедры "Технология машиностроения" Кабардино-Балкарского госуниверситета.

Отдельные разделы и положения диссертации докладывались на IX, X и XI республиканских конференциях по методам прогнозирования и повышения надежности машин и сооружений, проблемам машиностроения и строительства (Нальчик, 1979г., 1980г., 1982г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, 3 отчета и получено одно авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка литературы и приложения, изложенных на 189 страницах.

Содержит 128 страниц основного текста, 32 рисунка, 19 таблиц и список литературы из 181 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе I приведен анализ результатов исследований, проведенных советскими и зарубежными исследователями по изучению механизмов износа алмаза и повышению на его основе эффективности использования алмазных инструментов.

В настоящее время считается, что алмазный инструмент в зависимости от условий резания подвергается различным по природе видам износа - адгезионному, диффузионному, абразивному, хими-

ческому, окислительному. Анализ показал, что износ, вызванный разупрочнением поверхностных слоев алмаза вследствие адгезии, графитизации или протекания окислительных процессов не может явиться доминирующим видом разрушения алмазного правящего инструмента.

Отсутствие заметной адгезионной связи между алмазом и зерном правящего круга свидетельствует о том, что и диффузионный износ алмаза в правящих инструментах практически исключается.

Существующие теории абразивного износа носят скорее качественный характер и для описания кинетики абразивного износа алмаза в правящих инструментах непригодны.

В соответствии с поставленной целью и с учетом проведенного анализа при выполнении работы были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка методики определения кинетики износа и срока службы правящих карандашей и роликов.
2. Определение контактной температуры при правке абразивных кругов алмазным инструментом.
3. Разработка методики испытания алмазных порошков на усталостную повреждаемость, включая повреждаемость при термоциклировании.
4. Экспериментальное исследование повреждаемости алмаза под действием переменных напряжений.
5. Исследование механизма износа (разрушения) алмаза в правящих инструментах.
6. Разработка методики прогнозирования ресурса работы правящего алмазного карандаша.

В главе II описана установка для испытания алмазного порошка на усталостную повреждаемость, позволяющая производить циклическое нагружение порошков алмаза в диапазоне частот (2-20 Гц) и амплитуд усилий нагружения (30-1500 Н).

Установка позволяет изменять бесступенчато амплитуду напряжения и фиксировать динамику процесса нагружения и разрушения алмаза при помощи тензодатчиков. Действующее на алмаз усилие нагружения замеряется при помощи образцового динамометра ДДС-0,2. Конструктивно установка выполнена таким образом, что обеспечивает возможность изменения коэффициента асимметрии цикла нагружения от 2 до 30, а также автоматически отключать нагружающее устройство после достижения заданного числа циклов нагружения

или разрушения алмаза.

Создана также установка термоциклирования кристаллов алмаза, позволяющая создавать в алмазе градиент температуры, практически соответствующий условиям работы контактной поверхности алмаза. Для воспроизведения тепловых процессов правки кристалл алмаза устанавливали в подвижном охлаждающем элементе и его периодически приводили в контакт с нагревательным узлом, имеющим заданную температуру. В качестве нагревательного элемента использован силитовый стержень, рабочего — жаропрочный сплав. Установка состоит из блоков управления исполнительным механизмом и нагревательным элементом, реле времени, потенциометра и счетчика числа циклов термонагрузений. Установка позволяет регулировать количество теплосмен алмаза от 1 до 60 циклов в минуту, а также автоматически отключать узел подачи алмаза после достижения заданного количества циклов термонагрузки. Градиент температуры, который может создаваться в кристалле алмаза, составляет 320–1200 К.

Изложены методики определения срока службы алмазного карандаша и ролика прямого профиля, позволяющие выявлять кинетические закономерности износа кристалла при правке абразивных кругов. Сущность разработанных методик состоит в периодическом фиксировании непрерывно изменяющихся в процессе правки изношенной массы алмаза и сошлифованного объема абразивного круга.

В правящих карандашах изношенный объем алмаза определяли с учетом преобладающей в партии геометрически правильной формы зерна (октаэдр, шар, эллипсоид вращения). Для определения текущего значения площади рабочей поверхности алмаза, изменяющейся при износе в зависимости от формы кристалла, рабочая поверхность зерна фотографировалась до и после съема заданного объема абразива: фотографирование рабочей поверхности производилось на бинокулярном микроскопе модели БМ-51-2 (увеличение X15–20). Замеры, необходимые для определения величины сошлифованного слоя алмаза, производили при помощи микроскопа модели ММИ-2. Периодические замеры величины изношенной массы алмаза и фотографирование рабочей поверхности инструмента производили до выпадения алмаза из связки.

Износ алмазного ролика прямого профиля изучен в экспериментах, проводившихся с использованием специального приспособления, смонтированного на базе шпиндельного узла внутришлифовального

станка. Величину радиального износа инструмента замеряли непосредственно на станке при помощи индикатора часового типа (с ценой делений 0,001 мм). На шкив подшипникового узла приспособления наносили риски, соответствующие расположению кристаллов алмаза на ролике, износ которых периодически замеряли через определенное количество правок. Совмещение штока индикатора с кристаллом алмаза при замере величины износа ролика осуществлялось при помощи микроскопа модели БМ-51-2. Необходимая величина поперечной и продольной подач ролика при правке шлифовальных кругов обеспечивалась механизмами станка, на столе которого установлено приспособление. Определение величины изношенного объема алмаза осуществлялось из геометрических соотношений между параметрами усеченного бипирамидного кристалла. Радиальный износ абразивного круга в процессе его правки роликом (карандашом) замеряли штангенциркулем с ценой делений 0,05 мм.

В главе III изложены результаты исследований, выполненных с целью определения контактной температуры u при правке абразивных кругов алмазным карандашом¹. Сущность использованного экспериментально-аналитического метода заключается в сочетании прямого замера температуры в двух точках кристалла, расположенных на различных расстояниях от правящего круга, и расчета, позволяющего с высокой точностью путем экстраполяции устанавливать температуру в зоне резания.

Вместо краевой задачи, являющейся некорректно поставленной,

$$c(u)\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(u) \frac{\partial u}{\partial x} \right), 0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T; \quad (I)$$

$$u(0,t) = f(t), u_x(0,t) = \varphi(t), 0 \leq t \leq T;$$

$$u(x,0) = h(x), 0 \leq x \leq l$$

рассмотрена корректно поставленная краевая задача

¹Задача по определению контактной температуры при правке абразивных кругов алмазным карандашом была решена при участии к.ф.-м.н., доцента М.Х.Шханукова.

$$c(u^\varepsilon)\rho \frac{\partial u^\varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(u^\varepsilon) \frac{\partial u^\varepsilon}{\partial x} \right) + \varepsilon \frac{\partial^3 u^\varepsilon}{\partial x^2 \partial t}, 0 < x < \ell, 0 < t \leq T; \quad (2)$$

$$u^\varepsilon(0, t) = f(t), u^\varepsilon_x(0, t) = \varphi(t), 0 \leq t \leq T; \quad (3)$$

$$u^\varepsilon(x, 0) = h(x), 0 \leq x \leq \ell, \quad (4)$$

где $\lambda(u)$ - коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; ρ - плотность алмаза, $\text{кг}/\text{м}^3$; $C = \frac{C_\mu(u)}{M}$ - удельная теплоемкость алмаза

$\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $C_\mu(u)$ - зависимость молярной теплоемкости C_μ , $\text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$, от температуры u ; $M = M_\gamma$ - молярная масса углерода, $\text{кг}/\text{моль}$; $M_\gamma = 12,011$ - относительная безразмерная молекулярная масса углерода; $\varepsilon = \text{const} > 0$.

Задача (2) - (4) решена численным методом в два этапа аппроксимацией производных, входящих в соотношение (2) конечно-разностными соотношениями. На первом этапе решили уравнение (1) с краевыми условиями

$$u(0, t) = f(t), u(\ell_1, t) = z(t), 0 \leq t \leq T_1; \quad (5)$$

$$u(x, 0) = h(x), x \in [0, \ell_1], \quad (6)$$

где ℓ_1 - абсцисса точки кристалла, в которой размещена первая от абразивного круга термопара; $z(t)$ - изменение температуры в той же точке с течением времени (от 0 до T_1).

На втором этапе, используя значения температуры в первых двух узлах сетки, полученные на первом, рассчитывали температуру во всех других узлах сетки для данного момента времени.

При расчетах на ЭВМ в качестве входных использовали следующие экспериментальные и расчетные данные: расстояние от абразивного круга до первой термопары - 0,0022 м; расстояние от абразивного круга до второй термопары - 0,0026 м; шаг сетки по пространству $H = 0,0001$ м; шаг сетки по времени $\tau = 0,001$ с; параметр $\varepsilon = 0,00015$; плотность алмаза - 3500 $\text{кг}/\text{м}^3$;

расчет вели с учетом зависимостей $C_{\mu}(U)$ и $\lambda(U)$.

Краевые условия, необходимые для решения задачи (2)–(4), получены в опытах, проводившихся на круглошлифовальном станке при правке абразивного круга карандашом, оснащенным кристаллом природного алмаза XVI группы, подгруппы "а", III качества, зернистости 0,05–0,10 карат/шт. На одной стороне кристалла устанавливали две хромель–копелевые термопары со стандартной градуировкой, имеющие термоэлектроды диаметром 0,05 мм. В процессе правки абразивного круга 24А40ПС15К6 600х63х305 ($S_{\text{ноп}}=0,02\text{ мм/дв.х.стола}$; $S_{\text{пр}}=0,3\text{ м/мин}$; $V=35\text{ м/с}$) температуру регистрировали осциллографом Н-115. Чтобы контакт карандаша с кругом был кратковременным на его поверхности формировали приливы определенной длины.

В результате решения задачи математической физики получено значение температуры (1315 К) на контактной поверхности алмаза, характер изменения которой по длине кристалла удовлетворительно описывается показательной зависимостью. Экспоненциальный характер изменения температуры в кристалле алмаза свидетельствует о существовании в нем значительного градиента температуры, что обуславливает возникновение существенных термоупругих напряжений в приповерхностном слое кристалла (алмаз по своей природе предрасположен к формированию внутренних термоупругих напряжений). Многократное возникновение термоупругих напряжений способно вызвать образование и рост трещин в алмазе при работе правящих инструментов.

Показано, что ресурс правящего алмазного инструмента повышается при снижении уровня термических напряжений путем включения в конструкцию инструмента регулируемого источника теплоты. Для оценки влияния уровня термических напряжений на срок службы инструмента проводили сравнительные испытания карандашей с подогревом алмазонасной части и стандартной конструкции. Правилы круги 24А40ПСТ25КВ 600х63х305 карандашами, оснащенными кристаллами природного алмаза XVI группы, подгруппы "а", II качества, зернистости 0,05–0,10 карат/шт. (режим правки выбирали по ГОСТ 607–80). Температуру подогрева алмазонасной части контролировали хромель–алюмелевой термопарой с диаметром термоэлектродов 0,3 мм; в процессе правки круга экспериментальными карандашами температура алмазонасной части изменялась от 530 до 630 К.

Лучшую работоспособность показали карандаши с регулируемым

источником теплоты, превысив ресурс работы стандартного карандаша на 18,5% (удельная производительность соответственно 610,8 и 515,5 см³/мг).

В главе IV приведены экспериментальные результаты по исследованию повреждаемости природного и поликристаллического синтетического алмаза под действием переменных (механических и тепловых) напряжений.

Исследовано влияние величины амплитуды нагружения, количества циклов нагружения и твердости опорных пластин нагружающего устройства на усталостную повреждаемость кристаллов XVI группы, подгруппы "а", зернистости 0,05-0,10 карат/шт. второго и четвертого качеств. Кристаллы, подготовленные для усталостных испытаний, предварительно статически нагружали до максимальной величины усилия нагружения. При обработке результатов эксперимента разрушающая нагрузка для преждевременно разрушившихся кристаллов принималась равной значению амплитуды усилия нагружения. Результаты испытаний статистически обрабатывали на ЭВМ. При этом рассматривали следующие характеристики распределения усилия статического разрушения кристаллов: среднеарифметическое $\bar{X}$, среднее квадратическое отклонение S , коэффициент вариации C , коэффициент асимметрии A и эксцесс E .

Установлено, что наибольшее влияние на усталостную повреждаемость алмаза оказывает величина амплитуды циклического нагружения. Так, после 10^5 циклов нагружения при осевом усилии 640 Н прочность кристаллов II качества снизилась с 1420 Н/зерно до 920 Н/зерно, т.е. на 37%. На повреждаемость алмаза влияет также и число циклов нагружения, что свидетельствует о развитии процессов усталостных повреждений в кристаллах. При этом наиболее значительное снижение прочности наблюдается на начальном этапе усталостных испытаний (до 10^3). К снижению прочности алмаза в результате циклического нагружения привело повышение твердости опорных пластин нагружающего устройства.

Повышение амплитуды напряжения, жесткости опорных пластин и числа циклов нагружения привело к росту коэффициентов вариации и асимметрии, а также эксцесса распределения прочности кристаллов. Наблюдали и структурно-физические признаки возникновения усталостных повреждений в процессе циклического нагружения кристаллов (разворот и дробление блоков мозаики, возрастание ширины дифракционного максимума).

Изучена также повреждаемость поликристаллических синтетических алмазов марки APC3A и APC3 при циклическом нагружении ($P_{max} = 250$ Н/зерно, $P_{min} = 40$ Н/зерно, частота нагружения кристалла 400 циклов в минуту, число циклов нагружения $N_c = 1000$). При этом прочность алмазов марки APC3A зернистости 2000/1600 снизилась на 10%, а зернистости 1000/800 – на 18,5%. Аналогичные результаты получены для поликристаллических алмазов марки APC3: снижение прочности после циклических нагружений для зернистостей 2000/1600 и 1000/800 составило соответственно 7,2% и 16%.

Приведены результаты исследований повреждаемости алмаза при термоциклировании (в эксперименте использовали алмазы двух качеств – I и II). Снижение прочности кристаллов природного алмаза I качества зернистости 0,05 + 0,10 карат/шт. составило 13%, а II качества – 25%.

Изучены также влияния различных по величине градиентов температуры (770, 970 и 1120 К) и числа термонагружений (10, 50, 100 и 1000) на физико-механические свойства поликристаллических зерен алмаза марки APC3A зернистости 1250/1000. Наиболее существенное влияние на прочность кристаллов оказывает градиент температуры, равный 1120 К: прочность термообработанных кристаллов снизилась по сравнению с прочностью исходной партии на 25,2% (соответственно 412,6 и 550,8 Н/зерно). Данные по влиянию числа термонагружений на уровень прочности синтетического алмаза показывают, что прочность кристаллов с возрастанием количества теплосмен снижается. Наибольшее разупрочнение кристаллов (снижение прочности на 21%) получено при числе циклов термонагружений, равном 1000.

Глава У посвящена исследованию кинетических закономерностей износа алмаза в правящих карандашах и роликах прямого профиля. Установлено, что в процессе эксплуатации правящих инструментов удельная производительность непрерывно снижается по мере износа кристалла (см. рис. I).

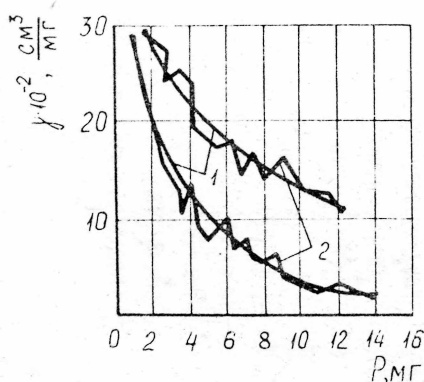
Математическая обработка результатов эксперимента показала, что зависимость удельной производительности алмаза от величины массы изношенной части кристалла удовлетворительно описывается экспоненциальной функцией

$$j = a \exp(-bP), \quad (7)$$

где a и b - постоянные коэффициенты, зависящие от геометрии и прочности алмаза на сжатие, марки абразивного круга и режимов правки; P - изношенная масса кристалла алмаза, мг. Рентгеноструктурный анализ показал, что при износе кристалла появляются внутренние напряжения, вызывающие дробление и разворот блоков мозаичной структуры алмаза. При этом происходит нарушение направленности межатомных связей в локальных объемах кристалла, которое сопровождается появлением и ростом микротрещин на рабочей поверхности инструмента.

Выполнен расчет скорости износа кристалла в предположении, что основным механизмом износа алмаза в правящих инструментах является термоупругое разрушение контактного поверхностного слоя.

Рис.1. Характер изменения удельной производительности алмаза от степени его износа: 1-теоретическая кривая; 2- экспериментальная кривая.



При этом получено значение $5,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{с}$, близкое к экспериментально найденной величине скорости износа алмаза $5,3 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{с}$ (правили круги I4A25HCT36K7 600x 63 x 305).

Анализ данных, полученных при исследовании закономерностей износа алмаза в правящих инструментах, показал, что в общем случае износ (разрушение) алмаза в правящем инструменте происходит в результате действия двух механизмов: абразивно-механического микропорезания и термоусталостного разрушения. При этом доминирующим механизмом износа кристалла является термоусталостное разрушение приповерхностного слоя под действием внутренних термоупругих напряжений, возникающих в инструменте вследствие неравномерного распределения температуры правки по длине кристалла.

Методом активного эксперимента исследован износ алмазных карандашей, оснащенных кристаллами природного и поликристаллического синтетического алмаза. При этом в качестве параметров оптимизации при исследовании износа карандашей с природными кристаллами выбраны удельная производительность (f , см³/мг) и бесполезно теряемая вследствие вырыва из связки часть массы алмаза (q , мг). Из элементов режима правки варьировали твердость абразивного круга (X_1), поперечная (X_2) и продольная (X_3) подачи, а также прочность кристаллов алмаза (X_4).

На основании результатов испытаний карандашей (матрица планирования 2^4) рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии на ЭВМ. Получены следующие уравнения регрессии:

$$f = 1034,9 - 624,5X_1 + 485,6X_2 + 116,8X_4 - 332,7X_1X_2 - 146,2X_1X_4 - 293,2X_2X_3. \quad (8)$$

$$q = 4,14 + 0,91X_4. \quad (9)$$

Полученное значение коэффициента $b_{23} = -293,2$, учитывающего эффект взаимодействия факторов X_2 и X_3 показывает, что при правке абразивных кругов со снятием минимального слоя продольная подача может быть увеличена до максимальных пределов, ограничиваемых лишь требованиями к качеству шлифования правленным кругом и техническими возможностями станка.

Из четырех изученных факторов прочность кристаллов оказывает наиболее существенное влияние на бесполезно теряемый объем кристалла. При этом с увеличением прочности алмаза теряемый объем кристалла возрастает. Экспериментально показано, что по мере выработки ресурса инструмента высота выступления алмаза над связкой увеличивается. Независимо от качества алмаза к концу выработки ресурса карандаша, когда скорость износа кристалла возрастает, вылет зерна из связки уменьшается.

Изучено также влияние различных факторов режима правки (твердости абразивного круга X_1 , поперечной X_2 и продольной X_3 подачи) на ресурс правящих карандашей, оснащенных синтетическими алмазами марки АРСЗА зернистости I600/I250. После математической обработки экспериментальных результатов получено уравнение регрессии удельной производительности для карандашей с синтетическими алмазами:

$$f = 103,9 - 42,1X_1 + 26,0X_2. \quad (10)$$

Результаты анализа экспериментальных данных, полученных при изучении кинетических закономерностей износа алмазного ролика (режим правки абразивного круга I4A25ПМЗ6К7 600х63х305 выби-
рали в соответствии с рекомендациями ГОСТ 16014-78), также по-
казывают, что удельный расход алмаза повышается по мере возрас-
тания радиального износа ролика.

Исследовали влияние геометрической формы алмазных порошков (октаэдра, шара и эллипсоида вращения) на срок службы и харак-
тер износа правящих карандашей. Инструменты с кристаллами октаэ-
дрической формы изнашиваются менее интенсивно (коэффициент $\bar{b} =$
 $0,241$ у них меньше, чем у других исследованных кристаллов).
Вместе с тем предэкспоненциальный множитель "а" функции износа
алмаза у кристаллов в виде октаэдра меньше, чем у изометричных
(соответственно 1254,6 и 1310,2). Снижение удельной производи-
тельности алмаза ($\bar{b} = 0,138$) получено и для кристаллов, имев-
ших постоянное поперечное сечение (алмазы XXXIII группы, подгруп-
пы "б", зернистости 0,05-0,10 карат/шт), что также свидетельствует
о развитии усталостных процессов и разупрочнении алмаза при прав-
ке абразивных кругов.

В главе VI приведены методика прогнозирования ресурса ра-
боты правящих алмазных карандашей и экономический расчет эффек-
тивности их эксплуатации по методике гарантированной выработки
ресурса инструмента, которая определялась из условия обеспечения
максимальной эффективности использования алмаза.

Целесообразность прекращения эксплуатации инструмента для
рекуперации оставшейся в инструменте части алмаза определялась
из условия $dV_p/d\rho^* = 0$, где V_p - изношенный объем абразива
при двукратном использовании кристалла алмаза (до и после рекупе-
рации), см³; ρ^* - оптимальная величина массы изношенной части
кристалла, после достижения которой его необходимо рекупериро-
вать, мг. Исходя из этих предпосылок, получена зависимость

$$\rho^* = (\ln \frac{a_1}{a_2} + b_2 \rho) / (b_1 + b_2) \text{ мг}, \quad (\text{II})$$

где a_1, b_1 и a_2, b_2 - параметры функции изменения удельной произ-
водительности инструмента соответственно до и после рекуперации
алмаза; ρ - масса кристалла алмаза, мг.

Достоверность полученной зависимости проверяли путем срав-
нения расчетного значения параметра ρ^* с экспериментальным

$$(P_{рас}^* = 1,02 \text{ мг} > P_{зкс}^* = 0,90 \text{ мг}).$$

Переход на практике к ограничению износа алмаза оптимальной величиной P^* целесообразно осуществить для карандашей типа ОI, О2 и О3 (ГОСТ 607-80), в которых используются достаточно крупные кристаллы природного алмаза (весовая группа (0,03-0,05) - (0,31-0,50) карат/шт). Однослойную укладку кристаллов необходимо осуществить для карандашей типа ОI и О2, изготавливаемых в настоящее время с кристаллами, расположенными цепочкой вдоль оси инструмента и в несколько слоев. Минимальный размер кристалла при эксплуатации инструмента по методике гарантированной выработки должен быть 0,8-1,0 мм. При этом рекомендуется изготавливать правящие алмазные карандаши в виде сменных многогранников, вершины и боковые грани которых оснащены кристаллами алмаза.

Испытаны правящие карандаши с алмазоносной частью, выполненной в виде сменного четырехгранника, вершины которого были оснащены алмазами. Используя полученные при этом коэффициенты функции износа алмаза ($A = 885,4$; $B = 0,15$), рассчитывали ожидаемый ресурс работы для всей партии кристаллов ($V_p = 3392,8 \text{ см}^3$). Оценку работоспособности карандашей в виде четырехгранника осуществляли по числу проходов. Ресурс 80% испытанных кристаллов оказался достаточно высоким, что позволило достичь расчетного количества проходов ($N \approx 3000$), а ресурс 20% кристаллов, выпавших из связки до достижения запланированного числа проходов, составил ≈ 2630 проходов.

Исследовали ресурс карандашей типа ОI, оснащенных рекуперированными (без последующей обработки) и в исходном состоянии кристаллами алмаза. Удельная производительность алмазного карандаша (ОI) при правке кругов твердостью МЗ составила $865,6 \text{ см}^3/\text{мг}$, что на 43% меньше аналогичного показателя для инструмента с кристаллами в исходном состоянии.

Предварительная обработка (дробление) рекуперированного алмаза позволила практически восстановить ресурс карандашей типа О4, для оснащения которых использовали алмазы зернистостью 800/630, 630/500 и 500/400. Результаты эксперимента показывают, что наработка инструмента с рекуперированными и переработанными алмазами (правили круги твердостью СТ2) составляет $\approx 87\%$ ресурса стандартных инструментов. Измерения шероховатости поверхности детали показали, что шероховатость шлифовальных кругов карандашами с кристаллами в исходном и рекуперированном состоянии позво-

ляет получить одну и ту же шероховатость поверхности ($K_a = 0,6 + 0,9 \text{ мкм}$).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. С использованием физико-химических методов исследования изучены кинетические закономерности износа кристалла в правящих карандашах и роликах. Установлено, что удельный расход алмаза изменяется по экспоненциальной зависимости.

Показано, что наиболее вероятный механизм износа алмаза в правящих инструментах — разрушение контактной поверхности под действием циклически изменяющихся термоупругих напряжений, возникающих в алмазе из-за появления в процессе правки значительных температурных градиентов.

2. Определена контактная температура при правке абразивных кругов алмазным карандашом путем решения задачи математической физики. В процессе правки кругов в контактной зоне развивается температура порядка 1315 К, которая изменяется вдоль кристалла по показательной зависимости.

3. По специально разработанной методике исследована повреждаемость природного и синтетического алмаза при механическом знакопостоянном нагружении (изучено влияние величины усилия нагружения, количества циклов и твердости опорных пластин нагружающего устройства на повреждаемость).

4. Изучено влияние тепловых факторов процесса правки на изменение механической прочности природного и синтетического алмаза. Установлено, что наличие в порошке градиента температуры, близкого по значению перепаду температуры, возникающему при работе инструмента, приводит к термоусталостному повреждению и снижению прочности кристалла.

5. Методом активного эксперимента исследован износ алмазных карандашей, оснащенных кристаллами природного и синтетического алмаза. Анализ полученных уравнений регрессии показывает, что продольная подача инструмента (в исследованном интервале варьирования) может быть увеличена до максимальных пределов, ограничиваемых лишь требованиями к качеству шлифования.

6. Установлено, что прочность кристаллов оказывает наиболее существенное влияние на бесполезно теряемый объем кристалла при эксплуатации правящих карандашей, причем с увеличением прочности теряемый объем кристаллов возрастает.

7. Получены результаты, свидетельствующие о целесообразно-

сти использования рекуперированного и переработанного алмазного сырья в правящих карандашах типа 04 (удельная производительность карандашей с рекуперированными и дроблеными порошками алмаза, а также качество правки ими шлифовальных кругов практически одинаковы аналогичным показателям для стандартных инструментов).

8. На основании результатов работы рекомендуется:

а) оценивать качество алмазного сырья для правящих инструментов по степени разупрочнения при циклических нагружениях;

б) изготавливать правящие алмазные карандаши весовой группы (0,03-0,05) + (0,31-0,50) карат/шт. однослойными в виде многогранников, вершины и боковые грани которых оснащены кристаллами алмаза;

в) лимитировать предельный износ кристалла оптимальной величиной, которая определяется с достаточной для практики точностью по предлагаемой методике.

9. Использование на практике результатов работы позволяет увеличить выпуск алмазного инструмента без привлечения дополнительного объема алмазного сырья. При этом ожидаемый экономический эффект (только за счет экономии в карандашах природного алмаза) составляет 640 рублей на 1000 карат рекуперированного алмаза.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Установка для определения прочности кристаллов алмаза на сжатие. - Алмазы и сверхтвердые материалы, вып.4, 1976, с.20-21 (в соавторстве).

2. Методика испытания однокристалльного алмазного карандаша на стойкость. - Алмазы и сверхтвердые материалы, вып.5, 1976, с.5-7 (в соавторстве).

3. Механизм износа алмаза в правящих инструментах. - Алмазы и сверхтвердые материалы, вып. I, 1976, с.9-II (в соавторстве).

4. Исследование повреждаемости алмаза при циклическом нагружении. - Алмазы и сверхтвердые материалы, вып. II, 1979, с.4-6 (в соавторстве).

5. Установка для термоциклирования кристалла алмаза. - Алмазы и сверхтвердые материалы, вып.10, 1980, с.II-12 (в соавторстве).

6. Механизм износа алмаза в правящем алмазном инструменте. - Алмазы и сверхтвердые материалы, вып.3, 1982, с.3-6 (в соавторстве).

7. К методике определения ресурса работы алмазного инструмента. - Сверхтвердые материалы, № 6, 1982, с.29-31 (в соавторстве).

8. К методике испытания алмазного правящего ролика на стойкость. - Алмазы и сверхтвердые материалы, вып.5, 1983, с.5-7 (в соавторстве).

9. Определение контактной температуры при правке абразивных кругов алмазным инструментом. - Сверхтвердые материалы, № 4, 1983, с.44-48 (в соавторстве).

10. Исследование стойкости алмазного карандаша. - Алмазы и сверхтвердые материалы, вып.11, 1983, с.7-9 (в соавторстве).

11. Исследование усталостных явлений в кристаллах алмаза. - В сб.: Тезисы докладов 9-й республиканской научно-технической конференции "Методы прогнозирования и повышения надежности машин и сооружений". - Нальчик, 1979, с.13-15 (в соавторстве).

12. О методах повышения стойкости алмазных инструментов. - В сб.: Тезисы докладов десятой республиканской научно-технической конференции по проблемам машиностроения и строительства. - Нальчик, 1980, с.4-5 (в соавторстве).

13. О механизме износа алмаза. - В сб.: Тезисы докладов одиннадцатой республиканской научно-технической конференции по проблемам строительства и машиностроения. - Нальчик, 1982, с.5-6 (в соавторстве).

14. Алмазный инструмент для правки шлифовальных кругов. А.с.СССР № 701782. - Оpubл. в Б.И., 1979, № 45 (в соавторстве).

Косиби

