

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РСФСР ПО ДЕЛАМ НАУКИ И
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

МОСКОВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ имени С.ОРДЖОНИКИДЗЕ

На правах рукописи
Для служебного пользования
Экз. № 025

ДРОНОВА НОНА ДМИТРИЕВНА

УДК 549.091.671

ИЗМЕНЕНИЕ ОКРАСКИ АЛМАЗОВ
ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ В БРИЛЛИАНТЫ
(СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Специальность 04.00.20 -

- минералогия, кристаллография

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 1991 г.

Работа выполнена в Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе и Государственном научно-исследовательском, проектно и конструкторском институте драгоценных металлов и алмазов (ГИНАЛМАЗЗОЛОТО)

Научный руководитель - доктор геолого-минералогических наук
профессор Минеев Д.А.

Научный консультант - кандидат геолого-минералогических наук
Наседкин В.Ф.

Официальные оппоненты - доктор геолого-минералогических наук
Балицкий В.С.
кандидат геолого-минералогических наук
Мартович В.П.

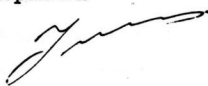
Ведущая организация - Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, геологический факультет

Защита состоится " _____ " _____ 199 г. в
_____ ч. _____ мин. в аудитории № 6-53 на заседании специализированного совета К 063.55.05 в Московском ордена Трудового Красного Знамени геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе по адресу: 117485, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГРИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 199 г.

Ученый секретарь специализированного
совета, кандидат геолого-минералогических наук



В.А.Утенков

Актуальность темы. Качество бриллиантов и их стоимость зависят не только от исходного сырья, но и в значительной степени от различных режимов технологических операций. Одним из нежелательных последствий, снижающих стоимость бриллиантов, является изменение окраски алмазов в процессе их обработки. Реальная структура кристаллов и их оптические свойства, в частности, цвет, определяются примесными дефектами - центрами окраски. Их перераспределение и взаимодействие с другими дефектами структуры обуславливает неодинаковые качественные и цветовые характеристики бриллиантов при различных режимах обработки. Определению влияния исходных свойств алмазов и режимов обработки на цветовые характеристики бриллиантов посвящена эта технологическая работа.

Цель настоящего исследования состоит в выявлении закономерностей изменения цветовых характеристик ювелирных алмазов от исходного кристалла через полуфабрикаты к бриллиантам.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи: 1) статистическое исследование и сопоставление физических свойств алмазов и изготовленных из них бриллиантов с помощью комплекса количественных методов (оптической спектроскопии, фотометрирования люминесценции, электронной микроскопии); 2) изучение режимов механической обработки алмазов и изменений свойств кристаллов в условиях производства для выбора параметров оптимизации технологических процессов; 3) выбор модели для описания процесса, вызывающего изменение окраски; 4) оценка влияния температуры на контакте алмаза и обрабатывающего инструмента с целью выявления возможных изменений окраски и разработка методики расчета контактных температур; 5) рассмотрение основных подходов к решению задачи оценки трещиностойкости.

Объектом исследований являлись ювелирные алмазы с различными качественными и цветовыми характеристиками одного из месторождений Якутии. Всего изучено свыше 2000 кристаллов и соответственно изготовленных из них бриллиантов. Детально изучено 177 плоскопараллельных пластин, специально изготовленных из образцов с определенными физико-минералогическими характеристиками.

Методы исследований. Использовались методы оптической спектроскопии (спектрофотометр СФ-18, прибор ИФС -48 фирмы Брукер (ФРГ), с ИК-микроскопом, микроскоп-фотометр МРВ-2 фирмы Лейтц (ФРГ) с последующими расчетами цветовых характеристик), методы измерения интенсивности свечения алмазов и бриллиантов в ультра-

фиолетовых лучах (фотометр ФМ-58 с УФ-осветителем ОИ-18). Исследования алмазов, полуфабрикатов, бриллиантов проводились под электронным микроскопом ЭММА-2 методом одноступенчатых угольных реплик; в условиях производственных исследований использовался поляризационно-оптический микроскоп МБС-9. При моделировании технологических нагрузок в качестве базовой установки использовалась установка ИМАШ-20-78, дооборудованная специальными устройствами (реверсом, прибором для регистрации изменения температуры, нагрузки и других технологических параметров).

В работе защищаются следующие научные положения:

1. Как свидетельствует анализ цветовых характеристик (свыше 2000) кристаллов, при технологических операциях бриллиантового производства происходит систематическое ухудшение цветовых характеристик обрабатываемых алмазов.

2. Бесцветные алмазы содержат N₃-дефекты в малых концентрациях. Голубая люминесценция у кристаллов такого типа является диагностическим признаком появления желтых нацветов в результате механической обработки.

3. Изменение цветовых характеристик обрабатываемых алмазов происходит под воздействием температурных полей и пластической деформации. При этом безазотные алмазы приобретают коричневые нацветы. Алмазы с природными N₃-центрами характеризуются усилением интенсивности желтой окраски.

4. Процесс возникновения пластической деформации при обработке алмазов в бриллианты отличается от природного механизма аналогичных деформаций. Техногенное пластическое деформирование возникает в локальной зоне контактов микронеровностей алмаза с обрабатывающей поверхностью инструмента и связывается с напряжениями, предшествующими возникновению микротрещин.

5. При оценке температур, возникающих в зоне контакта алмаза и обрабатывающего инструмента, необходимо учитывать среднюю температуру поверхности трения, объемную температуру образца и температуру вспышки на контакте. Это позволяет прогнозировать поведение материала под нагрузкой и контролировать момент возникновения дислокаций, связанный с началом пластической деформации кристаллов алмаза.

Научная новизна. I. Впервые проведено статистическое сопоставление инструментально измеренных физико-минералогических характеристик бриллиантов с теми же характеристиками исходных

алмазов. Связь массового появления центров окраски и закономерного усиления люминесценции в процессе механической обработки алмазов на большом экспериментальном материале установлена впервые. 2. Механизм приобретения алмазами нацветов в процессе обработки впервые объясняется эффектами взаимодействия примесных дефектов и дислокаций, возникающих при развитии процессов техногенного пластического деформирования. Методом микроспектрофотометрии впервые показано и объяснено перераспределения азотных центров окраски. 3. Стадийность изменения структуры обрабатываемых алмазов и модели прогнозирования их будущей характеристик при различных операциях бриллиантового производства впервые выявлены с помощью методов системного анализа и экспериментального моделирования. Предложен и впервые использован методически новый способ изучения процессов изменения качества кристаллов, используемый в трибологии металлов. 4. До последнего времени появление дислокаций, ухудшающих качество алмазов и предшествующих началу пластической деформации в алмазах связывалось со сверхвысокими давлениями и температурами, характерными для процессов природного алмазообразования. Настоящими исследованиями показана возможность развития пластических деформаций при значительно более низких физических параметрах, сопровождающих механическую обработку при технологических операциях бриллиантового производства. 5. Модель теплообразования на контакте алмаза с обрабатывающим инструментом, методика расчета контактных температур, основные аспекты трещиностойкости природных алмазов при их обработке разработаны автором впервые.

Апробация работы.

Основные результаты исследований докладывались автором на конференциях молодых ученых МГРИ (Москва, 1990, 1991 г.), на международном семинаре по изучению процессов разрушения и трения сверхтвердых материалов (Ростов, 1990 г.), на Всесоюзной конференции "Износостойкость машин". Опубликовано шесть работ по теме диссертации.

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, содержит 120 страниц машинописного текста, 10 рисунков, 10 таблиц. Список литературы включает 180 наименований. Во введении показана актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, рассмотрена научная новизна, практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту. Глава I представляет

обзор литературы по дефектам в структуре алмаза, влияющим на изменение оптических свойств. Рассмотрены физико-технологические свойства алмаза с точки зрения их возможного влияния на изменение окраски алмазов при обработке. Глава 2 рассматривает природу окраски алмазов, взаимосвязь различных факторов, вызывающих изменения физических свойств, влияющих на окраску алмазов. Разработан системный подход и методы моделирования механизма приобретения алмазами желтой и коричневой окраски. Для моделирования факторов, вызывающих изменение окраски и других физических свойств при обработке, проведено исследование температур, возникающих на контакте алмаза с обрабатывающим инструментом, рассмотрены механизмы разрушения алмазов при различных технологических операциях бриллиантового производства. Глава 3 рассматривает методы исследований изменения окраски алмазов в условиях механической обработки. Приведены результаты экспериментов по изучению изменений интенсивности люминесценции, цветовой насыщенности и интенсивности окраски, а также электронно-микроскопических исследований и исследований в средней инфракрасной области алмазов при различных воздействиях.

В заключении обсуждаются результаты и делаются общие выводы научного и практического характера.

Материалами работы являются данные, полученные автором при непосредственном участии в качестве одного из исполнителей научно-исследовательских работ, проводимых институтом "Гиналмаззолото" по теме "Исследование влияния характеристик исходного сырья и режимов обработки на цвет бриллиантов" (№ гос.регистрации 89.028.080) и при выполнении темы "Изучение тонкой структуры алмаза" по программе "Геосинтез" в 1990-1991 годах в МГРИ под руководством профессора Минеева Д.А.

Для изучения структурных аспектов изменения окраски алмазов в условиях реального производства использованы установки МПО "Кристалл", Государственного центрального научно-исследовательского, проектного и конструкторского института драгоценных металлов и алмазов ("Гиналмаззолото"), в лаборатории инструментальных методов исследований ВНИИСЭ проводились эксперименты по изучению спектров поглощения в видимой и средней ИК-области. Проведение испытаний по моделированию процессов изменения и методов контроля осуществлено в лаборатории общих физических исследований института машиноведения им. Благоднарова А.А. АН СССР. Сотрудникам указанных учреждений, оказавшим большую помощь в проведении экспериментов и обсуждении результатов, автор выражает свою искреннюю признательность.

Автор глубоко благодарен доктору геолого-минералогических наук профессору Минееву Д.А., за научное руководство работой доктору технических наук Брауну Э.Д., кандидату геолого-минералогических наук Наседкину В.Ф. за систематические консультации.

Обоснование защищаемых положений

Положение I. Как свидетельствует анализ цветовых характеристик кристаллов, при технологических операциях бриллиантового производства происходит систематическое ухудшение цветовых характеристик обрабатываемых алмазов.

Бесцветные и слабо окрашенные алмазы составляют значительную, наиболее дорогую часть ювелирных алмазов. Край оптического поглощения алмаза находится в ультрафиолетовой области, в видимой же области ювелирные алмазы обладают коэффициентом пропускания 70 и более процентов. В окраске реальных кристаллов алмаза принимают участие элементы структуры, имеющие поглощение в видимой области спектра.

Для исследования распределения цветовых характеристик алмазного сырья, поступающего на технологические участки бриллиантового производства, было отобрано 120 партий алмазов, по 100 каратов в каждой партии, представленных всеми цветовыми классами, вес каждого кристалла был свыше одного карата. Алмазы были визуальным образом оценены по существующим в СССР техническим условиям. Основную массу среди изученных кристаллов составили алмазы желтого ряда, различные по цветовой насыщенности. Из описанных выше алмазов были изготовлены бриллианты. На операции "оценка" данные партии алмазов были оценены визуально. Результат статистических исследований по изучению изменения цвета в процессе обработки показал, что цвет алмазов при обработке ухудшается по сравнению с исходным сырьем. У алмазов бесцветных (цвет I, 2) в 50%-х случаях происходит появление желтого оттенка от едва уловимого до вполне видимого глазом. Только 5% от исходного количества алмазов сохранили первоначальный цвет. Наблюдается появление коричневых нацветов. Количество алмазов, получивших в процессе обработки коричневый нацвет, закономерно и зависит от ряда технологических причин. Наблюдалась и обратная картина, когда из коричневых алмазов получились бесцветные бриллианты. Данное явление объясняется не отходом дефектов, а снятием при обработке слоев, подвергшихся воздействию эпигенетических процессов.

Данные по статистике выхода цветов бриллиантов из алмазов

различного размера и цвета получены из той совокупности алмазов, которая использована в настоящей работе, и отражают результаты статистической обработки образцов, подвергшихся спектральным измерениям с последующим изготовлением из них бриллиантов. В табл. I показана статистика цвета бриллиантов в зависимости от размера и цвета исходного алмаза, в процентах выхода от общего числа бриллиантов (малых или больших).

Таблица I

Статистика цвета бриллиантов									
цвет бр-тов	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
4р-р, 1цв									
малые	<4	14	38	43	5	-	-	-	-
большие	<4	<4	8	16	41	28	6	-	-
4р-р, 2цв									
малые	<4	5	26	38	18	8	3	2	-
большие	<4	<4	9	28	33	24	7	-	-
5р-р, 2цв									
малые	<4	4	20	48	24	4	-	-	-
большие	<4	4	15	31	38	12	-	-	-
6р-р, 1цв									
малые	<4	12	35	26	15	12	-	-	-
большие	<4	<4	20	28	29	11	8	4	-
7р-р, 1цв									
малые	<4	6	21	37	26	8	2	-	-
большие	<4	<4	5	14	23	34	20	4	-
7р-р, 2цв									
малые	<4	6	28	33	19	11	4	-	-
большие	<4	<4	5	8	27	32	15	10	3
8р-р, 2цв									
малые	<4	<4	8	19	32	25	13	3	-
большие	<4	<4	<4	6	41	26	15	10	2

Приведенный выход цветов бриллиантов в дальнейшем может быть использован для прогнозирования вероятности получения цвета бриллиантов, получаемых из конкретного алмаза определенного размера и цвета.

Положение 2. Бесцветные алмазы содержат N3-дефекты в малых концентрациях. Голубая люминесценция у кристаллов такого типа является диагностическим признаком появления желтых нацветов в результате механической обработки.

подавляющее большинство ювелирных алмазов - алмазы желтого и коричневого ряда. Для алмазов желтого ряда характерен дефект структуры N3, в настоящее время интерпретируемый как группа из трех атомов азота с вакансией. В зависимости от концентрации этих дефектов возможны оттенки желтого цвета от едва уловимых до ясно видимых. В бесцветных алмазах, в которых даже спектрофотометром не удается зафиксировать наличие N3-дефектов, они также могут присутствовать, если присутствует голубая люминесценция. Только 10-12% всех исследованных алмазов с ясно видимым желтым оттенком, указывающим на присутствие N3 дефектов, не имели голубой люминесценции или она была ослаблена. Это вызвано наличием примесей в структуре алмаза, вызывающих тушение люминесценции. По литературным данным, основную роль в тушении N3 люминесценции в структуре алмаза играют A-дефекты.

Важным оптическим свойством N3-центра является то, что голубой цвет люминесценции является дополнительным к желтому оттенку окраски. Это означает, что при равенстве зрительных реакций от интенсивностей излучений этих оттенков их суммарная реакция на глаз оценщика будет такой же, как от бесцветного (белого) излучения; то есть при определенных условиях желтый оттенок окраски компенсируется голубым оттенком люминесценции. В общем случае имеется неравенство интенсивностей окраски по зонам, зональность свечения зон и неравенство визуальных реакций от желтого цвета окраски и голубого цвета люминесценции. Можно рассматривать люминесценцию как фактор "компенсации" желтой окраски, действующий со знаком "плюс" или "минус".

Из всего сказанного следует ряд практических выводов, важных для некоторых аспектов оценки алмазов и их разметки перед распиливанием.

Необходимо учитывать совместное воздействие на глаз сортировщика желтого оттенка окраски и голубого оттенка люминесценции кристалла. Поэтому следует алмазы первого цвета разделять на те, из

которых могут получиться бриллианты высших цветов и на те, из которых они не могут быть получены. При входном контроле кристаллов из общего числа следует извлечь все нелюминесцирующие алмазы без малейшего присутствия желтого оттенка (допускается слабый коричневый нацвет) и с пропусканием более 70%. Эти алмазы могут рассматриваться как исходные кристаллы для получения бриллиантов I, 2 цвета. Количество их достигает не более 1-3% от общего числа.

Положение 3. Изменение цветовых характеристик обрабатываемых алмазов происходит под воздействием температурных полей и пластической деформации. При этом безазотные алмазы приобретают коричневые окраски. Алмазы с природными N3-центрами характеризуются усилением интенсивности желтой окраски.

Для исследования причин возможных изменений цвета алмазов при их обработке проводились эксперименты по выяснению изменений в спектрах пропускания и изменений интенсивности фотолюминесценции. При обработке алмазов после каждой технологической операции изучались спектры пропускания. Запись спектров проводилась по методике, разработанной в ЦНИГЛ Гохрана СССР для алмазов, полуфабрикатов и бриллиантов. При I-м типе спектра (кристалл с идеальной структурой, без дефектов - одинаковое пропускание в видимой области) алмаза до обработки, после обработки может появиться 2-ой тип спектра, связанный с наличием N3-центров. Результаты показали, что у 3% нелюминесцирующих алмазов не замечено появление N3-центра. У алмазов, имеющих до обработки 2-й тип спектра (центр N3 и голубую люминесценцию), в 50% случаев замечено усиление полос пропускания, связанных с данным дефектом. Из пластически деформированных алмазов (3-й тип спектра) получено 10% бриллиантов с улучшенными цветовыми характеристиками.

Одновременно с записью спектров пропускания после каждой операции фиксировалась величина интенсивности фотолюминесценции. Результаты экспериментов занесены в табл. 2. Люминесценция (фл) измерялась в относительных единицах. Удельная интенсивность люминесценции определялась как отношение общей интенсивности к массе исследуемого кристалла алмаза. Интенсивность измеряемой люминесценции колеблется от 0,61 до 130 относительных единиц. Результаты эксперимента показали, что сразу после распиливания интенсивность свечения в УФ-лучах увеличивается в 5,5 раз, при дальнейшей обработке усиление интенсивности свечения возрастает незначительно.

Таблица 2

**Изменение люминесценции алмазов
в процессе их обработки в бриллианты
(3 группа, 1-9 размер)**

Характеристика по тех условиям	Фл до обработки отн. единиц	Фл после распиливания отн. единиц	Фл после обточки отн. единиц	Фл после полирования отн. ед.
бесцветные	отсутствует	5-7	5-7	5-7
1-2 цвет	7-10	20-25	21-24	21-26
3-4 цвет	8-11	35-50	37-52	39-54
5-6 цвет	10-20	50-100	52-102	54-104
7 цвет	20-40	100-120	105-124	110-130
коричневые	0-50	115-125	117-120	120-130

Таким образом, результаты обработки алмазов на всех стадиях технологического процесса и экспериментальные исследования показывают общее увеличение центров окраски в бриллиантах. Случаи отсутствия концентрации центров окраски в бриллиантах следует рассматривать как исключение из общего правила. Концентрация дефектов, содержащих азот, в том числе и центров окраски, происходит на структурах и субструктурах, а также дислокациях и микротрещинах в обрабатываемых алмазах в результате воздействия высоких градиентов энергии.

Изучение влияния внешних воздействий на алмаз в процессе его обработки в бриллианты представляет интерес в связи с теми изменениями свойств кристаллов, которые имеют место вследствие диффузионных и различных других явлений, вызываемых локальными тепловыми и механическими микроударами, которые могут вызвать перестройку дефектов структуры алмаза. Интенсивные пластические деформации приводят к увеличению концентрации в обрабатываемом алмазе субмикроскопических дефектов, которые являются concentra-

торами напряжений. Наиболее интенсивно происходит увеличение концентрации дислокаций. Дислокации создают в решетке алмаза области сжатия и растяжения, где происходит смещение атомов углерода из равновесных состояний. Нарушения в окрестности таких дефектов характеризуются изменениями длин и углов химических связей, которые определяют энергию связывающих электронов.

Электронно-микроскопические исследования поверхностей обрабатываемых алмазов и полуфабрикатов дают возможность сделать заключение, что алмазы, подвергшиеся обработке, имеют следы техногенного деформирования, о чем свидетельствует наличие линий скольжения на нагруженных гранях.

Начало процесса пластического деформирования заключается в образовании и движении дислокаций. Исходным является то, что реальный кристалл содержит значительное количество исходных элементов пластически деформированной структуры. Благоприятными условиями для образования "зародышей сдвига" являются в области различных дефектов, т.е. места перенапряжений.

В процессе трения (под действием деформаций и значительных температур) в поверхностном слое обрабатываемого кристалла образуются вакансии и дислокации. Образованные дислокации перемещаются по кристаллу. Одни из них могут выйти на поверхность, другие - затормозиться на внутренних неоднородностях, третьи - создавать локальные энергетические зоны.

Количественные характеристики вышеперечисленных процессов прямо влияют на проявление всех структурных изменений кристаллической решетки. От продолжительности и интенсивности технологической операции зависит, будет ли проходить процесс самозалечивания или в алмазе начнутся процессы, ведущие к структурным нарушениям. Одним из признаков начала таких процессов является появление коричневого оттенка у алмазов, не имеющих в своем составе азот, т.е. до обработки классифицированных как бесцветные. При моделировании нагрузок на испытательной машине ИМАШ 20-78, при достижении нагрузочных параметров до 5000 об/мин, 42 кг/см², ранее бесцветные пластины алмазов приобретали слабый бурый оттенок и на фотографиях, сделанных при увеличении $\times 23000$, четко прослеживается развитие линий скольжения. Ответственными за коричневую окраску ювелирных алмазов являются субмикроскопические структурные дефекты, для которых характерно постепенное увеличение пропускания к красной границе спектра. Эти дефекты представляют собой относительно тонкие области, развитые по плоскостям скольжения, состоящие в

свою очередь из регулярно расположенных зерен, каждое из которых развернуто на некоторый угол относительно основной структуры кристалла. Ориентировочные расчеты дают толщину областей структурных дефектов ~ 150 нм.

Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами сводится к взаимному притяжению или отталкиванию. В результате притяжения вокруг дислокаций образуются облака (атмосферы) из примесных атомов, а собственные точечные дефекты поглощаются дислокациями, если их концентрация превышает равновесную. Все эти взаимодействия вызывают изменения технологических свойств кристаллов (усиление желтой и коричневой окраски, изменение хрупкости и др.), обусловленных как дислокациями, так и точечными дефектами. Поскольку дислокации обладают упругим и, как правило, электрическим полем, а примесные атомы и собственные точечные дефекты создают в решетке упругие напряжения и часто несут заряд, между ними действуют упругие и электрические силы. Когда примесные атомы оказываются в ядре дислокации (у расщепленных дислокаций всю полосу дефекта упаковки следует считать ядром), проявляются также химические силы взаимодействия. Химическое взаимодействие примесных атомов с дефектами упаковки сводится к притяжению примесных атомов азота, поскольку осаждение примесных атомов на дислокации понижает энергию дефекта упаковки и образование N3 центра происходит как образование наиболее энергетически стабильного.

Сочетание N3 центров с присутствием линии скольжения вызывает появление в бриллианте желтовато-коричневых нацветов.

Положение 4. Процесс возникновения пластической деформации при обработке алмазов в бриллианты отличается от природного механизма аналогичных деформаций. Техногенное пластическое деформирование возникает в локальной зоне контактов микронеровностей алмаза с обрабатывающей поверхностью инструмента и связывается с напряжениями, предшествующими возникновению микротрещин.

Каждая технологическая операция имеет свои режимы и особенности воздействия на обрабатываемый кристалл алмаза. Но в целом, технологический процесс получения бриллиантов можно рассматривать как процесс трения, которому сопутствуют: выделение теплоты, электризация, изменение напряженного состояния поверхностного слоя.

В результате наших экспериментов показано, что фактический

контакт обрабатываемого алмаза и ограночного или распиловочного диска происходит не на всей поверхности, а в отдельных точках, которые одновременно находятся под действием деформирующего напряжения от нормальной нагрузки и от силы трения. Электронно-микроскопические исследования изменения поверхности алмазов и алмазных полуфабрикатов в процессе обработки показали, что механизм износа алмаза при обработке имеет несколько стадий: вскрытие, абразивный износ и усталостное разрушение. Первая стадия непродолжительна и обусловлена хрупким разрушением при ударно-изгибных воздействиях, она завершается образованием небольшой гладкой поверхности на полуфабрикате, фактическая площадь контакта рабочей поверхности с диском при этом возрастает, что приводит к нагреву обрабатываемого полуфабриката. При высоких температурах наблюдается резкое снижение твердости алмаза, в результате чего создаются условия для микроцарапания поверхности алмаза абразивными частицами. По мере линейного износа гладкая поверхность кристалла сначала покрывается сетью микротрещин, которые со временем разрастаются, при этом шероховатость поверхности возрастает, что приводит к уменьшению фактической площади контакта кристалла с диском и повышению температуры приповерхностного слоя алмаза. Нелинейный характер изменения теплопроводности при высоких температурах выше $700-900^{\circ}\text{C}$ и блуждание небольшого пятна теплового контакта по обрабатываемой поверхности алмаза, создают условия для возникновения значительных термоупругих напряжений. Эти участки плоского сжатия алмаза, вызванные такого рода напряжениями могут вызывать локальное разрушение алмаза, которое также проходит в несколько стадий. В зоне контакта, кроме упругих деформаций, имеют место пластические деформации, которые возникают в зоне контактов микронеровностей. Состояние деформации связывается с давлением, предшествующими образованию микротрещин при обработке. Для них характерна неоднородность развития, объясняемая разными причинами; прежде всего разной высотой и формой неровностей обрабатываемой площадки алмаза. Тепловые явления, явления диффузии, адгезии также являются определяющими для возникновения процессов техногенного деформирования.

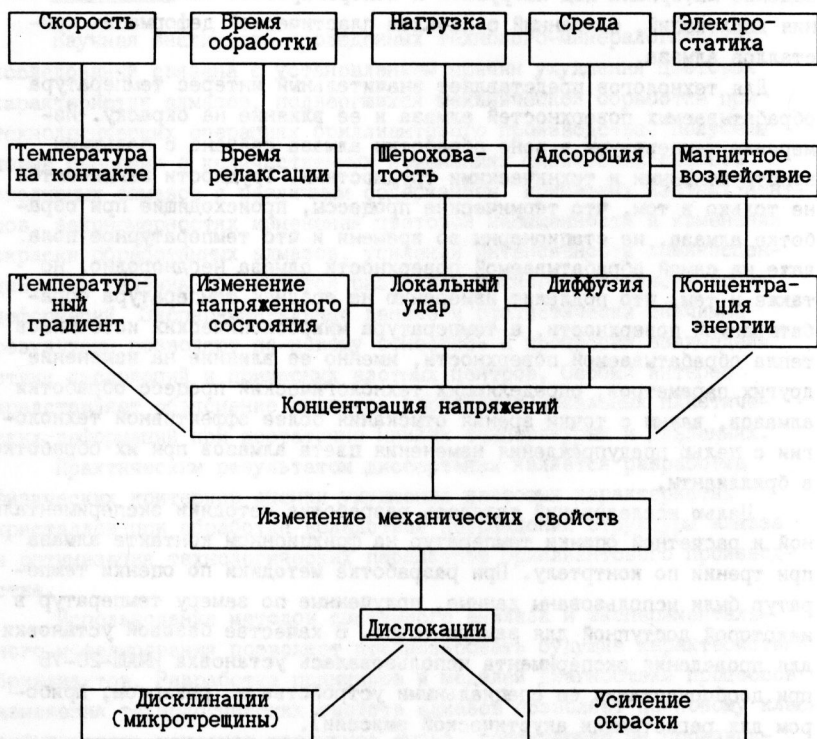
Для установления пограничных зон, в которых происходит ухудшение качественных характеристик обрабатываемых алмазов, нами использовались методы экспериментального моделирования и методы системного анализа (таблица 3).

Определяющие параметры оказывают влияние на характеристики всех

Таблица 3.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОБЛЕМЫ

Изменение физических свойств алмаза
в процессе механической обработки



подсистем, находящихся на любых уровнях. Этими параметрами являются: скорость (в данном случае скорость вращения распиловочного или ограничного диска), время обработки, нагрузка на алмаз, создаваемая инструментом с закрепленным обрабатываемым алмазом, соотношение геометрических размеров, влияние среды, электрические поля, минералогическая разновидность алмазного сырья.

Положение 5. При оценке температур, возникающих в зоне контакта алмаза и обрабатывающего инструмента, необходимо учитывать среднюю температуру поверхности трения, объемную температуру образца и температуру вспышки на контакте. Это позволяет прогнозировать поведение материала под нагрузкой и контролировать момент возникновения дислокаций, связанный с началом пластической деформации кристаллов алмаза.

Для технологов представляет значительный интерес температура обрабатываемых поверхностей алмаза и ее влияние на окраску. Измерение температуры в зоне обработки алмаза связано с большими конструктивными и техническими трудностями. Трудности заключаются не только в том, что термические процессы, происходящие при обработке алмаза, не стационарны во времени и что температурное поле даже на самой обрабатываемой поверхности алмаза неоднородно, но также и тем, что подлежит измерению не средняя температура обрабатываемой поверхности, а температура микроскопических источников тепла обрабатываемой поверхности, именно ее влияние на изменение других параметров, определяющих технологический процесс обработки алмазов, важны с точки зрения отыскания более эффективной технологии с целью предупреждения изменения цвета алмазов при их обработке в бриллианты.

Целью исследований являлась разработка методики экспериментальной и расчетной оценки температур на фрикционном контакте алмаза при трении по контртелу. При разработке методики по оценке температур были использованы данные, полученные по замеру температур в некоторой доступной для замера точке. В качестве базовой установки для проведения эксперимента использовалась установка ИМАШ-20-78 при дооборудовании ее специальными устройствами реверсом, прибором для регистрации акустической эмиссии).

На основе полученных данных пересчетом по известным формулам получены средние температуры поверхностей трения при различных нагрузках. При этом в соответствии с рекомендациями теории тепловой динамики трения и износа (ТДТИ) максимальная температура трения будет получаться и определяться как сумма $V_{max} = V^* + V_{всп}$

где $\sqrt{v_{сп}}$ - температурная вспышка,

V^* - средняя температура поверхности трения.

Температура по поверхности трения распределена неравномерно, поэтому замеры температур в различных точках номинальной поверхности трения в процессе эксперимента давали разные значения, которые могут быть ограничены некоторой зоной. Данные о температуре, до которой нагревался алмаз в процессе обработки, связывались с изменениями окраски, откуда получены корреляции температуры и системы усиления коричневого оттенка по сравнению с исходным алмазом.

Заключение

Научная значимость проведенных технологического-минералогических исследований связана с установлением причин ухудшения цветовых характеристик алмазов, подвергшихся механической обработке при технологических операциях бриллиантового производства. Получены новые сведения о количественных изменениях физических свойств ювелирных алмазов с различным содержанием примесных азотных центров, закономерностях изменения цветовой насыщенности и изменении окраски обработанных алмазов, усилении интенсивности люминесценции. Эти явления объясняются развитием техногенных пластических деформаций. Экспериментальные данные и статистически значимые результаты позволяют по-новому отнестись к процессам взаимодействия дислокаций и примесных азотных центров. Особый интерес представляет объяснение процесса зарождения локальных пластических деформаций при достаточно низких температурах и давлениях.

Практическим результатом диссертации является разработка физических критериев оценки ухудшения цветовых характеристик кристаллов при обработке вследствие повреждения структуры алмаза и оптимизация технологических параметров бриллиантового производства.

Использование методов системного анализа и экспериментального моделирования позволяет прогнозировать будущие характеристики бриллиантов. Разработка принципов и моделей диагностики процессов изменения технологических свойств алмазов позволяет по-новому классифицировать исходное ювелирное сырье, поступающее на производственные объединения "Кристалл".

Методика расчета контактных температур, разработанная автором диссертации, представляет интерес не только для технологиче-

ской минералогии, но и для специалистов в области трения и износа алмазного инструмента.

Список работ по теме диссертации

1. Теоретический анализ причин возникновения коричневой окраски в алмазах при их обработке в бриллианты //Колыма. 1990. - № 3. -С.36-37.

2. Деформационная окраска бриллиантов //Колыма. 1990. -№ 4. С.33-34.

3. Деформационная окраска алмазов //Геология и разведка. 1990.-№ 5. -С. 144.

4. Влияние дефектных центров в структуре алмаза на изменение оптических свойств //Колыма. 1990. - № 10. -С.29-30.

5. Механизм пластической деформации в поверхностном слое алмаза при обработке его в бриллианты //Оптимизация эксплуатационных свойств опор скольжения: тез. доклад семинара-школы ТРИБОЛОГ-6М с международным участием. -Ростов, 1990. -С.68-70. (В соавторстве с Наседкиным В.Ф., Брауном Э.Д., Минеевым Д.А.).

6. Методика исследования и оценки температур на фрикционном контакте алмаза с чугуном //Всесоюзная научно-техническая конференция "Износостойкость машин": тезисы докладов -Брянск, 1991 С.55. (в соавторстве с Гинсбургом А.Г.).

Гинсбург

Подписано к печати 26 сентября 1991 г.
Тираж 100. Заказ 24-91. ДСП 27-7
Ротапринт ИМГРЭ

