



БИБЛИОТЕКА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЯ



Г. Д. БУРДУН  
В. Ф. СУРОГИН  
В. Г. ДАРЕВСКИЙ

МЕТОДЫ  
И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ  
КАЧЕСТВА  
АЛМАЗНОГО  
ИНСТРУМЕНТА



БИБЛИОТЕКА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЯ

Г. Д. БУРДУН  
В. Ф. СУРОГИН  
В. Г. ДАРЕВСКИЙ

МЕТОДЫ  
И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ  
КАЧЕСТВА  
АЛМАЗНОГО  
ИНСТРУМЕНТА



МОСКВА

«МАШИНОСТРОЕНИЕ»

1979

ББК 34.9

Б92

УДК 621.922:621.921.34

Рецензент канд. техн. наук Г. А. Круглов

Бурдун Г. Д. и др.

Б92 Методы и средства контроля качества алмазного инструмента / Г. Д. Вурдун, В. Ф. Суругин, В. Г. Даревский. — М.: Машиностроение, 1979. — 119 с., ил. — (Б-ка приборостроителя).

45 к.

В книге освещены основные вопросы контроля алмазного инструмента. На основании подробного анализа методов и средств измерения, применяемых на всех стадиях производства инструмента, дана оценка их пригодности для проведения соответствующих контрольных операций. Рассмотрены новые прогрессивные методы и средства контроля, не используемые в настоящее время при изготовлении алмазного инструмента, но широко применяемые в других областях промышленности для выполнения аналогичных операций. Приведены также сведения о новейших методах контроля и их приборном оснащении.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занятых в области производства, контроля и эксплуатации алмазного инструмента.

31305-272  
Б                      272-79. 2706000000  
038(01)-79

ББК 34.9  
6П5.8

© Издательство «Машиностроение», 1979 г.

Высокие физико-механические свойства алмазов и сверхтвердых материалов дали возможность широко использовать инструменты, изготовленные из них, во многих областях народного хозяйства нашей страны. Они нашли применение в таких операциях, как шлифование, сверление, хонингование, точение, заточка, доводка, бурение и т. д.

Обработка различных металлических и неметаллических материалов алмазными инструментами обеспечивает получение высокой точности размеров деталей, отличного качества обработанной поверхности, долговечности изделий и их высокой работоспособности при эксплуатации.

Особенно эффективны алмазные инструменты при обработке труднообрабатываемых материалов, применяемых в двигателестроении, авиационном, автомобилестроении и т. д.

Применение алмазных инструментов при заточке и доводке твердосплавных инструментов, обработке изделий из твердых сплавов, стекла, полупроводников, бурении горных пород, волочении проволоки из черных и цветных металлов обеспечивает экономию до 80 руб. на каждый карат алмаза по сравнению с твердосплавными инструментами. При точении цветных металлов и неметаллических материалов, например, замена твердосплавных инструментов лезвийными из карбонадо (в десятки и сотни раз более стойкими) позволяет повысить производительность труда в 2—3 раза.

Большую часть алмазных инструментов изготавливают из алмазных порошков способом холодного прессования с последующим спеканием и горячей допрессовкой брикетов, способом горячего прессования, а также гальваническим способом. Значительное число инструментов производят из кристаллов алмаза.

В отечественном промышленном производстве алмазных инструментов широко применяют природные и синтетические алмазы и сверхтвердые материалы. Советский Союз занимает ведущее место в мире в области производства инструментов из этих высокоэффективных материалов.

Производство прогрессивных алмазных инструментов в 9-й пятилетке значительно превысило предусмотренные планом объемы. Освоено серийное производство инструментов из новых видов крупных синтетических алмазов типов «карбонадо», «баллас», СС, СВС и синтетических сверхтвердых материалов типов «эльбор-Р», «гексанит-Р» и др.

В 10-й пятилетке — пятилетке эффективности и качества — планируется сохранить высокие темпы производства инструментов из



алмазов и сверхтвердых материалов, как наиболее экономичных и способствующих повышению качества и производительности обработки. Если в минувшей пятилетке номенклатура только алмазных инструментов достигла 3000 наименований, то в новом пятилетии она будет насчитывать около 4000 наименований.

Основное внимание в период 1976—1980 гг. будет уделено повышению качественных показателей инструментов из алмазов и сверхтвердых материалов при значительном росте объемов их выпуска. Прежде всего планируется резко увеличить в общем выпуске удельный вес инструментов из высококачественных крупных моно- и поликристаллов алмазов. Предполагается, в частности, полностью решить проблему замены высококачественного природного сырья синтетическим при правке шлифовальных кругов, протягивании стальной и медной проволоки, в бурении, камнеобработке, т. е. там, где природные алмазы остаются сегодня пока единственной сырьевой базой. Выпуск инструментов из эльбора будет развиваться опережающими темпами по сравнению с алмазными.

Широкое применение алмазных инструментов и их эксплуатационные показатели обуславливают высокие требования к качеству их изготовления. Поэтому важное значение приобретают вопросы приборного контроля при проведении операций технологического процесса изготовления алмазных инструментов и контроля их качества.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МОНОКРИСТАЛЬНОГО АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

### 1. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ РЕЗЦОВ

На отечественных специализированных заводах алмазного инструмента освоено производство широкой номенклатуры режущих инструментов из кристаллов алмаза и сверхтвердых материалов: резцы для точения цветных металлов, их сплавов и неметаллических материалов; резцы для правки шлифовальных кругов на операциях профильного шлифования; резцы для обработки дисков магнитной памяти электронно-вычислительных машин (ЭВМ) и т. д.

Алмазные резцы различаются по своему назначению (токарные, проходные, расточные и др.) и методам крепления кристалла алмаза в стержне резца, изготовленного из стали марки 40Х. Крепление алмаза (сверхтвердого материала) осуществляется пайкой серебряным припоем марки ПСр45 или механическим креплением. Некоторые типы алмазных резцов приведены на рис. 1.

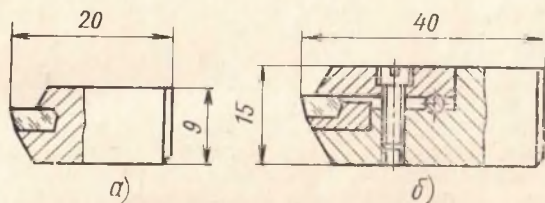


Рис. 1. Алмазные резцы различных конструкций:  
а — с креплением алмаза пайкой; б — с механическим креплением алмаза

За последние годы значительно расширилось применение алмазных резцов для тонкого точения деталей из цветных металлов и сплавов и неметаллических материалов. Это обусловлено повышением требований к качеству поверхностей и точности обработки деталей, более широким применением в промышленности труднообрабатываемых металлов и неметаллических материалов с высокими абразивными свойствами, внедрением автоматизации в технологические процессы обработки.

Алмазные резцы для чистового точения позволяют получить обработанную поверхность с шероховатостью 12-го класса. Например, их применение на предприятиях радиотехнической промышленности

значительно снижает трудоемкость изготовления дисков магнитной памяти ЭВМ за счет исключения операции шлифования. Экономический эффект от их внедрения только на двух заводах составил 120 000 рублей [2]. Резцы из сверхтвердых материалов — эльбора-Р, гексанига-Р позволяют заменить шлифование деталей из закаленных сталей их точением, что значительно повышает качество обработки, так как при этом обработанная поверхность ее не засоряется частицами абразива.

Главным фактором, определяющим высокое качество изделий и повышение производительности при точении алмазными резцами, является высокая размерная стойкость алмазного режущего инструмента, достигающая 50—200 ч машинного времени. Такие эксплуатационные показатели резцов обусловлены высокой твердостью и износостойкостью алмаза и сверхтвердых материалов, малым коэффициентом трения по обрабатываемому материалу, сравнительно высокой производительностью. Вместе с тем алмазы обладают повышенной хрупкостью, поэтому для алмазного инструмента правильный выбор геометрических параметров и изготовление режущей части резцов и режимов резания имеет особенно большое значение [21].

На основании ГОСТ 13288—67 — ГОСТ 13297—67 «Резцы алмазные» к резцам предъявляют следующие технические требования.

Для изготовления резцов должны применяться аттестованные технические алмазы соответствующей формы. На режущей части резца не должно быть трещин, сколов и выкрашиваний, видимых при увеличении не менее  $\times 100$ . Алмазы должны быть кристаллографически ориентированы определенным образом: режущая кромка резца должна быть расположена таким образом, чтобы вектор силы резания не был направлен параллельно плоскостям спайности кристалла алмаза, а износ при работе резца происходил в твердом кристаллографическом направлении.

Крепление алмаза во вставке производят методами порошковой металлургии при температуре до  $800^{\circ}\text{C}$ . Затем вставку с кристаллом алмаза закрепляют в стержне резца посредством механического крепления или пайкой. Иногда производят непосредственную пайку алмазов в стержень. В этом случае используют серебряный припой. На поверхности стержней и накладок не должно быть следов коррозии, вмятин, забоин и других дефектов, видимых невооруженным глазом.

Предельное отклонение от перпендикулярности плоскостей стержня к опорной поверхности для резцов с прямоугольным сечением стержней составляет не более  $30'$ . Для резцов с прямоугольным сечением стержня допускается вогнутость опорной поверхности не более 0,02 мм на длине 100 мм и не более 0,01 мм по всей ширине. В зависимости от изготавливаемых резцов предельное отклонение углов заточки режущей части не должно превышать  $\pm 1-2^{\circ}$ . Допускается выполнение радиуса закругления вершины резца в виде фасетки.

Готовые алмазные резцы испытывают на размерную стойкость и прочность путем наружного обтачивания круглых образцов из латуни марки ЛС59 со скоростью резания 600 м/мин, продольной подачей 0,10 мм/об и глубиной резания 0,06 мм. Для испытания применяют станки, пригодные для работы алмазными резцами с указанными режимами. Испытуемые алмазные резцы признают годными, если после 5 мин машинного времени работы на их режущих кром-



Таблица 1

Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средства контроля
Сортировочная	Геометрические размеры кристалла алмаза или заготовки поликристалла	Размерный	Универсальные средства измерения (микрометр, линейка и т. д.), весы лабораторные аналитические ВЛА-200 М
Приготовление клеевой массы Ориентация и разметка алмаза	Температура, время нагрева Расположение будущих элементов режущей части в соответствии с кристаллографическими осями кристалла	—	Термометр, часы сигнальные Лупа, рентгеновский аппарат
Приклеивание кристалла алмаза или заготовки к подложке	Температура, время	—	Термометр, часы сигнальные
Предварительное шлифование	Геометрические размеры кристалла алмаза или заготовки	Размерный	Универсальные средства измерения
Контрольная	Трещины, сколы и другие дефекты на обработанной поверхности алмаза или заготовки	Оптический	Лупа с увеличением $\times 10$
Шлифование вспомогательных поверхностей	Геометрические размеры алмаза или заготовки	Размерный	Универсальные средства измерения
Контрольная	Трещины, сколы и другие дефекты, геометрические размеры алмаза или заготовки	Оптический	Лупа с увеличением $\times 10$ , универсальные средства измерения
Приготовление связки вставки Отвешивание навески связки	По установленной технологии Масса навески	—	—
Подготовка пресс-формы	Геометрические размеры пресс-формы	Размерный	Весы лабораторные аналитические ВЛА-200М Универсальные средства измерения
Прессование брикета с алмазами или заготовкой Спекание брикета с алмазами или заготовкой	Усилие прессования Температура, время	Манометрический Термоэлектрический (по ЭДС термопары)	Манометр с пределами измерения до $250 \text{ кгс/см}^2$ Термопара ТХА в комплекте с потенциометром ЭПД-12, часы
Контрольная (после выпрессовки брикета с алмазом или заготовкой)	Геометрические размеры Дефекты поверхностей Твердость брикета с алмазом	Размерный Оптический Механический	Универсальные средства измерения Лупа с увеличением $\times 10$ Прибор для измерения твердости по методу Бринелля



Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средства контроля
Разметочная	Геометрические размеры брикета	Размерный	Универсальные средства измерения
Фрезерная	Геометрические размеры брикета	Размерный	Универсальные средства измерения
Контрольная	Геометрические размеры брикета	Размерный	Универсальные средства измерения
Сборочная	Качество сборки (закрепление брикета с алмазом в державке)	Визуальный	—
Пайка	Температура	Оптический	Оптический прибор
Шлифование режущей части резца	Геометрические размеры	Размерный, оптический	Универсальные средства измерения
Доводка режущей части резца	Шероховатость поверхности	Оптический	Микроскоп ПСС-2
	Отсутствие дефектов	Оптический	Лупа с увеличением $\times 10$
	Шероховатость поверхности и прямолинейность режущих кромок	Оптический	Микроскоп ПСС-2
Сборочная	Отсутствие дефектов Качество сборки	Оптический Визуальный	Лупа с увеличением $\times 10$ —

как при увеличении не менее  $\times 100$  не обнаруживают выкрашиваний, сколов или трещин.

Качество обрабатываемых алмазными и сверхтвердыми резцами изделий в основном зависит от точности выполнения геометрии рабочей части резцов и качества их изготовления. Этим вызваны высокие требования, предъявляемые к точности соблюдения параметров технологического процесса изготовления инструмента.

При этом важное значение приобретают вопросы правильного осуществления пооперационного контроля параметров технологического процесса изготовления резцов и оценки их качества.

В табл. 1 приведены методы и средства контроля, используемые при операционном контроле на основных операциях технологического процесса изготовления резцов со вставками из природных и синтетических алмазов и сверхтвердых материалов и оценки их качества.

Из табл. 1 следует, что методы и средства контроля, применяемые при изготовлении резцов из алмазов и сверхтвердых материалов и оценке качества готового изделия достаточно точны, но являются малопроизводительными и громоздкими.

Контроль внешнего вида, макродефектов и т. д. обеспечивается применяемыми в настоящее время средствами и разработка специальных приборов в этом случае не требуется. Однако, особенно велика потребность промышленности в производительных и компактных

ных приборах для проведения измерения угловых и линейных размеров режущей части резца в процессе его изготовления.

Решающую роль в получении изделия с заданными параметрами (точность элементов, шероховатость поверхностей и т. д.) играет в этом случае мастерство и квалификация огранщика.

Особенно это наглядно проявляется при разметке кристалла — заготовки алмаза перед огранкой. Кристалл должен быть размечен таким образом, чтобы элементы геометрии режущей части резца располагались с учетом свойств кристалла (анизотропии твердости, направления плоскостей спайности и т. д.).

Если алмаз имеет ясно выраженную форму кристалла, операция разметки не представляет трудности, т. е. кристаллические оси взаимосвязаны с элементами

поверхности кристалла: вершинами, гранями и ребрами. В том случае, если алмаз имеет неопределенную форму, его разметка значительно усложняется, так как заготовку приходится ориентировать по кристаллографическим осям методом рентгенографии.

Во ВНИИАЛМАЗе для ориентирования алмазов, не имеющих четкой формы кристалла, разработана экспериментально-исследовательская рентгеновская установка (рис. 2). Установка работает следующим образом. Ориентируемый алмаз 3 с помощью клейкой вязкой мастики устанавливают на алмазодержателе гониометрической головки 4. Конструкция головки позволяет поворачивать алмаз вокруг трех взаимно перпендикулярных осей. Алмаз облучается рентгеновским излучением, возбуждаемым в рентгеновской камере 1. Пучок рентгеновских лучей от камеры проходит через коллиматор 2, представляющий собой трубочку, диаметр отверстия которой меньше наименьшего размера алмаза.

В результате облучения алмаза рентгеновскими лучами на малом экране электронно-оптического усилителя изображения 5 возникает лауэграмма, соответствующая строению кристаллической решетки алмаза. Изображение на малом экране посредством электронной схемы увеличивается и переносится на большой экран усилителя, при этом яркость изображения достаточно высока, что позволяет оператору работать в незатемненном помещении.

На большой экран усилителя наложен прозрачный трафарет, построенный по лауэграмме образцового, ориентированного должным образом алмаза.

Оператор с помощью дистанционного управления поворачивает установленный в гониометрической головке алмаз до совпадения лауэграммы, изображенной на большом экране электронно-оптического усилителя, с трафаретом. Совпадение изображений означает,

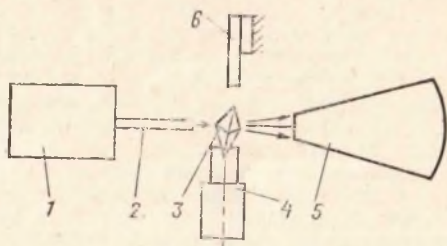


Рис. 2. Схема установки для ориентации алмазов по кристаллографическим осям:

1 — источник рентгеновского излучения; 2 — коллиматор; 3 — алмаз; 4 — гониометрическая головка; 5 — электронно-оптический усилитель изображения; 6 — технологическая державка

что алмаз занял нужное положение относительно технологической державки б. Гнездо державки предварительно заполняют быстротвердеющим составом, например цементом. Державку подводят к алмазу таким образом, чтобы он погрузился на определенную глубину в цемент. После затвердевания цемента державку с алмазом снимают с установки и передают на обработку.

Пробная эксплуатация установки показала, что хотя она и имеет ряд конструктивных недоработок, ориентирование алмазов с ее помощью происходит быстро и с высокой точностью.

На работоспособность резца из алмаза или сверхтвердых материалов кроме качества изготовления режущей части большое влияние оказывают внутренние напряжения, возникающие в материале резца при его изготовлении или при образовании заготовки (природным или синтетическим путем).

С целью облегчения предварительной обработки заготовок с высокими внутренними напряжениями в последнее время разработаны различные методы контроля их напряженности.

Для определения напряженности прозрачных правильных кристаллов алмаза используют известный метод поляризации с применением поляризационных микроскопов МИИ-9; МИИ-8 и др.

Суть метода заключается в том, что при просвечивании алмаза поляризованным светом в нем создается картина полей напряжения, по которой можно судить о степени внутренней напряженности кристалла.

Для непрозрачных заготовок, например из синтетического поликристаллического алмаза, разработан рентгеновский метод [28], заключающийся в определении неоднородности упругой деформации кристаллической решетки. Значительная доля этой неоднородности обусловлена механическими свойствами поликристалла.

Неоднородность периода решетки оценивают по уширению интерференционных линий на рентгенограммах, полученных методом обратной съемки на плоскую пленку, на которой фиксируется отражение системы плоскостей (331) поликристалла (угол отражения приблизительно равен  $70^\circ$ ).

Неоднородность  $b$  периода кристаллической решетки пропорциональна уровню напряженности в резах. Стойкость  $\tau$  резов из поликристаллического синтетического алмаза связана с параметром уравнением

$$\tau = -20 + 46b, \text{ ч } (b \geq 1).$$

По величине неоднородности упругой деформации решетки в образцах из поликристаллических синтетических алмазов типа «карбонадо», а также алмазно-металлических композиций можно предсказать их механические свойства, в частности такие, как прочность при сжатии, стойкость при истирании и др.

Описанный метод нетрудоемок и не требует специального оборудования. При использовании серийного рентгеновского дифрактометра в сочетании с ЭВМ качество изделий можно контролировать без разрушения в течение нескольких минут.

Работоспособность резов в значительной мере зависит от шероховатости поверхностей режущей части.

Определение шероховатости поверхностей резца с помощью установки ПСС-2 не может считаться достаточно надежным, так как эта установка позволяет определять шероховатость не выше 9-го класса. Поскольку поверхности резца должны иметь шероховатость



не ниже 12-го класса, следует применять интерференционные микроскопы типа МИИ-4 и МИИ-10. Но практика использования этих приборов показала, что процесс определения шероховатости алмазов по параметру  $Rz$  длителен, трудоемок и требует высокой квалификации специалистов.

При определении шероховатости поверхности полированного алмаза профилографы и двойные микроскопы не эффективны, что объясняется различной формой образцов и их незначительными размерами (1,4—3,8 мм в поперечнике).

В ЛИТМО разработан опытный образец микрогониометра МГФ-1 [10] для спектротометрической оценки шероховатости поверхности полированных алмазов.

Критерием оценки шероховатости поверхности в данном методе является относительный спектральный коэффициент  $\rho_{отн}$  зеркального отражения, т. е. отношение спектральных коэффициентов зеркального отражения шероховатой стеклянной поверхности  $\rho_{ш}$  к идеально полированной  $\rho_{п}$ . Установлено, что

$$\rho_{отн} = \frac{\rho_{ш}}{\rho_{п}} = e^{-\frac{8\pi^2\sigma^2}{\lambda^3} \cos^2 i},$$

где  $\sigma$  — средняя квадратическая высота неровностей;  $\lambda$  — длина волны падающего света;  $i$  — угол падения света на матовую поверхность.

Такая зависимость позволяет связать значение потока зеркально отраженного света заданной длины волны со средней квадратической высотой неровностей, характеризующей шероховатость исследуемого образца.

Прибор состоит из оптического блока, блока питания фотоумножителя и измерительного блока. Оптическая схема прибора приведена на рис. 3. Световой пучок, посылаемый источником света 1, проходит коллекторную и осветительную линзы 2, 4, отражается от полупрозрачной пластинки 9 и через объектив 8 (увеличение объектива  $\times 4$ ) освещает алмаз 7. Отраженный от него лучистый поток собирается объективом, проходит полупрозрачную пластинку, отрицательную линзу 10, фотоокуляр 11 и разделяется светоделительной призмой 12 на два пучка. Один пучок проходит линзу 15, светофильтр 16 и собирается на катоде фотоумножителя; второй пучок через линзу 13 попадает в окуляр 14.

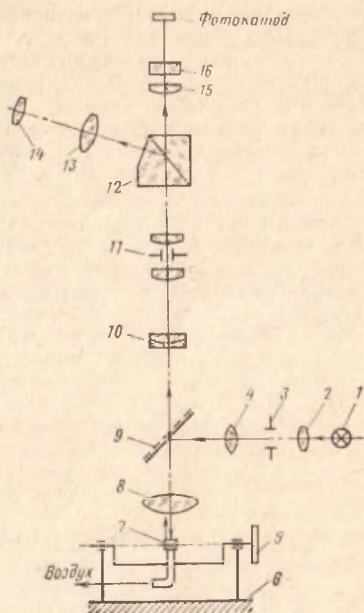


Рис. 3. Оптическая схема микрогониофотометра



Алмаз крепится пневматическим способом на поворотном приспособлении 5, снабженном устройством для отсчета и фиксации углов поворота. Поворотное приспособление устанавливается на координатный столик 6. Разрежение под образцом создается с помощью водоструйного насоса, работающего от системы водоснабжения или от системы подачи воздуха высокого давления.

Монохроматизация света осуществляется широкополосным светофильтром, изготовленным из инфракрасного стекла марки ИКСЗ. Выделяемый прибором спектральный интервал составляет  $\sim 200$  нм, а эффективная длина волны  $\lambda_{эф} = 1$  мкм. Полевая диафрагма 3 позволяет изменять поле зрения прибора, а также ослаблять лучистый поток. Фокусное расстояние линзы 15 подобрано таким образом, чтобы диаметр пучка, падающего на катод фотоумножителя, не превышал диаметра его рабочей поверхности. Площадь контролируемой поверхности образца  $0,01$  мм<sup>2</sup>.

Относительный спектральный коэффициент зеркального отражения определяют следующим образом. Полированный алмаз устанавливают на наконечник, микроскоп наводят на резкое изображение исследуемого участка поверхности. После наводки на резкость по шкале микроамперметра измерительного блока снимают показания. Измерения производят в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В каждом направлении через  $15^\circ$  контролируют по десять участков.

После усреднения данных измерений рассчитывают относительный спектральный коэффициент зеркального отражения  $\rho_{отн}$ . Для этого необходимо знать значение спектрального коэффициента зеркального отражения эталонной полированной поверхности. За эталонную поверхность принимают полированную поверхность алмаза обработанную по 14-му классу шероховатости ( $Rz = 0,05$  мкм). Фототок, отвечающий этому коэффициенту, определяют перед началом измерений и периодически контролируют в процессе работы.

Прибор снабжен графиком перевода значений  $\rho_{отн}$  в величину шероховатости поверхности полированного алмаза.

Опытный образец микрофотометра прошел лабораторные испытания, которые показали, что прибор после государственной аттестации может быть применен для объективной оценки шероховатости механически полированных алмазов в производственных условиях при разработке и отладке технологических процессов полирования и забраковке готовой продукции.

## 2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ ВОЛОК

Алмазные волокна применяют для волочения проволоки из различных материалов и сплавов диаметром  $0,01$ — $1,20$  мм.

Алмазная волока по конструкции представляет собой закрепленный в оправе (стальной или латуинной) кристалл алмаза высокого качества весом от  $0,08$  до  $3$  карат с отверстием специальной формы, через которое протягивают обрабатываемую проволоку (рис. 4).

Качество алмазных волок определяется многими факторами: качеством кристалла алмаза; геометрией канала и точностью изготовления основных элементов волокна; шероховатостью поверхности канала; применяющейся смазкой; скоростью волочения и т. д.

Кристаллы алмаза соответствующей массы и формы подвергают входному контролю на наличие внутренних и наружных трещин.

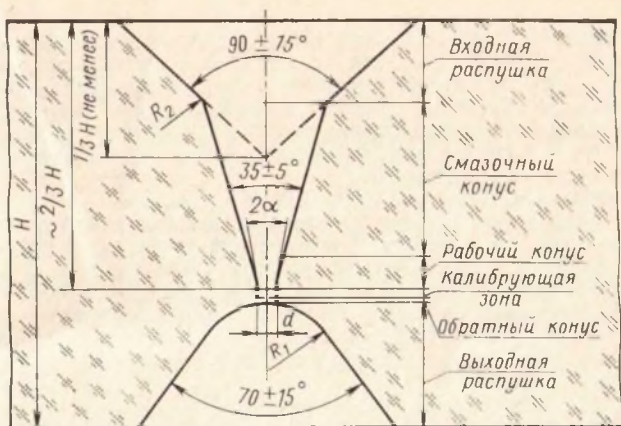


Рис. 4. Схематическое изображение канала алмазной волоки

включений и других дефектов. Кроме того, контролируют величину внутренних напряжений.

Для обнаружения трещин и включений используют лупы и микроскопы. Особенно узкие трещины, имеющие выход на поверхность кристалла, обнаруживают по свечению люминофора в ультрафиолетовых лучах. Люминофор вводится в трещины под высоким давлением. Внутренние трещины и дефекты кристалла по способу, разработанному В. М. Кулаковым, могут быть обнаружены по степени поворота плоскости поляризации поляризованного света, пропускаемого через кристалл.

Величину внутренних напряжений в кристалле определяют по окраске кристалла, возникающей в алмазе при пропускании поляризованного света. Для этой цели применяют микроскопы типа МПС-1, МИМ-8 и МИМ-9.

Следует отметить, что вопрос обнаружения внутренних дефектов в кристаллах алмаза полностью не решен до настоящего времени, и в этом направлении ведутся интенсивные исследования.

Технологический процесс изготовления алмазной волоки включает следующие основные операции.

1. Огранку на кристалле алмаза двух опорных параллельных плоскостей (для облегчения закрепления кристалла при последующей разделке канала) и так называемого «окна» — боковой плоскости, перпендикулярной двум опорным. «Окно» служит для облегчения контроля за процессом разделки канала в кристалле.

2. Разделку канала, включающую центровку кристалла, сверление входной и рабочей зон, подрезку, соединение углублений с входной и выходной сторон.

3. Шлифование канала волоки.

4. Закрепление кристалла алмаза в оправе.

5. Полирование рабочей и калибрующей зон канала волоки и доводку диаметра калибрующей зоны до требуемого размера.

Высокое качество алмазных волок зависит не только от применения современного оборудования для их обработки, но и от правильно выбранных методов, приборов и средств измерения для контроля качества обработки поверхности канала и геометрических размеров в процессе их изготовления.

Контроль качества алмазных волок может осуществляться прямыми и косвенными методами.

К прямым методам измерения относятся:

1. Механические методы: а) метод предельных отклонений с использованием для измерения двусторонних пробок и нутромеров; б) метод ощупывания с использованием профилометров.

2. Оптические методы: а) с использованием для измерений проекторов, металлографических, биологических, минералогических и микроскопов других типов; б) метод теневой проекции с применением в качестве измерительных средств проекторов и различных микроскопов.

К косвенным методам измерения относятся:

1. Механический контактный метод с использованием различных типов микроскопов и оптиметров для измерения диаметра протянутой через волоку проволоки или слепков, снятых с поверхностей канала.

2. Весовой метод для определения массы мерного отрезка проволоки, протянутой сквозь волоку. Масса отрезка определяется диаметром и плотностью материала проволоки.

3. Электрические методы: а) по замеру омического сопротивления отрезка проволоки с использованием цифровых и автоматических омметров; б) по замеру тока коронного разряда, возникающего на поверхности проволоки, протянутой через контролируемую волоку при прохождении по проволоке тока, с применением бесконтактных газоразрядных микрометров.

4. Оптические методы, основанные на измерениях образцов протянутой проволоки, изучении слепков, снятых с канала волоки и т. д.

Прямые методы измерения диаметра и геометрии канала закрепленных в оправу алмазных волок не получили широкого распространения из-за недостаточной точности измерений и сложности.

В табл. 2 приведены данные, характеризующие пооперационный контроль процесса изготовления волок для типового технологического процесса.

На основании анализа табл. 2 можно сказать, что применяемые методы и средства контроля качества алмазных волок в процессе их изготовления не дают возможности с достаточной точностью оценивать соответствие размеров элементов канала и шероховатости его поверхности предъявляемым требованиям. Это объясняется тем, что значительное число операций выполняют визуально или с помощью микроскопов, но через «окно» волоки, что приводит к значительным ошибкам измерения. Кроме того, контроль диаметра калибрующей зоны посредством измерения диаметра протянутой проволоки не учитывает ошибки, образующейся из-за поперечного сужения проволоки, возникающего при ее растяжении. Особенно велика эта ошибка для волок малого диаметра.

Согласно ГОСТ 6271—68 «Волокна алмазные» алмазы, предназначенные для изготовления волок, должны обладать прозрачностью, допускающей возможность их сквозного просмотра.

Масса алмазов для волок в зависимости от диаметров их калибрующих отверстий должна соответствовать определенной весо-



Таблица 2

Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средства контроля
Сортировка алмазного сырья Аттестация кристалла алмаза	Геометрические размеры и форма Масса кристалла, цвет, форма, включения, трещиноватость	Визуальный Массовой Оптический	Лупа × 6 Аналитические весы АДВ-200 Бинокулярный микроскоп МБС-2 поляризационный МПС-1
Ориентация кристалла алмаза	Расположение кристаллографических осей алмаза	Рентгенографический	Установка для ориентации алмазов мод. НИА-С13
Шлифование плоскостей алмаза	Качество шлифованных плоскостей	Визуальный	Лупа × 10
Шлифование «окна» алмаза	Шероховатость поверхности «окна»	Визуальный	Лупа × 10
Контроль шлифованного кристалла алмаза	Дефекты алмаза  Параллельность плоскостей и толщина кристалла Масса	Оптический  Размерный  Массовый	Микроскоп МБС-2, МБУ-4  Микрометр 0-25  Торсионные весы ВТ-100; аналитические весы АДВ-200
Черновое сверление входной распушки	Глубина и форма входной распушки	Оптический	Микроскоп МБУ-4
Сверление входной распушки	Глубина и форма входной распушки	Оптический	Микроскоп МБУ-4
Контрольная	Глубина входной распушки  Форма и поверхность	Размерный  Оптический	Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм Микроскоп МБУ-4
Черновое сверление смазочного конуса	Глубина и форма	Оптический	Лупа × 10, микроскоп МБУ-4
Сверление смазочного, рабочего конусов и калибрующей зоны	Глубина и форма	Оптический	Лупа × 10, микроскоп МБУ-4
Контрольная	Форма и качество поверхности канала, угол рабочего конуса	Оптический	Микроскоп МБУ-4 с угломерными и линейными сетками
Сверление выходной распушки	Глубина и форма	Визуальный	Лупа × 10
Контрольная	Форма выходной распушки	Оптический Оптический	Микроскоп МБУ-4 Бинокулярный микроскоп МБС-2, микроскоп МБУ-4
Рассверливание калибрующей зоны и сверление обратного конуса	Диаметр и высота калибрующей зоны	Оптический	Микроскоп МБУ-4



Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средства контроля
Контрольная	Диаметр, высота калибрующей зоны	Оптический	Микроскоп МБУ-4
Прочистка канала волокна	Высота канала	Оптический	Микроскоп МБУ-4
Полировка канала волокна	Шероховатость поверхности и форма канала, диаметр отверстия	Визуальный	Лупа X10
Прочистка канала волокна	Чистота канала	Размерный	Микрометр
Промывка волокон	Внешний вид	Оптический	Микроскоп МБУ-4, МБИ-1
Контроль диаметра калибрующей части волокна	Диаметр	Визуальный	—
Пайка алмаза в оправе	Диаметр	Размерный (косвенный по диаметру протянутой проволоки)	Рычажный микрометр
Обточка оправы	Центричность алмаза в оправе	Визуальный	—
	Геометрические размеры	Размерный	Универсальные средства измерения

вой группе. Овальность калибрующего отверстия канала волокна не может превышать предельных отклонений на диаметр калибрующего отверстия, т. е. нескольких микрометров. Поверхность волоочильного канала должна быть гладкой, без резких переходов, поперечных колец, рисок и трещин. Поверхности рабочих, калибрующей зоны и обратного конуса должны быть отполированы до блеска. В смазочном конусе, рабочем конусе и калибрующей зоне не допускаются микротрещины, видимые при десятикратном увеличении. Кристалл алмаза должен быть прочно закреплен в оправе, и его ось должна быть концентрична оси оправы и перпендикулярна торцу оправы.

ГОСТ 6271—68 не устанавливает количественных норм на некоторые отклонения. Так, например, не установлены допустимые размеры рисок, поперечных колец, радиусов скруглений переходов и микротрещин в канале волокна. Не регламентированы минимальная степень блеска поверхностей канала и максимальная неперпендикулярность его относительно опорной поверхности волокна. Это объясняется отсутствием в настоящее время методов и средств объективного контроля качества волок по этим параметрам. Таким образом, решающее значение в достижении высокого качества при изготовлении волок имеет квалификация рабочих на большинстве операций.

Для оценки качества готовых алмазных волок в соответствии с вышеуказанным ГОСТом их подвергают испытаниям. Диаметры калибрующих зон проверяют плавным протягиванием проволоки из материала с определенной прочностью, соответствующей типу волокна, в направлении, перпендикулярном ее торцу, с последующим замером диаметра проволоки. Диаметр проволоки до протягивания должен быть на 5—10% более номинального размера калибрующего отверстия волокна. Отрезок проволоки имеет длину не менее 0,5 м.

Диаметр и овальность протянутой проволоки измеряют контрольными приборами, обеспечивающими требуемую точность измерений (рычажный микрометр, оптиметр, оптикатор и т. д.) в двух взаимно перпендикулярных направлениях одного сечения в середине и на концах отрезка.

Измерение диаметра протянутой проволоки диаметром 0,030 мм и менее допускается производить посредством взвешивания отрезка проволоки длиной  $200^{+0,1}$  мм с точностью до 0,00001 г.

Средний диаметр  $d$  проволоки в миллиметрах определяют в этом случае по формуле

$$d = \sqrt{\frac{6,366G}{\gamma}},$$

где  $G$  — масса отрезка проволоки длиной 200 мм, г;  $\gamma$  — плотность металла проволоки, г/см<sup>3</sup>.

Линейные размеры и углы волоочильного канала волокна определяют в волоке, не заделанной в оправу, с помощью оптических приборов, снабженных линейными и угломерными сетками, при следующих условиях: просмотр канала ведется через «окно» при увеличениях для волок диаметром 0,100 мм и менее  $\times 56$ ; для волок диаметром свыше 0,100 до 0,500 мм не менее  $\times 30$ ; для волок диаметром свыше 0,500 мм не менее  $\times 10$ . Поверхность волоочильного канала проверяют при помощи прибора с десятикратным увеличением; у волок с диаметром калибрующего отверстия до 0,100 мм — при помощи прибора с тридцатикратным увеличением.

В настоящее время разрабатывают ряд приборов, специально предназначенных для контроля канала нолок при их изготовлении и эксплуатации, действие которых основано на различных принципах.

На Полтавском заводе искусственных алмазов и алмазного инструмента совместно с ВНИИАЛМАЗом разработан оптический способ контроля, позволяющий определять точность канала волокна по диаметру и овальности без протягивания проволоки. При новом методе используют микроскоп мод. МБР с увеличением объектива  $\times 10$  (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид устройства для контроля канала волокна

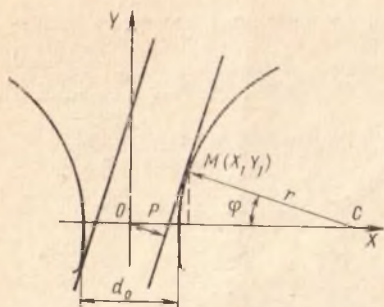


Рис. 6. Образующие профиля волокни и касательные

На место окуляра микроскопа устанавливают проекционную насадку 3 мод. ПИ-6. Волоки освещают снизу осветителем 1. На экран проектора 2 наносят две прозрачные перекрещивающиеся шкалы с ценой деления 1 мкм. По ним измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях диаметр канала волокна 4, установленной на столике 5.

Для исключения влияния возможного перекоса отверстия канала волокна относительно измерительной базы предметный столик 5 покачи-

вают на 1—2° (перпендикулярно оптической оси микроскопа). При качании столика изображение канала волокна меняет размеры; наиболее являются правильными.

Во ВНИИАЛМЗ Л. И. Царевым для контроля размеров и формы канала (по всей его длине) алмазных волокон разработан оптический прибор, в котором использован метод разворачивания поверхности пространственного тела на плоскость.

Конструкция прибора основана на следующих положениях. Образующая канала волокна (без выходной распушки) представляет собой кривую линию, выпуклую внутрь отверстия волокна. Такая форма кривой создается при последовательном сверлении зон волоочильного канала и при последующей полировке волокна движением качающейся иглы или гибкой нити. С некоторым допущением эту кривую можно принять за дугу окружности.

Рассмотрим профиль канала волокна с образующей в виде дуги радиусом  $r$  (рис. 6). Центр  $C$  окружности имеет координаты

$$\left(r + \frac{d_0}{2}; 0\right),$$

где  $d_0$  — диаметр отверстия волокна.

Проведем касательную к окружности в точке  $M(x_1; y_1)$ , отстоящую от начала координат на расстояние  $P$ . Уравнение касательной в данном случае будет иметь вид

$$\left[x - \left(r + \frac{d_0}{2}\right)\right] \left[x_1 - \left(r + \frac{d_0}{2}\right)\right] + yy_1 = r^2.$$

Подставляя значения координат точки  $M$

$$x_1 = r + \frac{d_0}{2} - r \cos \varphi = \frac{d_0}{2} + r(1 - \cos \varphi),$$

$$y_1 = r \sin \varphi$$

в уравнение, получим

$$\left[x - \left(r + \frac{d_0}{2}\right)\right] \left[\frac{d_0}{2} + r(1 - \cos \varphi) -$$



$$-\left(r + \frac{d_0}{2}\right)] + yr \sin \varphi = r^2.$$

Проведя некоторые преобразования, получим нормальное уравнение прямой

$$x \cos \varphi + y \sin \left(r \cos \varphi + \frac{d_0}{2} \cos \varphi - r\right) = 0.$$

Многочлен, находящийся в скобках, выражает расстояние  $P$  от прямой до начала координат:

$$P = r \cos \varphi + \frac{d_0}{2} \cos \varphi - r,$$

отсюда

$$r = \frac{\frac{d_0}{2} \cos \varphi - P}{1 - \cos \varphi}.$$

Таким образом, просматривая канал волокна вдоль ее оси под некоторым углом  $\varphi$  и измерив  $d_0$  и  $P$ , можно определить радиус  $r$  образующей и построить профиль канала волокна.

Кроме описанного метода может быть использован геометрический способ построения образующей по касательным, соответствующим различным углам  $\varphi$  и отстоящим от центра координат на рас-

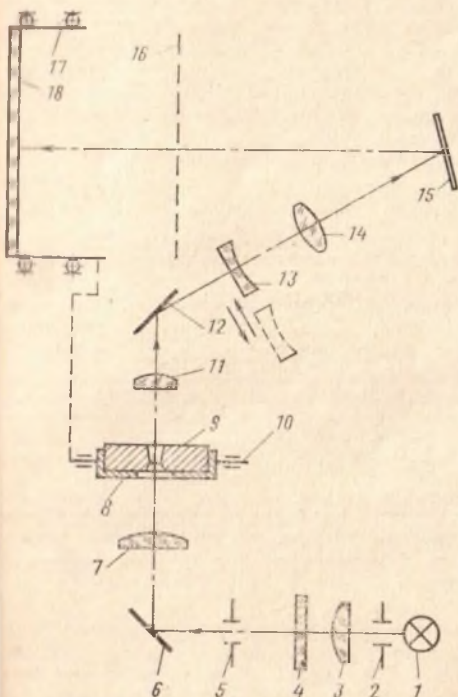


Рис. 7. Принципиальная оптическая схема прибора

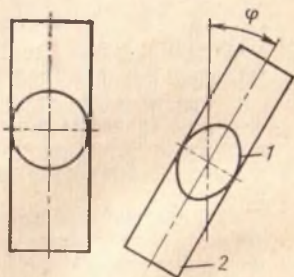


Рис. 8. Изображение канала волокна, полученное на фотопластинке



стояние  $P$ . Образующая канала будет иметь вид ломаной линии с числом прямолинейных участков, равным числу построенных касательных. Для получения криволинейной образующей число касательных должно стремиться к бесконечности. Однако определение радиуса  $r$  с дальнейшим вычерчиванием профиля канала, а тем более построение профиля по касательным — трудоемкая работа. Поэтому разработана схема записи образующих контура, которая обеспечивает непрерывное автоматическое фиксирование формы волоочильного канала на регистрирующем элементе (например, фотоматериале). В этом случае касательными служат параллельные пучки света.

Принципиальная схема прибора, позволяющего автоматически фиксировать на фотопластинке изображение продольного сечения канала волокна, дана на рис. 7. Изображение каналов волок получается следующим образом. Пучок света от осветителя, состоящего из источника света 1, коллектора 3 и конденсатора 7, зеркалом 6 направляется в отверстие волокна 9. Волокна закреплена в столике 8, перемещающемся в трех взаимно перпендикулярных направлениях, необходимых при ее центровке относительно оптической оси прибора, являющейся измерительной базой. При помощи увеличительной системы, состоящей из объектива 11 и окуляра 14, зеркалами 12 и 13 сечение отверстия волокна центрируется на экране 18, расположенном в фотокамере 17. Для регулирования поля освещения предмета и апертуры предусмотрены полевая 2 и апертурная 5 диафрагмы, а также применение сменных светофильтров 4. Чтобы исключить попадание на экран света, отраженного от полированных стенок канала волокна, перед фотокамерой установлена регулируемая щелевая диафрагма 16 с щелью, параллельной плоскости чертежа.

Волокна вместе со столиком может совершать колебания относительно оси 10, перпендикулярной к оптической оси прибора. В среднем положении, когда ось отверстия волокна совпадает с оптической осью прибора или параллельна ей, на экране наблюдается поперечное сечение отверстия волокна в виде круга (рис. 8). При повороте волокна в ту или другую сторону относительно среднего положения изображение на экране будет иметь вид, несколько напоминающий по форме эллипс 1. Введением цилиндрической линзы 13 (см. рис. 7) проводится растяжка эллипсов вдоль их больших осей до получения полос 2 (см. рис. 8) шириной, равной малым осям эллипсов. Фотокамера синхронно колеблется с волоком от привода (на схеме не указан). При этом световые полосы фиксируются на фотопластинке, вставляемой вместо экрана, под разными углами  $\varphi$ , соответствующими углам наклона волокна.

При повороте волокна от одного крайнего положения (когда пучок света полностью перекрыт) до другого световые полосы последовательно накладываются на фотопластинку, на которой возникает теневое изображение продольного сечения центральной части канала волокна.

В центральную часть канала волокна полностью входят рабочий конус и калибрующая зона, а также часть обратного конуса и большая часть смазочного конуса. Естественно, что из-за прямолинейности распространения света этим методом можно контролировать отверстие волок или подобных изделий (часовые камни и т. д.), имеющих образующую контура в виде ломаной или кривой линии, выпуклой внутри отверстия.

Оптика, используемая в данном приборе, должна обладать большой глубиной резкости, так как необходимо отчетливо наблюдать различные участки канала волокна, находящиеся на разном расстоянии от объектива, особенно для волок с малым углом рабочего конуса и, следовательно, с большой высотой рабочей зоны.

Глубина резкости  $T$  микроскопа выражается следующей зависимостью:

$$T = \frac{1000}{7AV} + \frac{\lambda}{2A^2},$$

где  $A$  — апертура объектива;  $V$  — увеличение микроскопа;  $\lambda$  — длина волны света.

Из формулы следует, что для получения большей глубины резкости необходимо снижать увеличение или апертуру. Первый путь неприемлем при контроле волок малых диаметров, второй ведет к уменьшению освещенности на экране, что

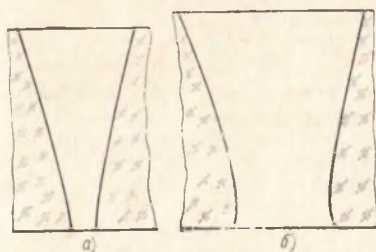


Рис. 9. Канал алмазной волокна в оправе:

*а* — с диаметром отверстия 0,02 мм;

*б* — с диаметром отверстия 0,5 мм

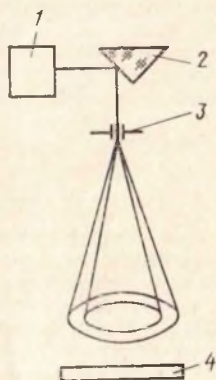


Рис. 10. Схема измерения диаметра канала волокна дифрактометрическим способом

при фотографировании не имеет особого значения, так как можно увеличить время выдержки.

Качество фотографий зависит также от характеристик применяемых фотоматериалов и методов их обработки. Наилучшие результаты получены при использовании фотопленки «микрат-300» и сверхконтрастных фотопластинок. С целью ускорения процесса получения фотографий используется фотокомплект «Момент», дающий готовый фотоотпечаток через 2—3 мин после экспонирования, а также фотографирование непосредственно на регистрирующую фотобумагу чувствительностью 500, 600 и 1100 ед.

Точность измерения угла рабочего конуса составляет 0,3—1,1° для волок диаметром 0,1—0,5 мм.

На рис. 9 изображены каналы алмазных волок диаметром 0,02 и 0,5 мм.

Описанный вариант конструкции прибора позволяет получить фотографии каналов волок (при наличии эллипсности фиксируется усредненный диаметр), и поэтому он больше пригоден для исследова-

довательских целей и арбитражного контроля. Но могут быть разработаны и другие схемы прибора, в том числе и обеспечивающие наблюдение на экране изображения канала вращающейся волоки.

В последнее время как в СССР, так и за рубежом интенсивно проводятся исследовательские работы с целью использования дифракционных лазерных схем для контроля и измерения малых объектов [26].

Дифракция излучения лазера для контроля диаметра канала волок применена в приборе, разработанном в Одесском университете им. И. И. Мечникова [12].

Дифрактометрический контроль волоки малого диаметра (рис. 10) осуществляется следующим образом. Волоку 3 устанавливают так, чтобы ее ось совпала с осью луча лазера 1, прошедшего через призму 2. На экране 4, расположенном на некотором расстоянии от волоки, возникает дифракционная картина, состоящая из серии концентрических темных и светлых колец, соответствующих минимуму и максимуму распределения интенсивности яркости. Угловой радиус  $\varphi$  темных колец ( $\text{min}$ ) приближенно определяется соотношением

$$\sin \varphi = m \frac{0,61}{R} \lambda,$$

где  $R$  — радиус отверстия волоки;  $m$  — числовой коэффициент.

Приведенная формула выведена для дифракции света от круглого отверстия (в данном случае это калибрующая зона волоки). К калибрующей зоне примыкает рабочий конус. Луч света, отразившись от конической поверхности волоки, тоже дает дифракционную картину.

Расчеты показали, что вблизи центра изображения происходит наложение дифракционных картин от световых пучков, идущих в противоположных направлениях. Так как интенсивность вторичных максимумов очень мала, то в центральной области картины будет приблизительно равномерная освещенность. Картина дифракции проходящего светового пучка располагается вблизи центра изображения, а влияние дифракции отраженных лучей выразится в виде незначительного фона. Иными словами, дифракционные картины от конической части поверхности и калибрующей зоны имеют тот же вид, что и картины, полученные от обычного круглого отверстия.

Полученную дифракционную картину фотографируют на фотопленку 4 чувствительностью 65 ед. Расстояние от волоки до фотопленки равно 57 см. Расстояние между темными кольцами дифракционной картины измеряют на микронинтерферометре модели МФ-4. Погрешность определения диаметра волок 0,4 мм составляет 0,02%.

Использование методов оптического разветвления и изучения дифракционной картины особенно эффективно при контроле волок, изготовленных из непрозрачного материала, например из синтетического поликристаллического алмаза.

Таким образом, для контроля канала волок диаметром от 0,1 мм и выше целесообразно использовать приборы, использующие принципы оптического разветвления с демонстрацией неподвижного измерения канала на экран. Для волок с каналом менее 0,1 мм следует применять приборы, в которых использован метод построения дифракционной картины.

Описанные выше устройства являются опытными, предназначенными для лабораторных измерений. Поэтому, используя их как про-



тотипы, следует разработать приборы, пригодные для промышленного использования.

### 3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ НАКОНЕЧНИКОВ И ИГЛ

Современное машиностроение характеризуется применением высокопрочных, износостойких материалов. Важным критерием их качества является твердость, которая оценивается по степени деформации металла под воздействием более твердого тела. При испытании на твердость сопротивление металла или сплава усилиям, вызывающим его деформацию, определяется во многих случаях путем вдавливания в него специального наконечника контрольного прибора.

В процессе испытаний деформации возникают как в испытываемом металле, так и в материале наконечника. Для более точного определения твердости металла необходимо, чтобы различие в твердости образца и наконечника была максимальным. Поэтому для изготовления наконечников применяют материалы, которые при вдавливании деформируются значительно меньше, чем испытуемый материал. Этому требованию лучше всего отвечает алмаз, обладающий самой высокой твердостью и максимальным модулем упругости.

Величина твердости материала характеризуется отношением нагрузки к площади отпечатка наконечника в исследуемом материале.

Для определения твердости статистическими методами с помощью алмазных наконечников применяют твердомеры типов ТК, ТП и ПМТ.

В соответствии с ГОСТ 9377—74 «Наконечники алмазные к приборам для измерения твердости металлов и сплавов» алмазные наконечники выпускают следующих типов: НК — наконечники с рабочей частью в виде конуса для измерения твердости по методу Роквелла; НП — наконечники с рабочей частью в виде четырехгранной пирамиды для измерения твердости по методу Виккерса; НПМ — наконечники с рабочей частью в виде четырехгранной пирамиды для измерения микротвердости.

Алмазный наконечник типа НП приведен на рис. 11.

Выпускаемые промышленностью наконечники изготавливают из кристаллов природных алмазов различных форм: прозрачных и полупрозрачных октаэдров и ромбододекаэдров.

Для изготовления наконечников типов НК и НП применяют кристаллы природных алмазов массой 0,18—0,50 карата, а для наконечников типа НПМ — массой 0,04—0,18 карата.

В соответствии с требованиями ГОСТ 9374—74 разность углов конуса рабочей части наконечников типа НК, измеренная в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, не должна превышать 30°, а разность между радиусами сферы, измеренными в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, — 0,01 мм.

Ребра пирамиды наконечников типов НП и НПМ должны быть острыми, а грани пирамиды — плоскими (при рассмотрении в микроскоп с 490-кратным увеличением).

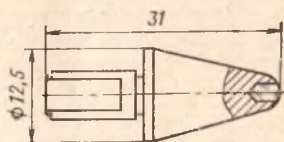


Рис. 11. Алмазный наконечник типа НП

Высота рабочей части поверхности алмаза у наконечников типов НК и НП должна быть не менее 0,30 мм по оси конуса или пирамиды, считая от вершины, а у наконечников типа НПМ — не менее 0,15 мм. Рабочая часть наконечников не должна иметь рисок, трещин, сколов и других дефектов, видимых при 30-кратном увеличении.

Таблица 3

Операции в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средства контроля
Аттестация алмазного кристалла	Масса Внешняя форма, включения, трещиноватость, раковины, сколы	Массовый Оптический	Весы аналитические АДВ-200 Микроскоп МБС-2
Зачеканка алмаза в оправу	Правильность установки алмаза	Визуальный	—
Пайка алмаза в оправу	Качество пайки	Визуальный	—
Вскрытие алмаза и механическая обработка оправы	Геометрические размеры оправы с алмазом Качество вскрытия алмаза	Размерный Визуальный	Универсальные средства измерения —
Шлифование алмаза	Смещение вершины алмаза относительно оси оправы	Оптический	Микроскоп БМИ
	Качество поверхности кристалла алмаза	Оптический	Микроинтерферометр МИИ-4
	Точность размеров	Оптический	Микроскоп МБИ с радиусной окулярной сеткой
Окончательный контроль готового изделия	Геометрические размеры Внешний вид, шероховатость поверхности, отклонение показаний образцового прибора с контролируемым наконечником от показаний образцового прибора с образцовым наконечником	Размерный Оптический	Универсальные средства измерения Лула с увеличением $\times 10$ , микроскопы разных типов, приборы для измерения твердости с образцовыми мерами твердости

Ось алмазных наконечников должна совпадать с осью четвертого порядка алмазного кристалла. Отклонение не должно превышать  $3^\circ$ . Крепление алмаза в оправе, изготавливаемой из легированной стали, должно быть прочным, не допускающим раскачивания кристалла и должно производиться посредством пайки серебряным припоем марки ПСр45. Наряду с этим допускается крепление алмаза в оправе другим припоем или методом, обеспечивающим необходимую прочность. Вмятины, раковины и заусенцы на поверхности оправы не допускаются. Смещение рабочей вершины алмаза относительно оси державки не должно превышать: для наконечников типов НК и НП — 0,03 мм, для наконечников типа НПМ — 0,01 мм.

Принимая во внимание миниатюрные размеры наконечников, выполнение перечисленных требований при изготовлении является очень сложной задачей. Как правило, наконечники, особенно на завер-

нающих стадиях технологического процесса, обрабатывают рабочие самой высокой квалификации.

Точность и эксплуатационные характеристики твердомеров, в которых используются алмазные наконечники, в основном зависят от точности выполнения геометрических параметров наконечников и качества их изготовления. Этим обусловлены высокие требования, предъявляемые к средствам контроля, применяемым при межоперационном и окончательном контроле алмазных наконечников.

В табл. 3 приведены методы и средства контроля, используемые при операционном контроле на основных операциях технологического процесса изготовления алмазных наконечников и оценке их качества.

В результате анализа данных, приведенных в табл. 3, можно сделать вывод, что при изготовлении алмазных наконечников для измерения твердости металлов и сплавов и для оценки их качества используют в основном оптические и универсальные средства измерения. Как было отмечено в п. 1, данные методы и средства измерения достаточно точны, но малопроизводительны и громоздки.

Испытания и контроль готовых алмазных наконечников в соответствии с ГОСТ 9377—74 «Наконечники алмазные к приборам для измерения твердости металлов и сплавов» проводят при комнатной температуре ( $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ) следующим образом.

Внешний осмотр наконечника включает в себя осмотр оправы, измерение размеров оправы и осмотр кристалла алмаза. Осмотр оправы производят невооруженным глазом; для лучшего рассмотрения отдельных мест применяют лупу или микроскоп с увеличением  $\times 5$ . Размеры оправы измеряют с помощью штангенциркуля и рычажного микрометра. Внешний осмотр алмаза производят с помощью бинокулярного микроскопа в отраженном свете при увеличении  $\times 30$ .

Для осмотра вершины алмаза устанавливают наконечник вершиной так, чтобы ось наконечника была продолжением оптической оси микроскопа. Микроскоп фокусируют вначале на вершину алмаза, затем, меняя медленно фокусировку, осматривают прилегающую к ней поверхность алмаза. Для осмотра рабочей части алмаза наконечник устанавливают на столик микроскопа так, чтобы оптическая ось микроскопа была перпендикулярна: у наконечников типа НК — какой-либо образующей алмазного конуса; у наконечников типов НП и НПМ — какой-либо грани алмазной пирамиды. Для осмотра всей поверхности наконечник поворачивают вокруг его оси.

При контроле точности геометрических размеров алмаза у наконечников типа НК измеряют высоту рабочей части алмаза по его оси, угол при вершине конуса и радиус закругления вершины алмаза. У наконечников типов НП и НПМ измеряют высоту рабочей части алмаза по его оси, угол между противоположными гранями пирамиды и длину перемычки на вершине пирамиды.

Для измерения перечисленных геометрических размеров алмаза наконечника используют инструментальный микроскоп с угломерной окулярной головкой с отсчетом до 1 угловой минуты типов МИИ, БМИ или УИМ-200 (УИМ-21), микропроектор типа ЧП-2 с увеличением  $\times 200$ , интерференционный микроскоп типа МИИ-4 или МИИ-5.

Шероховатость рабочей поверхности алмаза определяют посредством интерференционного микроскопа типа МИИ-4 или МИИ-5.

Окончательной операцией при контроле качества наконечника является определение отклонений показаний образцового прибора с



поверяемым наконечником от показаний образцового прибора с образцовым накопечником, которое проводят на приборах для измерения твердости по ГОСТ 13407—67 с погрешностями, не превышающими  $\pm 3$  единицы твердости. В качестве образцовых мер твердостей используют меры твердости 2-го разряда по ГОСТ 9031—75.

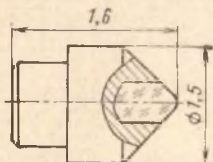


Рис. 12. Алмазная игла

На таких ответственных операциях, как зачеканка кристалла алмаза в оправу и пайка, его контроль осуществляют визуально. Вследствие этого в некоторых случаях алмаз занимает неправильное положение, что при его дальнейшей обработке приводит к возникновению брака.

Для повышения качества изготовления наконечников необходимо в первую очередь создать приборы для контроля положения алмаза в оправе при зачеканке и пайке, а также для проведения контроля геометрии при шлифовании без снятия

наконечника со станка.

**Иглы алмазные к приборам для измерения шероховатости поверхности.** Алмазные иглы предназначены для использования в качестве ошупывающих элементов в контактных профилометрах и профилографах при измерении шероховатости. Их изготавливают из кристаллов алмазов удлиненной формы с сечением, близким к круглому. Рабочую часть иглы выполняют в виде конуса, сопряженного со сферой, являющейся вершиной иглы (рис. 12).

Размеры радиуса сферы для игл разных типов могут быть от  $0,002 \pm 0,0005$  до  $0,010 \pm 0,0025$  мм. Масса алмаза равна 0,03 карата (0,006 г).

Алмазные иглы обладают большой стойкостью и дают возможность производить измерение с высокой точностью.

В соответствии с ГОСТ 18961—73 «Иглы алмазные к приборам для измерения шероховатости поверхности» в различных зонах кристалла алмаза допускаются отдельные дефекты. Периферийная зона кристалла, прилегающая к рабочей вершине, должна быть без дефектов. Овальность сферической поверхности рабочей части иглы не должна превышать допуск на величину радиуса сферы. Риски, трещины, сколы и другие дефекты на рабочей части алмаза (на расстоянии 0,1 мм от вершины) не допускаются.

Оправу игл изготавливают из легированной стали или сплавов цветных металлов, исключающих возможность появления коррозии в процессе эксплуатации и хранения. Крепление алмаза в оправе производят пайкой серебряным припоем марки ПСр50КД. Допускается крепление алмаза в оправе другим припоем или методом, обеспечивающим необходимую прочность. Вмятины, раковины, трещины и заусенцы на поверхности оправы не допускаются. Смещение вершины алмаза относительно оси оправы не должно превышать 0,05 мм.

Гарантийная наработка игл составляет 50 000 измерений при перемещении на 10—12 мм по стали ШХ15, твердостью HRC 62—64, с шероховатостью поверхности не ниже 8-го класса.

Технологический процесс изготовления, методы и средства контроля и оценки качества игл аналогичны применяемым при изготовлении алмазных наконечников к приборам для измерения твердости металлов и сплавов, и поэтому не рассматриваются.

#### 4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ ПРАВЯЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (КАРАНДАШИ, АЛМАЗЫ В ОПРАВАХ, ГРЕБЕНКИ)

Алмазная правка абразивных кругов относится к числу важнейших областей применения алмазов в машиностроении.

Алмазные правящие инструменты обеспечивают восстановление режущих свойств абразивных кругов с наименьшим расходом абразива и тем самым способствуют увеличению их срока службы по сравнению с другими способами правки.

Для правки абразивных кругов применяют алмазные карандаши, алмазы в оправках, гребенки и другие инструменты.

**Алмазные карандаши.** Алмазные карандаши применяют для правки шлифовальных кругов на операциях круглого наружного, плоского, бесцентрового и внутреннего шлифования, зубошлифования и резьбошлифования.

Конструктивно алмазные карандаши представляют собой металлический корпус круглого сечения. В одном торце имеется высверленное углубление, куда методом горячего прессования запрессована вставка — рабочая часть карандаша (рис. 13).

Алмазоносная вставка состоит из алмазов и связки (твердосплавного порошка ВК6 и медного порошка ПМА).

Карандаши различаются расположением алмазов в рабочей части и характеристикой алмазного сырья.

В зависимости от расположения алмазов выпускаются следующие виды карандашей: Ц — с алмазами, расположенными цепочкой вдоль оси карандаша; С — с алмазами, расположенными слоями; СФ — с алмазами, расположенными по сферической поверхности; Н — с неориентированным расположением алмазов.

При изготовлении алмазных карандашей используют как природные алмазы, так и синтетические алмазные порошки с различной зернистостью.

В соответствии с ГОСТ 607—75 «Карандаши алмазные для правки шлифовальных кругов», алмазы на рабочей поверхности карандаша должны быть вскрыты. На рабочей поверхности не должно быть раковин и трещин, видимых невооруженным глазом.

Посадочные поверхности карандашей имеют шероховатость  $Ra \leq 1,25$  мкм; на других цилиндрических поверхностях  $Ra \leq 2,5$  мкм; на остальных поверхностях  $Rz \leq 20$  мкм. Внешний вид карандаша должен соответствовать контрольному образцу — эталону.

Пооперационный контроль качества проведения отдельных операций изготовления алмазных карандашей аналогичен контролю, применяемому при изготовлении алмазных наконечников к приборам для измерения твердости металлов, который рассмотрен в п. 3.

При контроле качества отдельных параметров готовых алмазных карандашей применяют следующие методы и средства контроля.

Основные геометрические параметры и шероховатость поверхностей алмазных карандашей определяют универсальными средствами и стандартными приборами для измерения шероховатости.

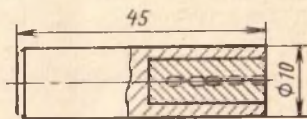


Рис. 13. Алмазный карандаш марки Ц

Качество вскрытия (выступления) алмазных зерен на рабочей поверхности, дефекты (раковины и трещины), внешний вид карандаша контролируют визуально.

Расположение алмазов в карандашах типа Ц, С контролируют методом рентгеноскопии.

Контроль эксплуатационных показателей карандашей производят при правке абразивных кругов на шлифовальных станках на следующих режимах: на операции круглого наружного шлифования — скорость вращения шлифовального круга 35 м/с; поперечная подача 0,02 мм/дв. ход; расход СОЖ 20 л/мин. На операции резьбошлифования — скорость шлифовального круга 35 м/с; продольная подача 0,10 м/мин; поперечная подача 0,01 мм/дв. ход; расход СОЖ 20 л/мин.

Абразивные свойства и механическая прочность кристаллов алмаза (даже одной группы и зернистости) изменяются в значительных диапазонах.

Гранулометрический и химический состав связки, а также режимы технологического процесса пропитки инструментов нестабильны. Все это приводит к колебаниям стойкости алмазного карандаша.

Основным дефектом при изготовлении карандашей является смещение кристаллов алмаза при прессовании. Для предотвращения этого явления можно рекомендовать использование специальных шаблонов с гнездами, в которых на клею (или иным способом) в заданном положении закрепляют алмазы. При изготовлении карандаша эти шаблоны становятся частью связки карандаша.

Дифференцированное выявление влияния на работоспособность карандаша абразивных свойств, механической прочности, дефектов кристалла алмаза и прочности сцепления алмаза со связкой возможно лишь при непрерывном наблюдении за характером износа однокристального инструмента.

В связи с этим разработана методика испытания однокристалльного алмазного карандаша, сущность которой состоит в периодическом фиксировании непрерывно изменяющихся в процессе правки массы изношенного алмаза  $P_{алм}$  и объема снятого при правке материала абразивного круга  $V_c$ . Методика предусматривает съем постоянного объема абразивного круга между двумя последовательными замерами массы изношенного алмаза; объем снятого абразива можно определять по формуле

$$V_c = l_p b t,$$

где  $l_p$  — длина пути резания между двумя замерами, мм;  $b$  — ширина круга, мм;  $t$  — глубина резания, мм.

Для обеспечения постоянной  $l_p$  достаточно производить съем заданного объема абразива при неизменной величине  $t$ . Объем изношенного абразива может быть определен с учетом постоянного изменения радиуса  $R$  круга также из следующего отношения

$$V_c = 2\pi b \int_K^{R_H} R dR,$$

где  $R_H$  и  $R_K$  — начальный и конечный радиусы круга соответственно, мм. Интегрируя, получим

$$V_c = \pi b (R_H^2 - R_K^2).$$



В зависимости от степени износа абразивного круга изменяется разность между начальным и конечным радиусами круга, т. е. снимаемый объем  $V_c$ . При известном значении  $R_n$  задача определения изношенного объема круга сводится к определению  $R_k$ . Величины  $R_n$  и  $R_k$  измеряют штангенциркулем модели ШЦ-П с погрешностью 0,05 мм.

В процессе правки абразивного круга с алмаза сошлифовывается слой кристалла в форме усеченной пирамиды, объем слоя определяют по формуле

$$V_{\text{алм}} = \frac{h}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}),$$

где  $h$  — высота изношенного слоя алмаза, мм;  $S_1$  и  $S_2$  — площади верхнего и нижнего оснований пирамиды соответственно, мм<sup>2</sup>.

Для определения площадей верхнего и нижнего оснований, изменяющихся при правке в зависимости от формы кристалла, рабочую поверхность кристалла алмаза фотографируют до и после съема заданного объема абразива.

Параллельность фотографируемой (изношенной) поверхности кристалла фокальной плоскости фотоаппарата достигается креплением карандаша в специальной оправе с наклоном, равным углу между осью карандаша и прямой, проходящей через ось вращения шлифовального круга и точку контакта алмаза с кругом. Фотографируют карандаш на бинокулярном микроскопе БМ-51-2 с фотонасадкой (увеличение  $\times 15-20$ ). Величину сошлифованного слоя алмаза определяют при помощи микроскопа модели ММИ-2 с погрешностью  $\pm 0,005$  мм (рис. 14).

Высоту сошлифованного слоя алмаза рассчитывают по формуле

$$h = \Delta l \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  — угол установки карандаша по отношению к радиусу круга, град;  $\Delta l = l_1 - l_2$  ( $l_1, l_2$ , мм — расстояния от образующей карандаша по линии пересечения его торцевой плоскости и поверхности, контактирующей с абразивным кругом до и после съема заданного объема абразива).

Периодические замеры значений  $l_1$  и  $l_2$  и фотографирование рабочей поверхности алмаза производят до его выпадения из алмазной вставки. Размеры поверхностей площадок износа алмаза определяют, сравнивая площади снимков с этих поверхностей, сделанных в начале и в конце опыта. Площади позитивных снимков рассчитывают через массу фотобумаги. Для повышения достоверности результатов фотобумагу берут из одной пачки. Отпечатки рабо-



Рис. 14. Схема измерения высоты изношенного слоя алмаза:

1 — объектив микроскопа; 2 — алмаз

чей поверхности кристалла вырезают из фотобумаги по видимому контуру и взвешивают на аналитических весах WA-21 с погрешностью 0,1 мг. Площадь  $S_1'$  фотоснимка поверхности алмаза определяют из соотношения

$$S_1' = S_2' \frac{P_1}{P_2},$$

где  $S_2'$  — любая определенная площадь фотобумаги (в данном случае она равняется  $12 \text{ см}^2$ ),  $\text{см}^2$ ;  $P_1$  и  $P_2$  — массы отпечатков с соответствующими  $S_1'$  и  $S_2'$ , г.

Описанный метод определения стойкости карандаша может быть использован для экспертной оценки качества партии изготовленного алмазного инструмента, что позволит корректировать параметры технологии его производства.

**Алмазы в оправках.** Алмазы в оправках применяют для правки шлифовальных кругов на окончательных операциях обработки деталей, к которым предъявляются высокие требования по точности геометрической формы и качеству поверхности, а также при профильном шлифовании.

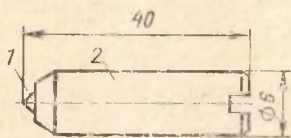


Рис. 15. Алмаз в оправке:  
1 — алмаз; 2 — оправка

Алмазы в оправках представляют собой стальную державку, в которой закреплен необработанный алмаз с выступающей острой вершиной (рис. 15). При изготовлении алмазов в оправке используют в основном природные алмазы. В соответствии с ОСТ2—9—70 «Алмазы в оправках» для изготовления алмазов в оправках применяют алмазы массой от 0,05 до 2,10 карат.

Алмаз укрепляют в державке посредством пайки серебряным припоем марки ПСр45 или ПСр50КД, латунным припоем марки ЛС-59 или Л62. Рабочая вершина алмаза обычно выступает из державки не более, чем на  $\frac{1}{4}$  полной длины алмаза. Смещение рабочей вершины алмаза относительно оси державки не должно превышать 0,1 мм.

Пооперационный контроль технологического процесса качества изготовления алмазов в оправках также примерно аналогичен контролю, применяемому при изготовлении алмазных наконечников к приборам для измерения твердости металлов.

Для контроля качества готовых инструментов «алмазы в оправке» используют следующие методы и средства контроля.

Наличие дефектов на рабочей части алмаза контролируют визуально с применением лупы с увеличением не менее  $\times 6$ . Смещение рабочей вершины алмаза относительно оси державки контролируют на инструментальном микроскопе марки БМИ-1. Наличие дефектов на поверхности державки контролируют визуально.

При арбитражных проверках качество алмазов в оправках определяется расходом алмаза после 1000 правок абразивного круга.

**Контроль качества алмазных гребенок.** Конструктивно алмазные гребенки для правки абразивных кругов представляют собой металлическую оправку круглого сечения. В торце оправки имеется высверленное углубление, куда посредством горячего прессования

запрессовывают алмазопосную вставку (рис. 16), в которой в качестве связки используют порошок твердого сплава ВК6.

При изготовлении алмазных гребенок используют природные алмазы.

В соответствии с техническими условиями на поверхности алмазных вставок не должно быть трещин, раковин, сколов, выкрашиваний, видимых невооруженным глазом. Шероховатость поверхности оправ не должна быть ниже 5—6-го класса. На поверхности оправ не допускаются вмятины, заусенцы и следы коррозии. Острые кромки на оправках притупляют. Алмазы на рабочей поверхности алмазопосной вставки должны быть вскрыты. Внешний вид инструмента должен соответствовать типовому образцу.

Пооперационный контроль технологического процесса качества изготовления алмазных гребенок аналогичен контролю алмазных карандашей и алмазов в оправе.

Контроль качества готовых алмазных гребенок также аналогичен контролю, применяемому при оценке качества алмазных карандашей и алмазов в оправе.

Качество наиболее распространенных алмазных карандашей различных типов и гребенок в решающей степени определяется качеством алмазного сырья, взаимным расположением и ориентированием отдельных алмазов в алмазопосной вставке.

Последние характеристики целиком определяются квалификацией рабочего, выполняющего операцию укладки алмазов. Укладка алмазов производится с большим напряжением из-за малого размера алмазов и жестких требований к их расположению. Контроль правильности укладки производится только при окончательной аттестации готового инструмента, когда исправить допущенные ошибки уже невозможно.

Выход из этого положения может быть найден в использовании специально разработанной технологической оснастки или шаблонов из соответствующего применяемой связке материала, которые при изготовлении карандаша становятся вместе с алмазами неотъемлемой частью алмазопосной вставки. В этом случае при прессовании и спекании вставки алмазы, зафиксированные шаблоном в определенном месте, не смогут сместиться или повернуться, т. е. качество карандаша не понизится.

## 5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ ВЫГЛАЖИВАТЕЛЕЙ

Алмазные наконечники для выглаживания представляют собой стальную державку с закрепленным (впаянным) в ней алмазом. Геометрические размеры (рис. 17) алмазных наконечников, мм:  $D=6\div 12$ ;  $d=6\div 8$ ;  $L=10\div 32$ ;  $l=12\div 20$ ;  $R=0,5\div 4,0$ .

Наконечники изготовляют двух типов: тип 1 — со сферической рабочей частью; тип 2 — с конической рабочей частью.

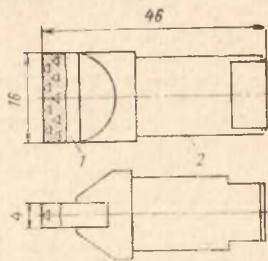


Рис. 16. Алмазная гребенка:

1 — алмазопосная вставка;  
2 — оправка



Для изготовления выглаживателей используют как природные алмазы, так и синтетические типов «баллас» и «карбонадо».

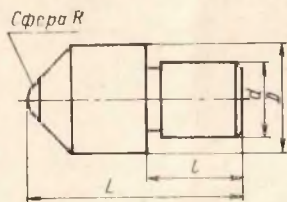


Рис. 17. Алмазный выглаживатель со сферической рабочей частью

Алмазные наконечники применяют для поверхностного упрочнения деталей машин и повышения качества обрабатываемой поверхности. Они дают хорошие результаты при обработке жаропрочных и нержавеющей сталей, черных металлов и сплавов. При этом трудоемкость обработки уменьшается почти в 2 раза и обеспечивается шероховатость поверхности до 14-го класса (при обработке алюминиевых сплавов).

Типовой технологический процесс изготовления алмазных наконечников для выглаживания включает следующие основные операции: первоначально производят отбор (аттестацию) алмазных кристаллов в соответствии с техническими требованиями. При сборке наконечника отобранный алмаз зачеканивают в заранее заготовленную оправу. После этого наконечник с алмазом помещают в установку ТВЧ, где при температуре 650—700°C его запаивают в оправу (закрепляют) припоем. Затем обрабатывают оправу, протачивая ее со стороны алмазного кристалла на конус с углом 110°, снимают наплывы припоя, заусенцы и т. д. Рабочий конус алмаза шлифуют под углом 120° до достижения шероховатости поверхности 9-го класса и затем обрабатывают сферическую вершину конуса алмаза.

Методы и средства контроля качества инструмента в основном аналогичны применяемым для контроля качества алмазных резцов. Более подробно этот вопрос разобран в п. 1.

В соответствии с ОСТ 2 И77—5—77 «Наконечники алмазные для выглаживания», рабочую часть наконечника типа 1 выполняют в виде сферы, плавно сопряженной с конусом. Рабочая часть наконечника типа 2 должна выполняться в виде конуса, плавно сопряженного со сферой. На рабочей части алмаза не допускается присутствие раковин, включений, сколов, трещин и царапин, видимых при увеличении  $\times 30$ . Алмаз закрепляют в державке посредством пайки серебряным припоем марки ПСр50КД. Допускается крепление алмаза другим припоем или другим методом, обеспечивающим работоспособность наконечников. На цилиндрическую державку наконечника типа 1 наносят риску длиной 3 мм, позволяющую установить наконечник в положение, при котором износ алмаза будет наименьшим. На поверхности державок не допускаются вмятины, раковины, трещины и следы коррозии, видимые невооруженным глазом. Предельные отклонения размера радиуса вершины в зависимости от типа наконечника должны составлять  $\pm 0,1-0,2$  мм, готовые наконечники подвергаются контрольным испытаниям. Для испытаний отбирают не менее двух штук выглаживателей каждого типа. Эти испытания сводятся к следующему.

Линейные и угловые размеры державки, также шероховатость поверхности проверяют измерительными средствами, обеспечивающими необходимую точность измерения.

Высота рабочей части наконечников должна проверяться на микроскопе при увеличении  $\times 30$

Радиус сферы и угол конуса рабочей части наконечника проверяют проекционным методом при увеличении  $\times 50$ . Плавность сопряжения сферы с конусом должна проверяться при увеличении  $\times 10$ .

Испытания наконечников на работоспособность производят на токарном станке путем паружного выглаживания цилиндрических образцов диаметром 50—100 мм и длиной 150—200 мм из стали 45ХГМ с твердостью  $HRC\ 50-55$  и исходной шероховатостью по  $Rz$  не более 3,2 мкм (после шлифования) при соблюдении следующих режимов выглаживания: усилие прижима наконечника к обрабатываемой поверхности  $17 \pm 1$  кгс; скорость выглаживания 60 м/мин; продольная подача наконечника 0,05 мм/об; смазывающе-охлаждающая жидкость — масло индустриальное по ГОСТ 20799—75; число проходов — 1.

Параметр  $Rz$  шероховатости обработанной поверхности не должен превышать 1,60 мкм. При отрицательных результатах проводят повторное испытание с удвоенным количеством наконечников. При повторных отрицательных результатах следует подвергнуть испытанию все изготовленные наконечники.

Критериями работоспособности алмазных наконечников для выглаживания является получение обрабатываемой поверхности с шероховатостью ниже требуемой и появление площадки износа на рабочей части алмаза. Допустимая величина площадки для сферической рабочей части по ширине не более 0,5 мм.

## 6. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ СТЕКЛОРЕЗОВ И СВЕРЛ

**Контроль качества алмазных стеклорезов.** Алмазные стеклорезы предназначены для ручной резки листового стекла толщиной до 10 мм.

Стеклорез представляет собой алмазный резец 1, закрепленный в рукоятку-молоточек, состоящий из корпуса 2, соединительной трубки 3, ручки 4 и винта 5 (рис. 18).

Алмазная режущая часть стеклореза может быть выполнена в виде четырехгранной пирамиды или в виде сложной криволинейной поверхности. В первом случае режущими элементами стеклореза являются вершина и одно из ребер пирамиды, во втором случае — линия перехода одной криволинейной поверхности в другую. При изготовлении стеклорезов используют как природные, так и искусственные алмазы. Качество резки стекла определяется точностью изготовления геометрических элементов режущей части алмаза.

В соответствии с техническими условиями поверхность режущей части алмазного резца стеклореза должна иметь шероховатость не ниже 12-го класса. Непараллельность режущей кромки резца стеклореза, установленного в молоточек, относительно боковой поверхности корпуса, прилегающей к направляющей линейке при резке стекла, не должна превышать  $1^\circ 30'$ .

**Методы и средства контроля.** Линейные и угловые размеры стеклорезов контролируют универсальными измерительными средствами (штангенциркулями, микроскопами линейками). Качество за-

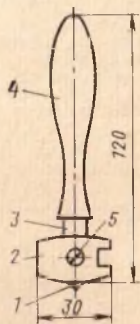


Рис. 18. Алмазный стеклорез

щитно-декоративных покрытий деталей стеклореза контролируют визуально путем сравнения с образцом.

Непараллельность режущей кромки реза стеклореза (в сборке) относительно боковой поверхности корпуса молоточка измеряют на микроскопе типа ММИ. Работоспособность стеклорезов проверяют путем резки листового стекла толщиной 3—5 мм, причем расстояние между соседними резами не должно превышать пятикратную толщину разрезаемого стекла. После проведения реза стекло должно ломаться по его линии.

Сведения о методах и средствах контроля, используемых на основных операциях при изготовлении алмазных стеклорезов, приведены в табл. 4

Таблица 4

Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средства контроля
Изготовление державки Зачеканка кристалла алмаза в державку Пайка алмаза	Точность размеров Правильность установки кристалла алмаза Температура нагрева припоя и качество пайки	Размерный Визуальный Визуальный	Универсальные средства измерения Лупа с увеличением $\times 10$ —
Механическая обработка державки с алмазом	Точность размеров, шероховатость поверхности	Визуальный	Сравнением со специальным шаблоном и эталоном шероховатости Лупа с увеличением $\times 10$ Микроскоп БМИ-1
Огранка граней или криволинейных поверхностей кристалла алмаза	Шероховатость поверхности	Визуальный Оптический	—
Контрольная	Геометрические размеры Шероховатость поверхности	Размерный Оптический	Универсальные средства измерения Микроскоп МБИ-2

В виду того, что к точности изготовления алмазных стеклорезов не предъявляется высоких требований, методы и средства контроля, приведенные в табл. 4, в основном обеспечивают точность их изготовления.

Однако контроль температуры пайки кристалла алмаза в державке осуществляется визуально, что иногда приводит к недостаточно прочному его креплению и появлению в алмазе микротрещин. Поэтому в данной операции целесообразно использовать бесконтактный метод контроля, например температуру пайки измерять оптическим или радиационным пирометром.

Контроль качества алмазных сверл. Однокристалльные алмазные сверла применяют для сверления изделий из стекла и других твердых материалов. В данном разделе рассматриваются методы и средства контроля качества алмазных сверл для сверления отверстий в очковых линзах (рис. 19). Режущим элементом в этом виде



инструмента является кристалл алмаза, вершина которого имеет форму пирамиды.

В этих сверлах обычно используют природные алмазы формы ромбодоэкаэдроида, резко удлиненные (длиной не менее 6 мм). Заготовки, полученные из таких кристаллов, имеют прямоугольное или квадратное сечение с размерами сторон не менее 1,3 мм, длиной не менее 6,0 мм.

Типовой технологический процесс изготовления алмазных сверл для сверления очковых линз заключается в следующем.

Первоначально производят отбор (аттестацию) кристаллов алмаза по массе, размерам, форме и трещиноватости, используя при этом средства контроля, приведенные в табл. 4. Затем на станке специальной конструкции гранят кристалл алмаза, изготовляя заготовку (в сечении прямоугольную или квадратную). Шероховатость обработанных поверхностей должна быть не ниже 12-го класса. Ограненную заготовку впивают в стальную державку, которую затем протачивают на токарном станке. При этом получают конус с углом  $90^\circ$ , примыкающий к алмазу. После этого гранят вершину кристалла алмаза до получения 4-гранной пирамиды с углом между гранями при вершине  $100 \pm 2^\circ$  с получением шероховатости 12-го класса.

В соответствии с техническими условиями перемычка при вершине пирамиды на конце сверла должна быть не более 0,01 мм. Разность между длинами сторон квадрата, лежащего в сечении рабочей части, не должна превышать 0,01 мм. На ребрах призмы рабочей части должны быть сняты фаски шириной  $0,3 \pm 0,1$  мм под углом  $45^\circ$  к стороне квадрата. Рабочая часть алмаза выступает из державки не более чем на  $1/2$  длины кристалла. На рабочей части алмаза не должно быть сколов, трещин, выкрашиваний, видимых при увеличении  $\times 10$ . Биение вершины рабочей части алмаза относительно оси конуса не должно превышать 0,03 мм.

Геометрические параметры рабочей части сверла: угол при вершине 4-гранной пирамиды кристалла алмаза; перемычка при вершине; разность между размерами сторон квадрата рабочей части алмаза; ширина фаски на ребрах призмы рабочей части и угол к стороне квадрата подвергаются контролю под микроскопом при увеличении  $\times 30$ . Биение вершины сверла относительно оси посадочного конуса державки проверяют также под микроскопом.

Одно алмазное сверло должно обработать до первого восстановления не менее 15 тыс. отверстий в очковых линзах из стекла типа К8 толщиной 2—3 мм. Методы и средства пооперационного контроля и оценки качества, применяемые при изготовлении алмазных сверл, почти аналогичны методам и средствам, используемым при изготовлении алмазных стеклорезов. Использование точных оптических контрольных приборов (микроскопов и микроинтерферометров) гарантирует достаточно высокую надежность выполнения наиболее ответственных контрольных операций.

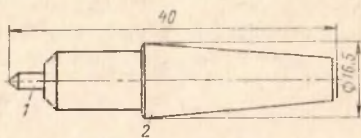


Рис. 19. Алмазное сверло для сверления очковых стекол:

1 — алмаз; 2 — корпус сверла

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

### 1. ОПЕРАЦИОННЫЙ И МЕЖОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНСТРУМЕНТА

Общим для всех видов абразивно-алмазного инструмента на металлических связках является то, что их рабочий слой наряду с алмазным порошком содержит различные металлы. Органические материалы в рабочем слое этих инструментов отсутствуют. Инструменты на металлической связке используют главным образом для предварительных операций с большим съемом обрабатываемого материала. При использовании этих инструментов шероховатость обработанной поверхности находится в пределах 7—11-го классов.

Шлифование кругами ведется на скорости около 30 м/с. Поэтому к их параметрам предъявляются достаточно жесткие требования: посадочные размеры выполняются по 2-му классу точности, допустимые величины радиального и торцового биений не превышают 0,03—0,05 мм. Допускаемая величина смещения центра тяжести в зависимости от типоразмера круга не должна превышать 0,04 мм.

Формирование рабочего слоя происходит, как правило, в несколько этапов. В соответствии с существующими технологическими процессами смесь порошков металлов, алмаза и необходимых добавок засыпают в пресс-форму, в которой заранее установлен металлический корпус будущего инструмента. Для предотвращения расслаивания смеси порошков при засыпании и последующем разравнивании, на предварительных операциях их смачивают незначительным количеством специальной жидкости-смачивателя. Поверхность корпуса инструмента, к которому прикрепляется алмазосодержащий рабочий слой, как правило, меднится гальваническим способом.

После разравнивания засыпанной в пресс-форму смеси порошков (шихты) производится установка в пресс-форму пуансона и холодное прессование рабочего слоя инструмента на прессе.

Пресс-форму со спрессованным изделием устанавливают в печь, где производят спекание рабочего алмазосодержащего слоя. Эта операция происходит при температуре 650—750°C, в защитной или обычной среде, а иногда и в вакууме. Время спекания пропорционально массе инструмента и пресс-формы, и в среднем составляет 1—1,5 ч.

По окончании спекания горячую пресс-форму с изделием устанавливают на пресс, где производят горячую допрессовку рабочего слоя. Целью этой операции является увеличение плотности рабочего слоя и создание прочного сцепления рабочего слоя с корпусом инструмента.

Таблица 5

Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средство контроля
Исходной контроль материалов	<b>Алмазный порошок</b>		
	Механическая прочность	Раздавливание отдельных зерен	—
	Зерновой состав	Оптический	Микроскопы МБУ-4, МБИ-11 Вибросито Микроскоп МБУ-4
	Содержание пластинчатых зерен	Ситовой Оптический	Аналитические весы АДВ-200-М, сушильный шкаф
	Влажность	Весовой	
	<b>Медный порошок</b>		
	Гранулометрический состав	Ситовой	Вибросито
	Насыпная масса	Объемно-массовый Оптический	Волюмометр Скотта
	Структура зерен медного порошка	Весовой	Микроскопы МБУ-4, МБИ-11 Аналитические весы АДВ-200-М, сушильный шкаф
	Влажность		
Восстановление медного порошка	<b>Оловянный порошок</b>		
	Гранулометрический состав	Ситовой	Вибросито
	Насыпная масса	Объемно-массовый Измерение термо-ЭДС	Волюмометр Скотта
	Температура нагрева печи	Измерение термо-ЭДС	Термопара и потенциометр
Приготовление связки	Время выдержки порошка в печи	—	Часы
	Время смешивания	Оптический, определением числа зерен компонентов в отобранной пробе связки Химический, обработки отобранных проб связки в различных реактивах и их взвешиванием Механический	Часы, микроскоп МБУ-4
	Равномерность смешивания компонентов связки		Аналитические весы АДВ-200-М
Изготовление корпуса инструмента	Твердость спрессованных образцов	Механический	Твердомер ТК-2
	Прочность спрессованных образцов	Механический	
	Внешний вид	Визуальный	Универсальные средства измерения (интангенциркуль, калибр-пробка и т. д.) Лупа × 10
	Геометрические размеры	Визуальный	
	Внешний вид	Визуальный	
Меднение корпуса инструмента	Прочность спеления покрытия с корпусом	Механический, отдираем покрытие от корпуса	Скальпель



Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средство контроля
Приготовление алмазной шихты	<p>Масса навески алмазного порошка  Масса связки  Время смешивания  Равномерность смешивания</p>	<p>Весовой  Весовой  Химический, обработкой отобранных проб в различных реактивах и их взвешивание  Весовой</p>	<p>Аналитические весы АДВ-200-М  Технические весы Часы  Аналитические весы АДВ-200-М</p>
<p>Отвешивание навески алмазной шихты на один инструмент  Засыпка алмазной шихты в пресс-форму  Холодное прессование</p>	<p>Масса навески  Степень разравнивания алмазной шихты в пресс-форме  Усилие прессования</p>	<p>Визуальный  Гидравлический, по давлению в гидросистеме пресса  Измерение термо-ЭДС</p>	<p>Аналитические или технические весы  —  Манометр</p>
<p>Спекание  Горячая допрессовка  Контроль качества инструмента, извлеченного из пресс-формы</p>	<p>Температура  Время  Время прессования  Усилие прессования  Внешний вид  Твердость алмазного слоя  Прочность алмазного слоя  Прочность сцепления алмазного слоя с корпусом</p>	<p>Гидравлический  Визуальный  Механический  Механический</p>	<p>Термопара, потенциометр  Часы  Часы  Манометр  —  Твердомер ТК-2</p>
<p>Обработка посадочных поверхностей корпуса инструмента  Вскрытие алмазного слоя  Контроль геометрических параметров</p>	<p>Геометрические параметры  Степень обнажения алмазных зерен  Торцовое биение  Радиальное биение  Параллельность или перпендикулярность различных поверхностей</p>	<p>Центробежный (для кругов)  Размерный  Визуальный  Размерный  Размерный</p>	<p>Станок с высокой скоростью вращения шпинделя  Универсальные средства измерения (штангенциркуль, калибр и т. д.)  Лупа <math>\times 10</math></p>
<p>Балансировка (для кругов)  Испытание на режущую способность</p>	<p>Величина остаточного дисбаланса  Удельный расход алмаза  Удельная производительность</p>	<p>Оптико-механический  Линейный, песочной</p>	<p>Балансировочная машина  Аналитические и технические весы, индикатор часового типа</p>
<p>Испытание на механическую прочность  Полировки корпуса инструмента  Контроль ОТК готового инструмента</p>	<p>Прочность сцепления алмазного слоя с корпусом инструмента  Товарный вид инструмента  Соответствие геометрических параметров по чертежу, торцовое биение, радиальное биение</p>	<p>Центробежный (для кругов)  Визуальный  Размерный</p>	<p>Станок с высокой скоростью вращения шпинделя  —  Универсальные средства измерения (штангенциркуль, индикатор часового типа, калибры и т. д.)</p>

Снятую с пресса пресс-форму охлаждают и разбирают. Инструмент, прошедший операцию спекания и горячей допрессовки, подвергают вскрытию рабочего алмазоносного слоя. При этом с поверхности слоя удаляют избыточный металл связки, а зерна алмазного порошка обнажают (вскрывают), обеспечивая тем самым необходимые режущие свойства абразивно-алмазного инструмента.

Инструменты, являющиеся телами вращения (круги, головки и пр.) балансируют. Затем все инструменты испытывают на режущую способность и механическую прочность, после чего их подвергают отделочным операциям с целью придания товарного вида, маркируют и упаковывают.

Качество абразивно-алмазного инструмента в значительной мере зависит от точности соблюдения режимов технологического процесса на всех операциях изготовления изделия и соответственно от применяемых средств операционного и межоперационного контроля.

В табл. 5 приведены контролируемые параметры, методы и средства контроля, используемые в типовом технологическом процессе изготовления алмазного инструмента на металлических связках.

Анализ приведенных в табл. 5 данных показывает, что все методы контроля и применяемые для их осуществления средства измерения можно разделить на три основные группы.

К первой группе относятся стандартные методы и средства измерения, применяемые при измерении геометрических параметров изделия; контроле давления, температуры и времени при прессовании и спекании; определении физико-механических свойств связки и ряда других. В этих случаях используют стандартизованные методики и применяют контрольно-измерительные приборы и приспособления.

Контрольные операции, входящие во вторую группу, характеризуются почти полным отсутствием каких-либо средств измерений, применяемых при их осуществлении.

Подобными операциями являются визуальный осмотр изделия на разных стадиях его изготовления, контроль качества упаковки и т. д. В этих случаях используют простейшие приборы и приспособления, такие, как лупу или скальпель (при контроле прочности сцепления гальванического слоя меди с корпусом инструмента).

Наконец, третья группа включает в себя специфические контрольные операции, свойственные, как правило, только процессам производства алмазно-абразивного инструмента. К этой группе следует отнести операции контроля степени разравнивания алмазной шихты в пресс-форме, равномерности ее смешивания, а также определение режущих свойств готового изделия.

Если контрольные операции первой группы оснащены контрольно-измерительными средствами достаточно полно, то операции второй и третьей групп почти их не имеют. Кроме того, методы контроля, применяемые в операциях второй группы и отчасти третьей, не являются объективными, что приводит к значительным ошибкам при определении качества их выполнения.

Существенным недостатком почти всех применяемых в настоящее время методов операционного, межоперационного и окончательного контроля качества алмазного инструмента на металлических связках и средств измерения является их очень низкая производительность. Например, анализ зернового состава алмазно-

го пороника продолжается несколько часов и требует постоянного внимания работающего на микроскопе оператора. Это обстоятельство делает невозможным 100%-ный объективный контроль всех выпускаемых изделий.

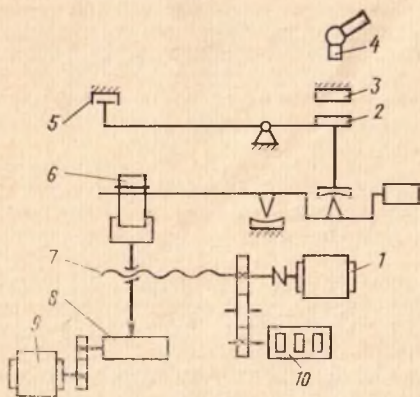


Рис. 20. Схема блока нагружения прибора ДА-2 для измерения прочности зерен алмазного порошка

В то же время в других отраслях промышленности применяют для аналогичных целей современные высокопроизводительные методы контроля и средства измерения. Их описание приводится ниже.

**Контроль прочности алмазного порошка.** Эта операция является очень ответственной, так как от правильности ее выполнения в конечном счете зависят эксплуатационные свойства будущего инструмента: стойкость, работоспособность, качество обработки поверхности изделия и т. д.

В соответствии с ГОСТ 9206—70 «Порошки алмазные» в настоящее время на заводах, изготовляющих алмазные порошки и алмазно-абразивный инструмент, прочность зерен алмазного порошка определяют на приборе мод. ДА-2.

Прочность зерен определяют при раздавливании их между поверхностями двух прозрачных корундовых пластин (рис. 20).

Блок нагружения прибора мод. ДА-2 имеет электродвигатель 1 с редуктором, выходной вал которого соединен с ходовым винтом 7. На винте расположено водило, перемещающее груз 6 по рычагу, установленному на призматических опорах.

Усилие, возникающее от действия массы груза 6, передается нижней опорной корундовой площадке 2, расположенной на коротком конце рычага, на втором конце которого имеется демпферный датчик 5. Верхняя опора 3 закреплена неподвижно.

Раздавливаемые зерна порошка (не менее 50 зерен) по одному укладывают на нижнюю площадку 2. При вращении двигателя 1 груз 6 перемещается по рычагу до момента разрушения зерна, фиксируемого датчиком 5 в момент ускоренного движения площадки 2.

Величина разрушающего усилия демонстрируется на указателе 10 и записывается на диаграмме 8, проработанной двигателем 9.

Микроскоп 4 служит для определения степени разрушения зерен порошка. Прочность порошка определяют как среднее арифметическое из результатов испытаний всех раздавленных зерен.

Для определения усилий раздавливания зерен алмазного порошка между твердосплавными пластинами разработана экспериментальная установка [54], в которой необходимое усилие создается электромагнитом постоянного тока. При испытании зерна сила тока



плавню возрастает от нулевого значения до величины, создающей усилие притяжения якоря магнита, разрушающего зерно. Момент разрушения зерна фиксируется индуктивными датчиками при ускорении якоря электромагнита. Применение электромагнита значительно уменьшило инерционность нагрузочной системы устройства, что выгодно отличает его от прибора мод. ДА-2.

Более производительная установка мод. ПА-2М разработана в Украинском полиграфическом институте им. Ивана Федорова. Она предназначена для определения прочности алмазных порошков и других сверхтвердых материалов всех зернистостей. Прочность определяют путем разрушения единичных зерен между вращающимися навстречу друг другу твердосплавными роликами 1 и 3 (рис. 21).

Усилие раздавливания определяется жесткостью балки 8, жестко укрепленной на основании 7, на которой расположен ролик 3. Балка 6 с роликом 3 при настройке установки имеет возможность поворачиваться вокруг оси, расположенной на основании 7. Поворот осуществляется винтом 5 и контролируется индикатором часового типа 4. При создании необходимого зазора (в зависимости от зернистости порошка) между роликами 1 и 3 балка 6 закрепляется неподвижно.

Во время испытаний порошка его зерна по одному сбрасываются из лотка 2 в зазор между роликами 1 и 3. При прохождении зерна ролик 1 отклоняется, образуя прогиб балки 8, величина которого фиксируется индуктивным датчиком 9 и записывается самописцем. Жесткость балки 8 тарируется грузами. При разрушении зерна величина прогиба балки 8 меньше, чем при его прохождении и соответствует усилию раздавливания.

Описанный метод контроля прочности зерен порошка нельзя считать достаточно надежным. Прочность зерна при одноосном сжатии, имеющем место при применении описанных приборов, не полностью характеризует поведение зерна во время работы инструмента.

В процессе шлифования, хонингования, полирования и других видов работ алмазно-абразивных инструментов алмазное зерно, выступающее на некоторую часть своей высоты над уровнем связки, подвергается воздействию сжимающих, тангенциальных и других сил. Время контакта отдельного зерна с обрабатываемой поверхностью очень мало, так как скорость вращения алмазного инструмента, как правило, превышает 30 м/с. Таким образом, алмазное зерно, входя в контакт с поверхностью детали на большой скорости, испытывает огромные ударные нагрузки. Напряжений,

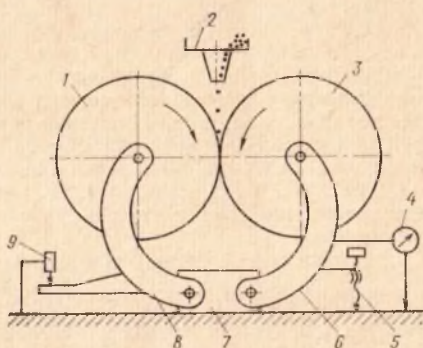


Рис. 21. Схема установки ПА-2М для контроля прочности зерен алмазного порошка

возникающие при их действии, при недостаточной ударной прочности зерна могут привести к его разрушению.

В связи с этим более надежным методом определения прочности следует считать измерение ударной прочности зерен порошка. Для этой цели можно использовать устройство для определения ударной прочности алмазов [19].

Разрушение одиночных зерен происходит в этом устройстве при падении на них с переменной высоты груза с определенной массой. Рабочие поверхности груза и наковальни, на которую укладывают зерна, армированы твердым сплавом. При испытании первоначально груз сбрасывают на зерно с высоты, заведомо недостаточной для его разрушения, затем высоту подъема груза постепенно увеличивают, пока она не достигнет величины, необходимой для разрушения зерна. Показателем прочности алмаза является средняя арифметическая величина потенциальной энергии, запасаемой грузом при подъеме во время испытаний всех проверенных зерен.

Аналогичный прибор «Freeester» разработан фирмой De Beers. Но в нем прочность порошка определяется при воздействии грузом одновременно на всю отобранную для испытаний навеску. Критерием прочности испытанного порошка является относительная масса измельченных зерен.

Более достоверные результаты при определении прочности зерен порошка в настоящее время могут быть получены при испытании его в установке, работающей по принципу магнитной мельницы [40] с вращающимся магнитным полем, рабочими телами в которой являются разноосные ферромагнитные частицы. Зерна загруженного в рабочий объем установки порошка при вращении магнитного поля подвергаются интенсивному истиранию; они также ударяются о двигающиеся с большой скоростью ферромагнитные частицы и неподвижные стенки установки.

Критерием прочности в этом случае является степень измельчения зерен порошка, а его абразивная способность может быть определена по убыванию суммарной массы ферромагнитных частиц, извлеченных после окончания испытаний из массы порошка. Таким образом, результаты испытания порошка в подобной установке наиболее полно характеризуют эксплуатационные свойства порошка. Поэтому эту установку можно рекомендовать для промышленного использования.

**Анализ алмазного порошка на зерновой состав и наличие пластинчатых зерен.** В соответствии с ГОСТ 9206—70 алмазные порошки по зернистости делят на две группы — шлифпорошки и микропорошки. К первым относятся порошки с размерами зерен, находящимися в диапазоне от 630 до 40 мкм, ко вторым — с зернами размерами от 60 до 1 мкм и меньше.

Каждая зернистость тех или других порошков содержит три фракции: основную, крупную и мелкую. Суммарное содержание крупной и мелкой фракций для шлифпорошков не должно превышать 18%, а для микропорошков — 35% от массы контролируемого порошка данной зернистости.

В настоящее время в производственных условиях при анализе порошков на зерновой состав применяют бинокулярные микроскопы мод. МБУ-4, МБИ-11 с увеличением  $\times 600$ —1800. При рассмотрении алмазного порошка, насыпанного в один слой на предметном стекле микроскопа, оператор подсчитывает зерна определен-

ного размера. Для облегчения проведения анализа применяют одиннадцатиклавишный медицинский счетчик, используемый обычно в биологии и медицине для подсчета числа различных частиц, например красных телец в крови.

За размер зерна принимают полусумму длины и ширины прямоугольника, условно описанного вокруг проекции зерна таким образом, чтобы большая сторона прямоугольника соответствовала наибольшей длине проекции зерна. Измерения выполняются с точностью до половины деления шкалы сетки микроскопа.

Просмотр под микроскопом начинают с замеров крупных зерен по всему полю зрения микроскопа. Подсчитывают отдельно зерна крупной, основной и мелкой фракции.

При анализе контрольной навески порошка массой около 1 мг должно быть измерено не менее 500 зерен.

Выполнение этого анализа требует от оператора большого внимания и является очень утомительной и длительной операцией.

В настоящее время в других областях науки и техники для подсчета частиц сыпучих тел нашли достаточно широкое применение телевизионные микроскопы с автоматическими счетчиками микрочастиц [33].

Телевизионный микроскоп в своем простейшем варианте представляет собой обычный оптический микроскоп, снабженный вместо окуляра фоточувствительной передающей трубкой. Передающая трубка через стандартную электронную передающую систему передает изображение на экран кинескопа. Снабженный счетным приспособлением телевизионный микроскоп представляет собой автоматический счетчик микрочастиц, значительно упрощающий процесс их счета.

Например, прибор английской фирмы Sintel имеет экран размерами  $200 \times 200$  мм. Увеличение изображения рассматриваемого предмета может меняться в пределах  $\times 200-8000$ . Он считает частицы размером от 1 до 160 мкм и автоматически сортирует их по 60 группам крупности. Погрешность прибора  $\pm 2\%$ . Время подсчета частиц, расположенных в одном поле зрения прибора, 8 с, т. е. в 100 раз меньше времени при визуальном счете.

Для быстрого приближенного контроля зернового состава порошков фирмой С. А. Scott, Goyse, Leeb (Англия) разработан фотоэлектронный фотосендиментомер [67]. Действие этого прибора основано на использовании закона Стокса о связи скорости осаждения частиц в жидкости с их размерами. Прибор работает следующим образом: порция жидкости (около 100 мл), смешанной с отобранной навеской алмазного порошка, заливается в плоский, расположенный вертикально прозрачный сосуд. По одну сторону сосуда расположен источник света, по другую — фотоприемник. Прибор снабжен электронной схемой, которая по скорости изменения светового потока, проходящего через взвесь постепенно осаждающегося порошка, автоматически определяет содержание в данном порошке зерен крупной, основной и мелкой фракции.

Аналогичные приборы разработаны в СССР. Например, фотоэлектрический прибор мод. ФЭП-5 [46] производит гранулометрический анализ порошков с зернами размерами от 3 до 100 мкм. Расхождение показаний прибора при параллельных определениях зернового состава порошка одной партии не превышает  $\pm 3-5\%$ . Продолжительность анализа в зависимости от зернистости анализируемого порошка 10—30 мин.



Описанные методы контроля зернового состава порошка имеют существенные недостатки. Одним из основных следует считать то, что все применяемые средства измерения учитывают размеры зерен, лежащих в одной плоскости, в то время как зерна являются не плоскими телами, а имеют, как правило, неправильную пространственную форму. Фотоэлектрические седиментометры имеют большую ошибку измерения из-за диффузного рассеивания света на отдельных частицах порошка.

В связи с этим в настоящее время проводятся работы по созданию новых методов и средств контроля зернового состава порошков. Некоторые из них, имеющие большую перспективность, рассмотрены ниже.

Фотопульсный метод анализа основан на использовании последовательного измерения количества света, рассеиваемого отдельными частицами [25]. Световой поток, рассеиваемый частицей, размеры которой больше длины волны света, пропорционален площади ее освещенной поверхности. При работе в видимом свете для уменьшения ошибки измерения, возникающей за счет дифракции света, минимальный размер анализируемых частиц не должен быть меньше 1—5 мкм. С использованием излучения в ультрафиолетовой части спектра возможен контроль частиц с размерами менее 1 мкм.

При проведении измерений анализируемый порошок смешивается с жидкостью, превращается в аэрозоль и пропускается через измерительную систему таким образом, чтобы частицы проходили осветительный световой поток поодиночке. Отраженный частицами свет, интенсивность которого определяется освещенной площадью поверхности частицы, воспринимается фотоэлектрической чувствительной аппаратурой и преобразуется в электрический сигнал, амплитуда которого таким образом зависит от площади поверхности зерна, а следовательно, от его размеров.

Автоматическая обработка амплитудного распределения сигналов позволяет определить зерновой состав анализируемого порошка.

Чтобы исключить ошибку, возникающую при измерении светового потока, отраженного одновременно от нескольких частиц, концентрация аэрозоля не должна превышать 1000 частиц на 1 см<sup>3</sup>. Такая концентрация обеспечивает контроль нескольких сотен зерен в секунду и делает возможным проведение анализа значительных порций порошка за несколько минут. Достоверность результатов этого анализа значительно выше, чем микроскопического.

Прибор мод. УДА-Л2, осуществляющий анализ по описанному методу, способен проконтролировать 30 000—50 000 частиц с минимальными размерами 2—3 мкм за 5—7 мин. За смену на нем можно провести 40—50 анализов [63].

Другой перспективный метод — кондуктометрический заключается в измерении электрического сопротивления определенного объема электролита при прохождении через него отдельной частицы алмазного порошка. В соответствии с этим методом суспензия анализируемого порошка в электролите прокачивается через узкий канал. Электролит в канале является частью электрической цепи, сопротивление которой изменяется в зависимости от размеров частицы, проходящей канал. Процесс изменения сопротивления автоматически регистрируется электронной схемой. Действующий по этому методу опытный прибор контролирует частицы с размерами

0,5 мкм. Разброс показаний прибора при контроле навесок порошка одной партии не превышает  $\pm 5\%$ .

В настоящее время наиболее разработанными являются автоматические анализаторы, использующие телевизионные микроскопы, которые могут быть рекомендованы для контроля порошков.

**Контроль влажности алмазного порошка.** Влажность алмазного порошка оказывает большое влияние на работоспособность будущего инструмента. При повышенной влажности уменьшается число зерен в навеске порошка, а следовательно, снижается его концентрация в алмазосодержащем слое. Это снижение может быть весьма значительным — до 10—20% заданной величины концентрации. Это приводит, с одной стороны, к снижению режущих свойств инструмента, а с другой — к неправильной, завышенной оценке его себестоимости. В случае использования порошка природного алмаза повышение его влажности при изготовлении инструмента является нарушением правил, принятых при работе с драгоценными материалами.

В соответствии с ГОСТ 9206—70 влажность порошков определяется по изменению массы навески в 1 г до и после нагрева ее в сушильном шкафу при температуре 100—105°C в течение 1,2—2 ч.

Такой способ контроля влажности порошка, хотя он и является классическим, нельзя считать достаточно надежным. Дело в том, что при производстве алмазно-абразивного инструмента проходит значительное время с момента определения влажности порошка до его развешивания на отдельные навески. При этом влажность порошка может изменяться. Кроме того, при нагреве порошка из него может удаляться не только влага, но и некоторые примеси, как входящие в структуру материала частиц, так и не имеющие к нему отношения (например, неалмазная пыль), что также может вносить значительные погрешности в измеренную величину влажности порошка.

В настоящее время при определении влажности различных материалов: твердых, жидких, газообразных, как минеральных, так и органических применяют огромное число приборов, в которых использованы различные методы контроля содержания влаги.

Все известные сейчас методы измерения влажности могут быть разделены на две группы: параметровые (или многопараметровые) и массопереносные [53].

Под параметровыми понимают методы, заключающиеся в определении какого-либо физико-химического параметра контролируемого вещества: электрической проводимости, диэлектрической проницаемости, теплопроводности и т. п.

Электрические методы измерения и контроля влажности базируются на связи электромагнитных параметров контролируемой среды с содержанием в нем определяемого компонента, в нашем случае влаги.

Чувствительность этих методов зависит от электромагнитных свойств влаги, объемной массы контролируемой навески порошка (которая, в свою очередь, определяется крупностью и формой частиц, степенью уплотнения порошка при измерении и т. д.) и самой измеряемой величины — влажностью [63].

Определение электрической проводимости порошка сводится к измерению величины его удельного электрического сопротивления при пропускании постоянного или переменного тока.

Полное сопротивление датчика (находящегося в контакте с порошком), которое измеряется при контроле влажности, является функцией многих переменных факторов, не связанных с влажностью порошка — состояния поверхности электродов, их конфигурации, площади контакта с контролируемым объектом и т. д. В связи с этим получить надежные результаты, особенно при контроле влажности алмазного порошка, очень трудно.

Определение содержания влаги в порошке путем измерения его диэлектрической проницаемости производят с применением токов звуковых частот, радиочастот и СВЧ.

При контроле влажности порошка используется датчик в виде полого цилиндра, заполняемого исследуемым веществом. Но, как и в кондуктометрических влагомерах, точность определения содержания влаги обусловлена зернистостью порошка, формой его зерен и плотностью засыпки порошка в датчик. Погрешности измерения в этом случае достигают значительных величин, тем более, что алмаз является диэлектриком (или иногда полупроводником).

Наибольшее распространение из параметровых методов при контроле влажности различных материалов в производственных условиях получил метод измерения в свободном пространстве. Он основан на сравнении сигнала измерительной системы прибора (работающей от СВЧ-генератора) без контролируемого материала и с ним. По разности показаний прибора в том и другом случае определяют величины диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь контролируемого материала, которые затем переводят в величины его влажности. Установка, использующая этот метод, разработана во ВНИИАШе, и после проведения соответствующих испытаний будет внедряться в промышленность для измерения и контроля влажности абразивных материалов.

Во ВНИИ аналитического приборостроения (ВНИИАП, Киев) создан оптический прибор мод. ДДО для экспрессного определения влажности различных органических и неорганических сыпучих материалов, в том числе и минерального сырья [38].

В нем использован датчик диффузного отражения инфракрасного излучения. Прибор реагирует на общее содержание воды в веществе. Градуированная шкала прибора производится индивидуально для каждого материала, при этом используется классический метод сушки. Пределы измерения влажности 0,5—30% с погрешностью не более 0,5%. Конструкция прибора — настольная.

В процессе измерения влажности сравниваются интенсивности двух потоков излучения разного спектрального состава, отраженного от материала. Датчик прибора состоит из следующих элементов: источника двух потоков излучения, держателя образца, фотоэлектрического преобразователя, схемы сравнения.

Держатель образца — это стеклянное окошко на крышке прибора. Исследуемый порошок насыпают на окошко толщиной 1—2 см, либо в прозрачный стакан с плоским дном. Прибор имеет шкалу, градуированную в единицах влажности.

Массопереносные методы основаны на изучении переходных процессов (кинетические массопереносные методы) или установившегося равновесного состояния термодинамической системы, в состав которой входит исследуемое влажное вещество.

Установившееся состояние используется при применении равновесных массопереносных методов определения влагосодержания.



К ним относятся методы тепловой, инфракрасной и вакуумной сушки, экстракции, химический метод, а также большинство методов гигрометрии. Эти методы являются наиболее точными, но обладают существенным недостатком — малым быстродействием. Это не позволяет применять их для экспресс-анализа, что зачастую необходимо в производственных условиях.

Этот недостаток можно устранить применением массопереносных методов, разработанных в последнее время. Наиболее характерным представителем этой группы является так называемый калориметрический (или пневмокалометрический) экспрессный метод, время измерения содержания влаги которым может быть менее 1 мин.

В качестве примера использования одновременно массопереносного и параметрового методов можно привести адсорбционный емкостной гигрометр. В основу его работы положено явление переноса влаги из исследуемого материала во вспомогательный материал (адсорбент), физические свойства которого известны. О влагосодержании адсорбента судят по величине диэлектрической проницаемости, измеряемой с помощью параметрового метода.

Имея заранее построенные корреляционные графики зависимости диэлектрической проницаемости (или электропроводности, емкости и т. д.) адсорбента от влажности, можно легко определить содержание влаги в контролируемом веществе. На этом методе основана работа прибора, применяемого в кинофотопромышленности для постоянного контроля содержания влаги в фотоэмульсии [11] при ее поточном производстве. Прибор измеряет посредством электролитических подогревных датчиков влажность воздуха, который находится в гидродинамическом равновесии с исследуемым материалом. Конструкция измерительного устройства исключает приток к электролитическим датчикам внешнего воздуха, не соприкасающегося с испаряющейся поверхностью материала.

Приборы и устройства, использующие массопереносной метод контроля влажности, могли бы найти наиболее широкое применение при измерении влажности порошков алмаза и сверхтвердых материалов, так как они лишены недостатков параметровых методов и одновременно обладают их достоинством — быстродействием.

**Входной контроль металлических порошков.** Контроль порошков, входящих в состав связки абразивно-алмазного инструмента, проводят по нескольким параметрам.

**Ситовой анализ,** в результате которого определяют относительное содержание крупной, основной и мелкой фракций, производят с использованием набора сит, смонтированных на виброустройстве.

Анализируемую навеску порошка засыпают в верхнее сито с наибольшими ячейками. При вибрации набора сит частицы порошка просыпаются через ячейки на нижележащее сито с более мелкими ячейками. При этом самые мелкие частицы порошка проходят весь набор сит, самые крупные — остаются в верхнем сите, а частицы основной фракции задерживаются в средних ситах. Обычно при анализе медных порошков используют набор из трех—четырех сит с разными ячейками.

После отсева полученные фракции порошка отдельно взвешивают. Затем рассчитывают их относительное содержание во всей массе анализируемого порошка.

Этот метод является общепринятым при техническом контроле порошков, и его надежность при правильной эксплуатации сит достаточно высока.

Для массовой оценки формы зерен порошка (от которой зависит в значительной степени прочность, плотность и пористость алмазосносного слоя) по применяемой в настоящее время методике определяют объемную массу (объемный вес) порошка. Объемную

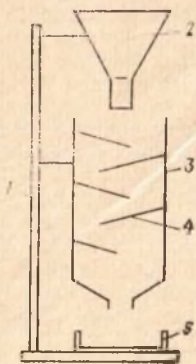


Рис. 22. Схема волюмометра Скотта.

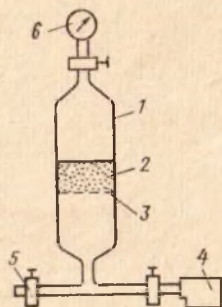


Рис. 23. Схема прибора для определения удельной поверхности порошка по скорости фильтрации газа

массу часто выражают через насыщенную массу, т. е. через массу порошка, заполняющего мерную емкость при свободном насыпании.

Для определения насыпной массы применяют лабораторный прибор — волюмометр Скотта (рис. 22). Волюмометр имеет воронку с ситом 2, укрепленную на штативе 1 над корпусом 3 прибора. В корпусе расположены наклонные стекла 4, по которым высыпавшийся из воронки порошок, свободно пересыпаясь со стекла на стекло, попадает в мерный стакан 5.

Насыпную массу порошка определяют путем деления массы насыпавшегося в стакан порошка на его объем.

На качество алмазосносного слоя инструмента в значительной мере влияет удельная поверхность порошка, т. е. суммарная поверхность его зерен, отнесенная к 1 г порошка.

В настоящее время при входном контроле металлических порошков производят контроль структуры зерен с помощью микроскопов. Эта операция аналогична выполняемой при входном контроле алмазных порошков. Оптический метод контроля структуры зерен металлических порошков обладает теми же недостатками, о которых говорилось при описании входного контроля алмазного порошка.

В порошковой металлургии, горной промышленности, фармацевтическом и других видах производств часто применяют для определения удельной поверхности сыпучих тел способ, основанный на определении скорости фильтрации газа через слой порошка [34]. Для этой цели используют прибор Дерягина (рис. 23). Схематически работа прибора происходит следующим образом: высушенную пробу порошка 2 загружают в цилиндр 1 на фильтр 3 слоем высотой от 1,5 до 10 см в зависимости от крупности порошка (чем крупнее порошок, тем больше навеска) и слегка уплотняют. Затем из прибора вакуум-насосом 4 откачивают воздух. После этого с помощью патекателя 5 в нижнюю часть цилиндра очень небольшими количествами подают воздух (или инертный газ). Повышение давления прошедшего через порошок газа в верхней части цилиндра регистрирует манометр 6. По скорости увеличения давления в верхней полости цилиндра рассчитывают удельную поверхность порошка.

Широкое применение находят приборы для определения удельной поверхности порошков методом адсорбции нейтральных газов — азота, криптона и др. Последние методы обладают большой точностью, но время измерения удельной поверхности одной навески порошка составляет несколько часов, что затрудняет их использование в заводской практике при изготовлении алмазного инструмента.

При входном определении влажности металлических порошков могут быть с успехом использованы приборы, основанные на применении параметрового и массопереносного методов контроля.

Для приготовления связки металлические порошки в заданных количествах смешивают в смесителях. Наиболее часто для этой цели используют машины типа «пьяная бочка». В них емкости с насыпанными порошками в течение длительного времени вращаются вокруг оси, не проходящей через центр смесительной емкости.

Качество смешивания определяется в настоящее время только временем смешивания порошков в «пьяной бочке». Необходимое время смешивания устанавливают по результатам определения степени перемешивания компонентов связки, которое производят следующим образом. Из разных частей объема смесительной емкости отбирают 10 проб порошка. Масса каждой пробы — 1 г. Пробы отбирают специальным отборником.

Отобранные пробы подвергают химическому анализу на содержание металлических компонентов. Например, при проведении анализа связки М1, содержащей в виде основного компонента медь, а в виде вспомогательного — олово, определяется содержание в связке только олова.

После определения содержания олова в каждой пробе статистической обработкой полученных результатов находится коэффициент вариации  $K_{\text{вар}}$  содержания олова в объеме смесительной емкости.

Величину  $K_{\text{вар}}$  рассчитывают следующим образом:

$$K_{\text{вар}} = \frac{\sigma}{a_{\text{ср}}} 100\%,$$

где  $a_{\text{ср}}$  — средняя арифметическая величина содержания компонента;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение  $a_{\text{ср}}$ .

В свою очередь,  $a_{\text{ср}}$  определяют из формулы



$$a_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} a_i}{n},$$

где  $a_i$  — содержание компонента в пробе;  $n$  — число проб.

Среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  рассчитывают по обычной формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (a_{\text{ср}} - a_i)^2}{n - 1}}.$$

Однородность смеси считают достаточной, если  $K_{\text{вар}} \leq 2,5\%$ . Описанный способ контроля степени перемешивания требует много времени и может проводиться только в лабораторных условиях.

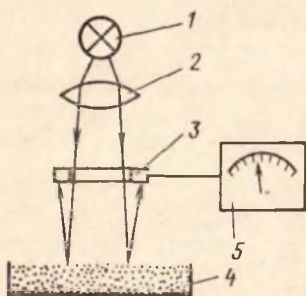


Рис. 24. Схема фотоэлектрического прибора для контроля степени смешивания порошков.

Для экспресс-анализа двухкомпонентной безалмазной смеси порошков во ВНИИАЛМАЗе был разработан экспериментальный фотоэлектрический прибор (рис. 24), работа которого основана на измерении интегрального коэффициента диффузного отражения света от поверхности порошка. Световой поток от источника модулированного светового потока 1 проходит через объектив 2 и падает на пробу контролируемого порошка 4. Вследствие диффузного отражения часть упавшего на порошок светового потока попадает на светочувствительную поверхность кольцевого фототранзистора 3. Сигнал от фототранзистора поступает на электронную схему и стрелочный прибор 5. Шкала прибора проградуирована в %  $K_{\text{вар}}$ .

Промышленные испытания прибора показали, что время контроля одной пробы порошка не превышает 20 с. Погрешность измерения  $K_{\text{вар}}$  не превышает 3%.

Существенным недостатком этого прибора следует считать то, что в нем для измерения фототока применен так называемый метод прямого отсчета. В этом случае на точность показаний прибора накладываются погрешности, возникающие из-за старения фотоэлемента и источника света, их постепенного загрязнения и т. д. По этой причине прибор не нашел промышленного применения.

Более правильным было бы использование схемы компенсации, при которой большинство ошибок прибора автоматически учитывается и не оказывает влияния на точность измерения.

Для экспресс-анализа степени смешивания компонентов металлической связки могут использоваться стандартные приборы, предназначенные для спектрального количественного анализа состава материалов, например, фотоэлектрический стилметр мод. ФЭС-1.

При контроле степени перемешивания смеси металлических порошков и алмазного порошка возникают такие же трудности, как и при контроле смешивания безалмазной смеси.

Непосредственно в порошкообразном состоянии эти смеси контролируют также методом химического количественного анализа. Принимая во внимание большую отражательную способность алмазных зерен, для экспресс-анализа, видимо, можно применить оптический метод (например, с помощью стандартных блескомеров).

Вопрос об определении прочности сцепления медного гальванического слоя с корпусом инструмента подробно рассмотрен ниже, в главе, посвященной контролю инструментов на гальванической связке.

Одной из наиболее сложных операций при изготовлении абразивно-алмазного инструмента на металлической связке является засыпка алмазоносной шихты в пресс-форму и ее разравнивание. От качества выполнения этой операции в значительной мере зависит качество, и особенно прочность будущего изделия.

Недостаточное разравнивание шихты приводит при прессовании алмазоносного слоя к неравномерной его плотности. Содержание алмаза в разных частях слоя получается различным, как и прочность закрепления зерен порошка связкой. Кроме того, при прекращении действия внешней нагрузки после окончания прессования алмазоносный слой может растрескаться. Трещины в этом случае возникают на участках, где в слое засыпанной шихты имеется переход от меньшей высоты к большей. Кроме того, при неправильном разравнивании шихты в спрессованном алмазоносном слое возникают напряжения, которые могут привести к его разрушению при эксплуатации инструмента.

В настоящее время при производстве алмазного инструмента засыпку шихты в пресс-форму производят вручную. Для этого шихту заранее развешивают на навески, массу которых определяют в соответствии с размерами алмазоносного слоя инструмента. Навески развешивают также вручную. После засыпки шихты в пресс-форму рабочий вводит в полость пресс-формы специальную лопатку-ровнялку и разравнивает шихту. Качество разравнивания шихты, таким образом, полностью определяется квалификацией и внимательностью рабочего и никак не контролируется.

Во ВНИИАЛМАЗе была сделана попытка механизировать процесс засыпки и разравнивания алмазоносной шихты в пресс-форме при изготовлении алмазных кругов.

С этой целью была изготовлена экспериментальная установка мод. НИА-С17 (рис. 25), которая работала следующим образом: одну или несколько навесок алмазоносной шихты 5 засыпали в бункер 6, нижний патрубок которого был введен в полость пресс-формы 4. Пресс-форму с корпусом инструмента 3 устанавливали на столике 2. Нижний патрубок бункера доводили до касания с

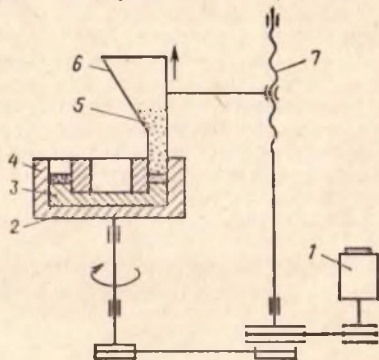


Рис. 25. Схема установки для механической засыпки и разравнивания алмазоносной шихты

корпусом инструмента. При вращении двигателя 1 столик 2 также вращался, а бункер 6 посредством ходового винта 7 постепенно поднимался вверх на расстояние, равное заданной толщине насыпного слоя шихты. По окончании насыпки слоя установка автоматически останавливалась.

В результате испытаний установки выяснилось, что засыпка шихты происходит неудовлетворительно: она сопровождается образованием свода в бункере и разделением компонентов шихты (так называемым «расслаиванием»). Расслаивание шихты происходит из-за различной плотности ее компонентов. При этом алмаз, как наиболее легкий, как бы «всплывает» и концентрируется главным образом на поверхности алмазоносного слоя.

Выравнивание насыпанной шихты происходило также плохо. На поверхности насыпанного слоя шихты имелись складки, вытянутые по направлению вращения пресс-формы углубления. В месте окончательного отрыва патрубка от поверхности насыпанной шихты образуется небольшой валик порошка, который необходимо разравнивать вручную. Из-за указанных трудностей задача механизированной засыпки и разравнивания шихты до настоящего времени не решена.

Более удачно осуществлена загрузка шихты при производстве инструментов на органической связке.

Операционный контроль заданных режимов технологического процесса при холодном прессовании, спекании и горячей допрессовке инструментов на металлических связках ведется с помощью стандартных приборов, которыми оснащены прессы и печи (см. табл. 5). Работа этих средств измерения общеизвестна и не требует подробного рассмотрения.

Твердость алмазоносного слоя готового инструмента измеряют на твердомере ТК-2. Величину твердости определяют по глубине вдавливания стального закаленного шарика диаметром 5 мм под нагрузкой 60,5 кгс.

Твердость алмазоносного слоя является косвенной характеристикой его структуры, образовавшейся в результате спекания и горячей подпрессовки. Структура слоя определяет его эксплуатационные качества, например прочность удерживания зерен порошка связкой, коэффициент трения связки о поверхность обрабатываемого материала и т. д.

Для более полной характеристики свойств алмазоносного слоя во ВНИИАЛМАЗе разработана методика определения его пластичности и упругости. При этом в слой вдавливаются шарик диаметром 5 мм под нагрузкой 60,5 кгс или диаметром  $1/16$  дюйма под большей нагрузкой (при контроле твердых связок). Глубину  $H$  полного внедрения шарика измеряют во время действия нагрузки. Затем нагрузку снимают и измеряют величину отжатия  $h_{упр}$  шарика под действием сил упругости алмазоносного слоя.

Проведенные исследования показали, что при обработке различных материалов алмазные инструменты, выбранные с учетом упругопластических свойств рабочего слоя, имеют наиболее высокие эксплуатационные показатели.

Кроме измерения твердости алмазоносного слоя путем вдавливания в него стального шарика разработан способ определения твердости методом царапанья. Для царапанья применяют алмазную иглу. Усилие нажима иглы не превышает 1—1,5 гс. При контроле твердости слоя регистрируется тангенциальное усилие,



возникающее при перемещении иглы по поверхности инструмента. Величина усилия является критерием, косвенно определяющим твердость связки.

Аналогично работает устройство для испытания шлифовальных кругов, разработанное в США. Но и этом устройстве вместо иглы используется специальный алмазный или твердосплавный резец.

Кроме описанных механических методов определения твердости алмазоносного слоя для этой операции могут быть применены способы, в которых основным критерием служит модуль упругости слоя. С этой целью применяют акустические ультразвуковые колебания и соответствующие приборы. Например, во ВНИИАШе разработаны приборы типа «ЗВУК-1м», предназначенные для определения твердости абразивных инструментов по спектрам резонансных частот, возникающих в контролируемом изделии при облучении ультразвуком [63].

Приборы работают в диапазоне частот 5—550 кгц. Электрические колебания с помощью пьезоэлектрического излучателя преобразуются в механические, передаются контролируемому объекту и воспринимаются пьезоэлектрическим приемником. Момент резонанса при плавном изменении частоты колебаний излучателя фиксируется по раскрытию сектора светящегося глазка амплитудного индикатора и по показаниям стрелочного прибора.

В приборе «ЗВУК-2», также разработанном во ВНИИАШе, для измерения твердости абразивных инструментов используется ударно-динамический метод. Удар по поверхности изделия производит боек, толчок которому сообщает электромагнит. Колебания, возбуждаемые при этом в теле инструмента, воспринимает пьезоэлектрический датчик, сигнал от которого поступает в электрическую схему прибора. Счетное устройство, смонтированное в прибор, определяет модуль нормальной упругости изделия и переводит полученный результат в степень его твердости.

Время контроля одного изделия — около 8 с, что делает возможным 100%-ный контроль всех выпускаемых изделий.

Приборы типа «ЗВУК-2» можно рекомендовать для контроля твердости алмазоносных слоев бескорпусных алмазных инструментов, а также для алмазоносных колец, еще не наклеенных на корпус круга.

Для окончательно изготовленных кругов наиболее целесообразно применять твердомер ТК-2 с измерением величины упругого отжатия шарика.

Прочность алмазоносного слоя измеряют на специальных образцах, изготовленных из алмазоносной шихты, из которой готовят партию инструмента. Часто этому виду контроля подвергают рабочий слой инструментов, в конструкции которых предусмотрена наклейка или напайка его на корпус инструмента. Прочности образцов или самого слоя характеризуется величиной разрушающей нагрузки при изгибе. В условиях производства инструмента нагрузка создается, как правило, массой свинцовой дроби, которую засыпают в чашку, установленную на свободный конец горизонтально расположенного образца. Второй конец образца зажимают (например, в тисках).

Описанный метод контроля прочности алмазоносного слоя весьма необъективен, так как при этом невозможно установить нагрузку, соответствующую началу разрушения образца. Более правильно в этом случае применять устройства типа разрывных ма-

шин с записью процесса деформации образца под воздействием плавно нарастающей нагрузки.

Прочность сцепления алмазонасного слоя с корпусом инструмента является одной из основных характеристик, особенно с точки зрения техники безопасности. Срыв алмазонасного слоя с корпуса инструмента при рабочих скоростях, достигающих иногда 60 м/с, может привести к несчастному случаю.

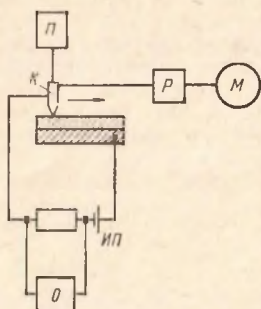


Рис. 26. Схема установки для изучения рельефа режущей поверхности алмазного инструмента:

О — осциллограф; П — самописец с датчиком; К — каретка датчика; М — электродвигатель; Р — редуктор; ИП — источник питания

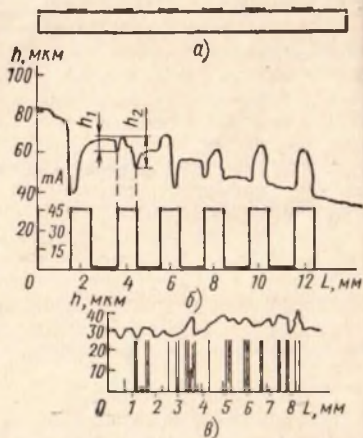


Рис. 27. Результаты тарировки и исследования реальной режущей поверхности алмазного круга:

а — эскиз стальной пластины с закрепленными в ней зернами алмаза; б — тарировочная профилограмма рельефа и осциллограмма тока, совмещенные в одном графике; в — осциллограмма тока и профилограмма рельефа режущей поверхности алмазного круга

В настоящее время, в соответствии с ГОСТ 16181—70, механическую прочность алмазных кругов диаметром 100 мм и более проверяют при установке их на шпиндель высокоскоростного станка. Скорость вращения при испытании кругов превышает рабочую скорость на 50%. Продолжительность вращения круга составляет не менее 5 мин.

Описанный метод контроля прочности кругов при воздействии центробежных сил является в достаточной мере надежным и достоверным, но ведет к разрушению инструмента. В связи с этим его применяют только для выборочного контроля. Испытаниям подвергают круги в количестве 5% от контролируемой партии.

Инструменты, не вращающиеся при работе (бруски, штрипсы и т. д.), при испытании на прочность сцепления подвергают воздействию ударных нагрузок, величину которых определяют видом и размерами инструмента.

Степень обнажения зерен алмазного порошка контролируют визуально с помощью лупы или микроскопов.

Для объективного контроля профиля рабочей поверхности алмазных абразивных инструментов на Челябинском заводе мерительных инструментов М. И. Кандалов и Г. В. Радченко сконструировали установку, позволяющую получить более полную информацию о состоянии рельефа режущей поверхности алмазного инструмента.

На основании полученных на установке данных определяют количество и расположение алмазных зерен на трассе перемещения измерительного наконечника и оценивают их состояние и степень обнажения.

Установка состоит из следующих узлов и приборов (рис. 26): шлейфового осциллографа Н-1150 для записи осциллограммы тока; самописца БВ-662П с индуктивным датчиком, имеющим специальный твердосплавный наконечник со сферической измерительной частью радиусом 0,01 мм; каретки *K* датчика, приводимой в движение электродвигателем *M* через редуктор *P* с передаточным отношением 11,65 (редуктор плавно перемещает датчик со скоростью 0,167 мм/с и увеличивает развертку записи диаграмм); маломощного источника питания *ИП* (батареи типа 3336Л).

Принцип действия установки основан на синхронной записи датчиком осциллограммы тока, проходящего по цепи: алмазный инструмент—датчик—гальванометр—вставка осциллографа—источник питания, и профилограммы рельефа режущей поверхности инструмента, которая с точностью до 1 мкм фиксирует исследуемый профиль.

На осциллограмме фиксируются провалы тока, возникающие при разрыве электрической цепи в момент прохождения измерительного наконечника по нетокопроводящим алмажным зернам (рис. 27).

Для обработки информации, содержащейся в профилограмме рельефа и осциллограмме тока, обе записи приводят к одному масштабу и совмещают в едином графике, который дает возможность определить расстояние между зернами, их состояние, места расположения и геометрические размеры частей, выступающих из связки инструмента. Масштаб осциллограммы тока приводят к масштабу профилограммы рельефа через масштабный коэффициент *K*, который определяют по формуле

$$K = \frac{m}{v_0/v_c},$$

где *m* — абсцисса токового провала по осциллограмме, мм; *v*<sub>0</sub> — скорость развертки процесса записи осциллограммы, равная 2,7 мм/с (по паспорту осциллографа); *v*<sub>с</sub> — скорость развертки процесса записи профилограммы, равная 1,97 мм/с (по паспорту самописца БВ-662).

Осциллограмму тока записывают в обратной полярности (всплеск на осциллограмме соответствует токовому провалу в электрической цепи, который совпадает с местом расположения алмазных зерен на профилограмме).

Время существования токового провала равно времени, на протяжении которого измерительный наконечник датчика находится на алмажном зерне. Скорость развертки записи процесса позволяет определить длину *a* зерна вдоль трассы перемещения наконечника по формуле



$$a = \frac{m}{m_0},$$

где  $m_0 = i \frac{v_0}{v_c}$  ( $i$  — передаточное отношение редуктора).

По профилограмме определяют среднюю высоту  $h_{\text{ср}}$  обнажения алмазного зерна по формуле

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{2},$$

где  $h_1$  — высота в начале всплеска тока;  $h_2$  — высота в конце всплеска тока.

Для тарировки установки в стальную пластину зачеканивают шесть алмазных зерен определенных размеров с шагом 2 мм (рис. 27, а), а затем производят запись тарировочных диаграмм (рис. 27, б). На приведенной профилограмме зафиксированы пять выступов и одна впадина; токовые провалы на осциллограмме совпадают (за исключением провала 2) с выступами рельефа.

Совмещение впадины на рельефе с провалом тока объясняется разрушением алмазного зерна при его зачеканке.

В качестве примера на рис. 27, в приведена запись диаграмм рельефа реальной режущей поверхности инструмента с порошком алмаза зернистостью 14/10 мкм. Из них следует, что не каждый выступ профилограммы соответствует алмазному зерну (на записанном профиле длиной  $L$ , образованном 13 выступами рельефа, расположены 22 алмазных зерна, среднее расстояние между которыми 0,45 мм). Осциллограмма тока имеет три характерных вида всплесков: слабые (в виде штриха), устойчивые с четко выраженной длительностью и дробные. Разный характер всплесков объясняется состоянием алмазных зерен: целое обнаженное алмазное зерно формирует четкий прямоугольный всплеск; алмазное зерно сечением 6 мкм по измерительной трассе формирует слабый всплеск (штрих) и алмазное зерно с дефектами на вершине (сколы, трещины) и с покрытыми связкой впадинами формирует дробный всплеск.

Описанная установка дает возможность объективно определить расположение и состояние алмазных зерен на режущей поверхности инструмента, а по усредненной величине высоты обнажения зерна оценить прочность его закрепления в связке.

## 2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ КРУГОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

В зависимости от назначения алмазные шлифовальные круги изготовляют на металлической связке с концентрацией алмазов 50, 100, 150 и 200 и различной формы. Основными формами алмазных шлифовальных кругов являются плоские прямого профиля формы АПП, плоские с выточкой формы АПВ, плоские с двусторонней выточкой формы АПВД, чашечные конические формы АЧК и другие (рис. 28). Круги выпускают диаметром от 6 до 400 мм.

Алмазные круги на металлических связках предназначены для обработки твердых сплавов, а также спаллов, керамики, стекла и других неметаллических материалов. Кроме того, их применяют

для электролитического и глубинного шлифования металлов. При работе кругами на металлических связках шероховатость поверхности обрабатываемых изделий может достигать 7—10-го класса.

С соответствием с ГОСТ 16167—70 — ГОСТ 16181—70 «Круги шлифовальные алмазные» одним из основных показателей качества алмазного круга является удельный расход алмазов, при котором определяется соотношение между израсходованным алмазом и сошлифованным при испытаниях материалом.

Основными недостатками большинства существующих методов и средств измерения удельного расхода алмаза являются относительно невысокая точность и большая трудоемкость, требующая значительных затрат времени и материалов на исследование.

Ниже приводится описание существующих методов и средств измерения, применяемых при определении удельного расхода алмаза.

**Метод взвешивания.** При этом методе круг перед началом и после опыта следует протереть марлей (салфеткой), смоченной спиртом. Корпус круга следует протереть ветошью. При испытании алмазных кругов с охлаждением круг протирают и перед взвешиванием сушат в термостате при 80—100°C с выдержкой 20 мин. Взвешивание круга производят дважды: до и после испытания. Взвешивание кругов массой до 200 г производят на аналитических весах типа ВЛА-200М с погрешностью  $\pm 0,1$  мг, кругов массой до 1 кг — на технических весах 1-го класса ВЛТ и кругов свыше 1 кг — на технических весах ВЛТ — 5 кг — 1 с погрешностью соответственно 10 и 50 мг. Перед испытанием круг должен быть приработан.

Удельный расход алмазов определяют по формуле

$$q = \frac{G_k}{G_m} \alpha, \text{ мг/г,}$$

где  $G_k$  — износ алмазоносного слоя за опыт, мг;  $G_m$  — масса сошлифованного материала (обычно твердого сплава) за опыт, г;  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий плотность связки и концентрацию алмазов в круге, значение которого указано в технических условиях на связку.

Во ВНИИАЛМАЗе разработан ускоренный метод оценки износостойкости алмазных шлифовальных кругов, сущность которого заключается в замене твердого сплава, применяемого при испытаниях, минералокерамикой ЦМ-332 (микролит) [55]. Износ круга в этом случае определяют весовым методом. Сравнительные данные физико-механических свойств этих материалов приведены ниже.

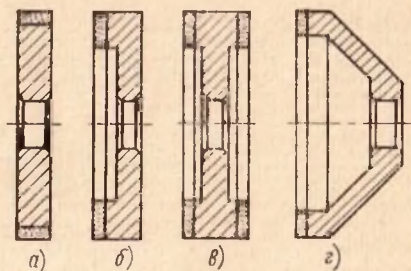


Рис. 28. Алмазные шлифовальные круги различных форм на металлических связках:

*a* — плоские прямого профиля формы АПТ;  
*b* — плоские с выточкой формы АПВ;  
*v* — плоские с двусторонней выточкой формы АПВД; *z* — чашечные конические формы АЧК

Физико-механические свойства шлифуемых материалов

	Твердый сплав Т15К6	Металлокерамика ЦМ-332
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	11,0—11,7	3,96—3,98
Микротвердость, кгс/мм <sup>2</sup> . . . . .	1100	2150
Предел прочности при сжатии, кгс/мм <sup>2</sup> . . . . .	350—400	500
Предел прочности при изгибе, кгс/мм <sup>2</sup> . . . . .	110	55
Красностойкость, °С . . . . .	900	1200

Проведенные исследования показали, что между величинами износа кругов при шлифовании твердого сплава и металлокерамики существует достаточно тесная связь: коэффициент корреляции составил 0,8.

В процессе обработки керамики наблюдается интенсивный износ алмазных кругов, снижающий погрешности измерения удельного расхода алмазов. Он объясняется, видимо, более высокой микротвердостью минералокерамики, причем между значениями удельного расхода алмаза  $q$  (мг/г) при шлифовании твердого сплава и минералокерамики существует зависимость, выражаемая формулой

$$q_{\text{тв.спл}} = 0,18 + 0,022q_{\text{кер.}}$$

Технико-экономические показатели существующего и ускоренного методов определения износостойкости кругов приведены в табл. 6

Таблица 6

Метод определения износостойкости	Время испытания круга, мин	Предельная относительная погрешность измерения $q$ , %	Стоимость испытаний круга, руб.
Существующий . . . . .	160	±33,3	6,75
Ускоренный . . . . .	20	±12,0	0,68

Как следует из табл. 6, ускоренный метод обладает значительными преимуществами по сравнению с ныне применяемым.

При шлифовании круги на металлической связке имеют весьма малый износ, что затрудняет его измерение. Кроме того, при контроле износа кругов формы АПП применение весового метода зачастую оказывается нецелесообразным, так как инструмент на шпинделе станка крепится на массивной планшайбе, вместе с которой производится его взвешивание. Вследствие этого бывает трудно с необходимой точностью определить незначительные изменения массы круга, происходящие при его износе. Снимать круг с планшайбы также нецелесообразно, так как в этом случае при повторной его установке на станок теряется точность базирования и появляются дополнительные факторы, влияющие на точность измерения.

К недостаткам данного метода также следует отнести невысокую точность определения расхода алмаза из-за того, что при его использовании не учитывается засаливание круга, т. е. покрытие его рабочей поверхности тонким слоем обрабатываемого материала.



В связи с этим в большинстве случаев для определения износа алмазных кругов прибегают к размерным контактным или бесконтактным методам.

**Метод измерения линейного износа алмазоносного слоя.** При этом методе круг перед началом и после окончания испытания следует протереть марлей (салфеткой), смоченной спиртом, корпус круга протереть ветошью. При этом температура круга должна соответствовать температуре помещения, в котором производится измерение. Круг выдерживают в этом помещении не менее 1 ч. Колебания температуры помещения при измерении круга до и после опыта не должны превышать  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Измерение величины износа алмазоносного слоя кругов формы ЛЧК, АПВ, АПВД, АТ и А1Т следует производить на оптическом дилномере типа ИЗВ-1 (ИЗВ-2).

Износ алмазоносного слоя кругов формы АПП измеряют на измерительном стенде ИИА-С19. Толщину слоя измеряют до и после опыта многооборотным индикатором с ценой деления 0,001 мм.

Количество сошлифованного твердого сплава определяют взвешиванием образцов до и после опыта на технических весах ВЛТ-1 кг — 1 или ВЛТ — 5 кг — 1.

Удельный расход алмазов определяют по формуле:

а) для кругов, работающих торцом,

$$q = \frac{h_a}{h} \frac{200\kappa}{G_m}, \text{ мг/г,}$$

где  $h_a$  — износ круга по толщине алмазоносного слоя за время испытания, мкм;  $h$  — толщина алмазоносного слоя до испытания, мкм;  $\kappa$  — масса алмаза в круге, карат;  $G_m$  — масса материала, сошлифованного за время испытания, г;

б) для кругов, работающих периферией (АПП и др.),

$$q = \frac{2,76 \cdot 10^{-2} D H h_a K_1}{G_m}, \text{ мг/г,}$$

где  $D$  — наружный диаметр круга, мм;  $H$  — высота круга, мм;  $h_a$  — радиальный износ алмазоносного слоя круга за испытание, мм;  $K_1$  — концентрация алмаза.

Размерные контактные методы измерения также не свободны от ряда недостатков. Такими недостатками, влияющими на точность измерения, являются: засаливание рабочей режущей части круга, возможность попадания измерительных пожек средств измерения между выступами алмазных зерен.

Однако практика показывает, что размерные методы измерения удельного расхода алмазов по сравнению с весовыми являются более производительными и точными.

При использовании размерных методов измерения износа алмазных кругов желательно избежать снятия круга со шпинделя станка.

Для достижения этой цели в Куйбышевском политехническом институте разработано устройство для измерения износа алмазных кругов без снятия со станка размерным контактным методом [30]. Оно снабжено планшайбой (рис. 29) с базовым диском, который закрепляют на выточке планшайбы. Наружный диаметр базового диска обрабатывают в сборе с планшайбой, благодаря чему обес-

печивается радиальное биение диска в пределах 0,01 мм. На периферии базового диска выполнена радиусная поверхность с шероховатостью 8-го класса.

Износ рабочей поверхности алмазного круга измеряют путем определения изменения расстояния между вершиной профиля режущей поверхности базового диска и изношенной поверхностью круга до и после шлифования. Измерение производят индикатором часового типа. Устройство для измерения износа алмазного круга показано на рис. 30. На задней бабке шлифовального станка закреплены микронные индикаторы 2 и 3. Измерительный наконечник индикатора 2 упирается в измеряемую поверхность алмазного круга 1, а измерительный наконечник индикатора 3 упирается в радиусную поверхность базового диска 4.

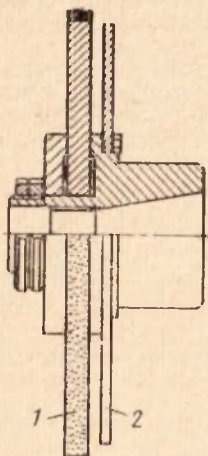


Рис. 29. Планшайба с алмазным кругом и базовым диском:

1 — контролируемый алмазный круг; 2 — базовый диск

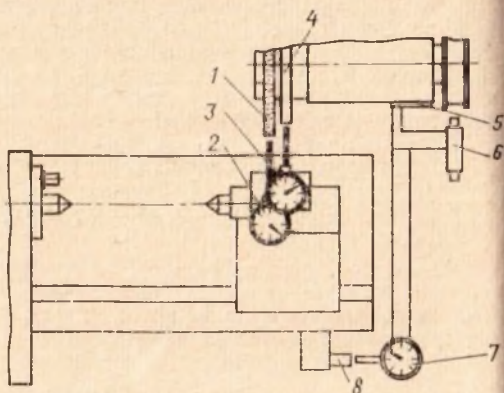


Рис. 30. Устройство для измерения износа алмазного круга

Форма измерительных наконечников обоих индикаторов плоская. Индикаторы закреплены таким образом, что оси их измерительных наконечников проходят через ось планшайбы.

Для установки измерительных наконечников индикаторов в одну и ту же точку на образующей контролируемого круга предусмотрено приспособление, смонтированное около заднего шпинделя шлифовального станка. На приводном шкиве нанесены шесть пронумерованных рисок, а на корпусе шпиндельной бабки закреплен нониус 5. Установка круга по риске проводится по нониусу посредством лупы Бринелля 6. Каждый раз нужная риска поворотом шпинделя подводится до совмещения с нулевой риской нониуса. Для фиксации алмазного круга в продольном положении установлен индикатор 7 с ценой деления 0,01 мм, измерительная ножка которого упирается в упор 8. Использование индикатора 7 позволяет проводить измерение в нескольких сечениях вдоль образующей алмазно-

го круга. Процесс измерения производят следующим образом. Продольным перемещением стола станка индикаторы 2 и 3 выставляют на позицию измерения. Измерительную ножку индикатора 7 подводят с необходимым натягом к упору 8 и индикатор устанавливают на нуль. Поворотом шпинделя станка к нулевой отметке нониуса 5 устанавливают риску № 1. Перемещением шпиндельной бабки станка в поперечном направлении алмазный круг и базовый диск подводят до касания к измерительным ножкам индикаторов 2 и 3. Обоим индикаторам дают необходимый натяг. Индикатор 3 устанавливают на нуль и при этом фиксируют показания индикатора 2. Поворачивая шпиндель до совмещения очередной риски с нулевой отметкой 5 и подводя базовый диск каждый раз до тех пор, пока индикатор 3 не установится на нуль, снимают показания индикатора 2 для всех шести пронумерованных точек. После этого индикаторы 2 и 3 отводят от алмазного круга и обрабатывают изделие.

После окончания шлифования индикаторы 2 и 3 возвращают вместе со столом станка на позицию измерения, что фиксирует индикатор 7. Затем производят измерение для всех пронумерованных точек вышеописанным способом. Разница в показаниях индикатора 2 до и после работы показывает радиальный износ алмазоносного слоя круга.

Испытания устройства показали, что оно позволяет измерять износ алмазных кругов с точностью  $\pm 0,001$  мм. Используя данное устройство для измерения алмазных кругов, можно проводить сравнительные испытания алмазных кругов на различных связках при обработке разных материалов.

Основным и существенным недостатком данного устройства является то, что при измерении величины линейного износа не учитываются изменения линейных размеров круга вследствие его нагрева при шлифовании. Для предотвращения появления погрешности измерения, вызванной расширением круга при нагреве, требуется его длительное охлаждение до температуры, бывшей в начале опыта. В ряде случаев тепловое расширение значительно превышает величину износа алмазоносного слоя круга, особенно с металлическими связками. Также значительным недостатком устройства можно считать необходимость остановки шлифовального станка на время проведения измерений.

Для устранения ошибки измерения, возникающей вследствие изменения линейных размеров алмазных кругов за счет его нагрева при шлифовании в Институте сверхтвердых материалов АН УССР разработано автоматическое устройство для измерения износа алмазно-абразивного инструмента [5].

В разработанном устройстве (рис. 31) износ круга определяют при помощи измерительного преобразователя *ИП*, состоящего из дифференциальных индуктивных преобразователей *ДИП1* и *ДИП2* с величиной хода плунжера 1 мм. Обмотка преобразователя состоит из двух катушек, включенных по дифференциальной схеме. Обмотки преобразователей также включены дифференциально.

В момент измерения износа алмазоносного слоя круга плунжер преобразователя *ДИП1* своим измерительным щупом упирается в алмазоносный слой круга *АК*, а щуп *ДИП2* — в базовое стальное кольцо *Д* круга (контакты кнопки *К* разомкнуты). Кольцо *Д* благодаря своей упругости плотно соприкасается с кругом; его температура, а следовательно, и величина линейного расширения, практически такие же, как и у круга.



С изменением температуры круга и его геометрических размеров плунжеры преобразователей будут перемещаться одновременно в одном направлении и на одинаковую величину. Поскольку обмотки преобразователей включены дифференциально, их напряжение

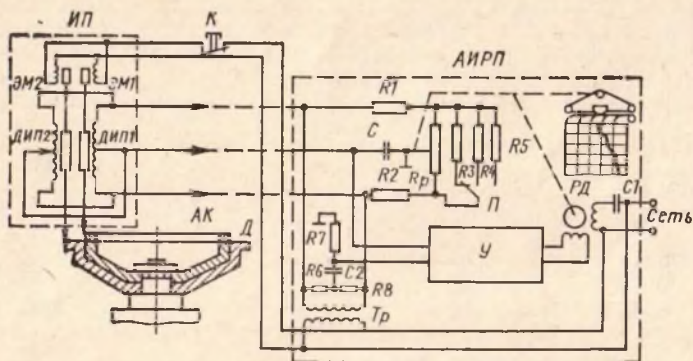


Рис. 31. Схема автоматического устройства для измерения износа алмазно-абразивного инструмента

взаимно компенсируется. По мере износа круга перемещается лишь плунжер преобразователя ДИП1, изменяя индуктивность катушек. Вследствие этого на выходе обмоток появляется сигнал разбаланса, пропорциональный перемещению плунжера, следовательно, и износу алмазоносного слоя.

Сигнал разбаланса подается на вход электронного усилителя автоматического измерительного регистрирующего прибора АИРП. На выходе усилителя включена обмотка реверсивного двигателя РД, вторая его обмотка включена в электрическую сеть через фазосдвигающий конденсатор С1. В результате сдвига фаз напряжений в обмотках двигателя ротор последнего начинает вращаться и перемещает движок реохорда Rp, включенного в мостовую измерительную схему прибора. Движок реохорда, включенный через емкость С, перемещается до тех пор, пока не будет скомпенсировано выходное напряжение преобразователей. С выходной осью двигателя связан регистрирующий орган, который перемещается на величину, пропорциональную величине перемещения плунжера преобразователя ДИП1.

Запись величины износа алмазоносного слоя круга осуществляется на диаграммной бумаге шириной 200 мм.

Измерительная схема питается переменным током напряжением 24 В от вторичной обмотки трансформатора Тр, средняя точка которого, образованная резисторами R6 и R8, заземлена через конденсатор С2 и резистор R7. Резисторы R1 и R2 служат для регулировки шкалы прибора. Для изменения пределов измерения в приборе предусмотрен переключатель П с резисторами R3, R4 и R5. При пуске станка плунжеры отводятся с помощью электромагнитов ЭМ1 и ЭМ2.

Измерения по перемещению плунжера можно производить в одном из трех диапазонов: от 0 до  $\pm 50$ ;  $\pm 100$  или  $\pm 200$  мкм. При этом погрешность измерения не превышает  $\pm 1\%$ . Выбор предела измерения определяется величиной износа алмазоносного слоя круга и требуемой точностью.

Устройство позволяет измерять не только величину износа алмазоносного слоя круга в контролируемой точке, но и снимать профиль изношенной поверхности, что необходимо для более точного измерения линейного износа круга. Замеряя площади между соответствующими профилограммами, например, при помощи планиметра, можно определить величину износа алмазоносного слоя в контролируемой плоскости. Для повышения точности площадь  $F$  замеряют в нескольких сечениях по окружности круга. Тогда средняя величина  $F_{\text{ср}}$  износа алмазоносного слоя круга в радиальном сечении определится из формулы

$$F_{\text{ср}} = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{n},$$

и объем  $V$  изношенного за опыт слоя

$$V = \pi D_{\text{ср}} F_{\text{ср}},$$

где  $D_{\text{ср}}$  — средняя величина диаметра алмазоносного слоя круга.

Устройством можно измерять износ алмазоносного слоя кругов разных форм и на любой связке. Его применение позволяет значительно сократить время измерения. Кроме того, отпадает необходимость поддержания постоянной температуры в помещении, где производится измерение.

Описанное автоматическое устройство может быть использовано также при замере износа других режущих инструментов без их съема со станка, причем погрешность измерения не превышает погрешности измерения на длиномере.

Недостатком прибора, как и предыдущего устройства, является необходимость остановки станка на время проведения измерений. Но несмотря на это, такое автоматическое устройство в настоящее время является наиболее совершенным среди применяемых на практике, в которых используется линейный контактный метод измерения износа алмазно-абразивных кругов.

Контактные методы измерения линейного износа круга, при которых величина износа фиксируется только в нескольких сечениях поверхности, могут вызывать погрешность измерения, достигающую 100%. Это объясняется наличием на рабочей поверхности круга волн, возникающих при работе инструмента из-за автоколебаний системы СПИД. Например, при практически применяемых режимах резания уже через 3 мин шлифования на круге формы АПП диаметром 200 мм возникает от 12 до 15 волн [27] с амплитудой 1,5—80 мкм.

При работе в стандартном режиме число волн, образующихся на круге, практически постоянно и может быть определено заранее. Амплитуда волн зависит от прочностных свойств круга, жесткости системы СПИД и времени работы.

В процессе шлифования наряду с изменением среднего размера радиуса круга на некоторую величину, по которой рассчитывают удельный расход алмаза, происходит относительный сдвиг волн по поверхности круга — сдвиг фазы (рис. 32).

В зависимости от выбора сечения поверхности круга при изменении размера радиуса круга погрешность определения его износа

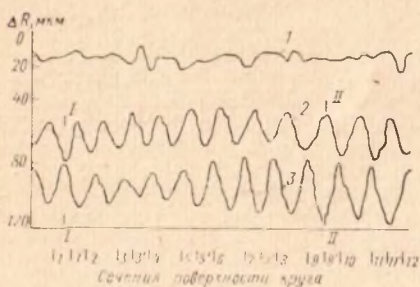


Рис. 32. Изменение радиуса  $\Delta R$  поверхности круга в разных точках окружности после работы в течение разного времени:

1 — после правки до шлифования; 2 — после .5 мин шлифования; 3 — после 10 мин шлифования

мального распределения.

Исходя из предположений о синусоидальной форме неровностей и равенстве амплитуд волн до и после испытаний круга, аналитическая зависимость погрешности  $\delta$  от параметров поверхности круга при измерении износа будет следующей:

$$\delta = -\frac{1}{N} 2a \sin \frac{\pi n \alpha}{L} \sum_{i=1}^{i=k} \sin \frac{\pi i}{L} \times$$

$$\times \left[ \frac{\alpha L}{\pi} + L \frac{1}{k} (i + 1) + \alpha \right],$$

где  $a$  — амплитуда волн;  $n$  — число волн на круге;  $\alpha$  — фазовый сдвиг волн;  $L$  — длина окружности круга;  $N$  — число точек измерений.

Погрешность будет наибольшей, когда число точек измерения равно или составляет целую часть от числа волн на круге (т. е.

$N = \frac{n}{p}$ , где  $p=1,2,3...$ ) и измеряемые сечения расположены равно-

мерно по окружности, что обычно и бывает на практике. Если число точек измерения в четное число раз больше числа волн на круге, то ошибка измерений должна быть равна нулю (что бывает и при некоторых других соотношениях чисел волн и точек измерения).

Указанные соотношения имеют место при волнистости круга, описываемой синусоидальной линией. В действительности волны изменяются по высоте, длине, форме и положению относительно корпуса круга, что влияет на точность определения размерного износа инструмента. Например, если измерения производятся в сече-

может оказаться наибольшей, если сдвиг фазы равен половине длины волны. Например, при изменении среднего размера радиуса круга на 34,5 мкм износ в сечении I—I будет равен 1 мкм, а в сечении II—II 65 мкм (погрешности соответственно 97 и 88%). В первом случае круг будет необоснованно признан чрезвычайно стойким, во втором случае — забракован. Увеличение числа измерений в данном случае может и не привести к быстрому и существенному увеличению их точности, так как распределение ординат профиля круга не подчиняется закону нор-



ниях 1—12 круга (см. рис. 32), износ будет равен 17 мкм, и ошибка составит 50%.

Наиболее целесообразной представляется следующая схема измерений: первое — в произвольном сечении, например, 1 (см. рис. 32), второе — в сечении 1', смещенном относительно первого на

угол  $\varphi = \frac{\pi}{n}$  (в данном случае на  $\frac{\pi}{12}$  рад или на  $15^\circ$ ). Хотя результа-

ты обоих измерений могут существенно отличаться от средней величины размера круга, среднее из этих значений будет весьма близко к среднему значению размера радиуса круга. Если продолжать измерения в парных сечениях 3—3', 5—5' ..... 11—11', вычисляя каждый раз среднюю арифметическую величину износа, то ошибка измерения составит около 2%.

При более удачном выборе первоначального сечения разница величин ошибок может быть и не столь значительна, однако описываемый способ и в этом случае дает лучшие результаты: абсолютная величина  $\delta$  уменьшается от 1,4 до 3,6 раза.

Если истинное число волн на круге  $n_1$  отличается от числа волн  $n$ , принятого при расчете угла  $\varphi$ , погрешность однократного измерения  $\delta_{n-n_1}$  при синусоидальной форме волны равна

$$\delta_{n-n_1} = \frac{a}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{n_1} - \frac{2\pi}{n}\right).$$

Погрешность при определении износа круга

$$\delta' = \frac{1}{2} \sqrt{a_1^2 \sin^2\left(\frac{2\pi}{n_1} - \frac{2\pi}{n}\right) + a_2^2 \sin^2\left(\frac{2\pi}{n_2} - \frac{2\pi}{n}\right)},$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — амплитуды волн на круге соответственно после приработки и после испытаний;  $n_1$  и  $n_2$  — количество волн на круге соответственно после приработки и после испытаний.

Например, при  $a_1 = 12$  мкм,  $a_2 = 14$  мкм,  $n = 15$ ,  $n_1 = n_2 = 12$   $\delta' = 0,9$  мкм.

При отличии реального профиля круга от синусоиды погрешность определения износа может быть больше расчетной, однако и в этом случае при измерении в парных сечениях, она будет меньше, чем при равномерном расположении сечений, примерно в 1,5—2 раза.

Таким образом, измеряя величину износа круга по парным сечениям, без увеличения объема измерений, можно существенно повысить точность и надежность результатов.

Среди бесконтактных методов измерения износа алмазных кругов рассматриваются наиболее часто применяемые в практике.

**Оптический метод.** Измерение оптическим методом износа алмазных кругов осуществляется без снятия последнего со станка посредством инструментальных микроскопов.

Измерительными базами служат риски, канавки или углубления, наносимые на корпусе круга на определенном расстоянии от кромки алмазонасного слоя. Иногда измерительными базами являются вспомогательные диски или планки, которые при контроле крепятся к алмазным кругам.

Оптический метод контроля обладает большой чувствительностью. Поэтому для уменьшения погрешности измерения, особенно

при исследовательских работах, проводят в условиях постоянной температуры окружающей среды. Например, в Иоганнесбургской алмазной лаборатории износ круга измеряют при строго контролируемых условиях в помещении с постоянной температурой 20°C [66]. В этом помещении круги выдерживают в течение 24 ч и лишь по истечении этого срока приступают к измерению износа. Если проверяется износ круга прямого профиля, то пользуются передвижным микроскопом, смонтированным на приспособлении, в котором закрепляется круг.

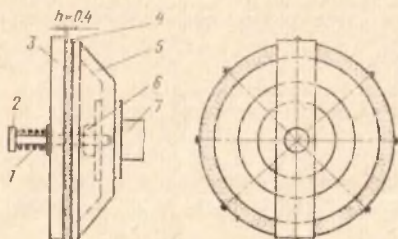


Рис. 33. Схема установки базовых пластин и съемной планки на алмазный круг:

1 — пружина; 2 — болт крепления съемной планки к алмазному кругу; 3 — съемная планка; 4 — одна из базовых пластин; 5 — алмазный круг формы АЧК; 6 — болт крепления алмазного круга на оправке; 7 — оправка, установленная в шпинделе станка

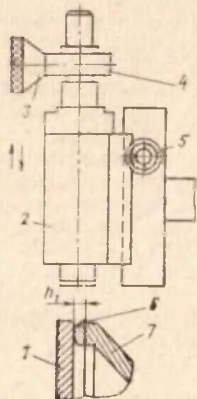


Рис. 34. Схема оптической установки для измерения износа круга:

1 — съемная планка; 2 — тубус микроскопа; 3 — барабан с круговой шкалой; 4 — окулярный винтовой микрометр; 5 — маховичок перемещения тубуса микроскопа; 6 — базовая пластина; 7 — алмазный круг

Перед установкой круга на оправку, на которой он остается в продолжение всего испытания, корпус его маркируют в четырех местах. С этой целью на корпусе круга наносят конусным керном четыре небольших углубления, расположенных на равном расстоянии друг от друга. Эти углубления находятся на расстоянии 12,7 мм от кромки круга и являются контрольными точками при измерении радиального износа на участке от края этих углублений до наружной кромки его рабочей поверхности.

По результатам измерения в четырех точках подсчитывают среднюю величину износа, которая определяется с погрешностью не более 2 мкм. Перед началом испытания каждый алмазный круг подвергают правке, балансировке и затем предварительно прирабатывают на станке, на котором будут происходить испытания. При этом погрешности формы круга сводятся до минимума, и их величина определяется только точностными характеристиками станка.

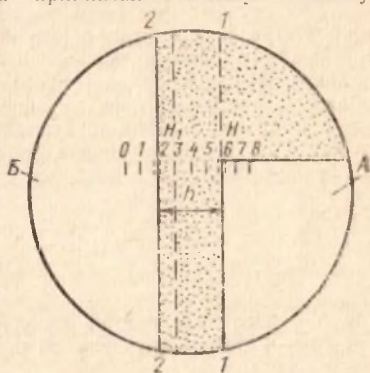
Возможности оптического метода измерения износа алмазных кругов были изучены во ВНИИАЛМАЗе при шлифовании твердосплавных пластин сечением 18×6 мм кругом формы АЧК на баке-

литовой связке без охлаждения на универсально-заточном станке мод. ЗВ642 [29].

Перед опытом на периферийную поверхность алмазного круга симметрично приклеивали (эпоксидным клеем) восемь базовых пластин из стали сечением  $2,5 \times 2$  мм и толщиной 0,1 мм. Затем к кругу при помощи болта и пружины прижимали съемную планку (рис. 33). При помощи оптического устройства измеряли фактический зазор  $h_1$  между каждой из базовых пластин и съемной планкой (рис. 34). После этого оптическое устройство отводили в сторону и съемную планку снимали. После окончания опыта

Рис. 35. Изображение, видимое в окуляр микроскопа при измерении износа алмазного круга:

А — базовая пластина; Б — съемная пластина; 1—1 — плоскость базовой пластины; 2—2 — плоскость съемной планки;  $H$ — $H_1$  — подвижной индекс в виде двух нитей



(шлифования с заданным режимом) оптическое устройство возвращалось в исходное положение, на круг опять устанавливали планку и без съема круга со станка измеряли уменьшившийся зазор  $h_2$  между каждой из базовых пластин и съемной планкой. Съемную планку применяют из-за сложности отсчета величины износа непосредственно от торцевой плоскости алмазного круга. Разность  $\Delta h = h_1 - h_2$  определяет величину линейного износа круга в данной его точке.

Дальнейшие опыты показали, что достаточная точность измерения достигается в результате приклеивания только четырех базовых пластин, расположенных по диаметру круга.

Рассматриваемый метод практически реализован следующим образом. Для измерения с малой погрешностью зазора между базовой пластинкой и съемной планкой применена оптическая установка, состоящая из малого инструментального микроскопа мод. ММИ и окулярного винтового микрометра МОВ1-15 с барабаном и круговой шкалой со 100 делениями (от 0 до 100). В фокальной плоскости окуляра расположены неподвижная шкала с делениями от 0 до 8 и подвижной индекс в виде двух нитей  $H$  и  $H_1$  (рис. 35). Индекс перемещается в поле зрения окуляра относительно неподвижной шкалы с делениями от положения  $H$  до некоторого положения  $H_1$  при вращении микрометрического винта. Полный отсчет по шкалам окулярного микрометра включает в себя отсчет по шкале его барабана и по неподвижной шкале с делениями. Отсчет по неподвижной шкале определяется положением подвижного индекса  $HH$  — фиксацией целых делений шкалы, на которые переместится индекс от его исходного деления. В этом случае линейный износ круга в торцевой плоскости определяется по формуле  $\Delta h = a(n_1 - n_2)$  мкм, где  $a$  — цена деления круговой шкалы барабана окулярного винтового микрометра (для принятого оптического устройства



1,2 мкм);  $n_1$  — число делений по шкале до опыта;  $n_2$  — число делений по шкале после опыта.

Отсчет по барабану-окулярного микрометра проводят так же, как по барабану обычного микрометра. Для контрольного определения цены деления шкалы барабана окулярного микрометра можно использовать микрометр типа ОМО с ценой деления 0,01 мм.

При определении цены деления шкалы барабана окулярного микрометра микрометр устанавливают на столик микроскопа мод. ММИ таким образом, чтобы его штрихи совпали с делениями неподвижной шкалы. Затем необходимо последовательно совместить подвижный индекс  $N$  со штрихами выбранного участка микрометра и произвести соответствующие отсчеты по барабанчику. Число целых оборотов барабанчика определится по шкале, видимой в поле зрения окулярного микроскопа. Цена одного деления барабанчика

$$a = \frac{0,01N}{\Delta n}, \text{ мм,}$$

где  $N$  — число делений на измеряемом участке объекта-микрометра;  $\Delta n$  — разность отсчетов по шкале и барабанчику окулярного микрометра.

Конструкция установки позволяет перемещать микроскоп в направлении, параллельном оси круга, что необходимо при настройке микроскопа для измерения, а также отводить в сторону микроскоп после измерения оптическую систему снимают с колонки и кронштейн укреплен микроскоп.

Во избежание загрязнения микроскопа абразивной пылью после измерения оптическую систему снимают с колонки и кронштейн отводят в сторону.

При помощи экспериментальной оптической установки были проведены опыты по определению износа алмазных кругов. С целью проведения сравнения эффективности различных методов измерения износ кругов после каждого опыта определяли последовательно тремя методами: оптическим, весовым и линейно-контактным. Испытывали алмазные круги типа АЧК125×10×3×32 АСО125/100 Б1 при шлифовании твердосплавной пластинки Т15К6. За один опыт сошлифовали 50 г твердого сплава. Перед испытанием алмазный круг правили для выведения биения (до 0,005 мм) и придания его рабочей поверхности точной формы.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что оптический метод позволяет измерять линейный износ алмазных кругов с высокой точностью (до 1,2 мкм), но его целесообразно применять в лабораторных условиях, когда необходимо многократно измерять износ круга без снятия его со станка и не требуется измерять износ в разных точках по ширине алмазосносного слоя.

Недостатками описанных оптических методов измерения износа алмазных кругов кроме их трудоемкости следует считать то, что для проведения измерений необходимо останавливать станок. Кроме этого очень велика трудоемкость получения ровных четких контрольных рисок на корпусе круга.

Оптический метод измерения с помощью стандартных микроскопов не дает представления о характере износа круга по всей длине рабочей поверхности испытуемого инструмента.

**Индуктивный метод.** Бесконтактный метод контроля величины линейного износа алмазных кругов может быть также осуществлен с помощью индуктивных датчиков.

Этот метод измерения основан на изменении индуктивного сопротивления датчика в зависимости от величины расстояния до поверхности контролируемого изделия.

Во Львовском полиграфическом институте разработано устройство для измерения износа алмазных кругов на удельный расход алмазов, в котором в качестве измерительных элементов использованы индуктивные датчики.

Измерение износа круга происходит в процессе шлифования. Износ пластины шлифуемого твердого сплава определяется электроконтактным датчиком. В устройстве предусмотрен учет изменения размеров круга, выз-

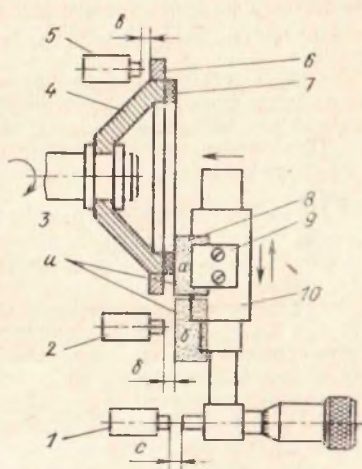


Рис. 36. Принципиальная схема устройства для контроля алмазных кругов на удельный износ

ванный его нагревом, а также тепловым расширением шпинделя станка и его опор.

С этой целью износ круга измеряют два индуктивных датчика, из которых один измеряет тепловые деформации круга, а второй — разницу между этими тепловыми деформациями и износом инструмента. Принципиальная схема устройства приведена на рис. 36.

На шпинделе 3 алмазно-заточного станка установлен контролируемый алмазный круг 4. На корпусе круга закреплено стальное кольцо 6. Пластина твердого сплава 8 закреплена в держателе 9, установленном в тисках стола 10 заточного станка. Стол 10 вместе с держателем 9 и пластинкой 8 совершает возвратно-поступательное движение. Съем материала твердосплавной пластинки фиксирует электроконтактный датчик 1. Если размеры пластинки и плотность твердого сплава известны, то в зависимости от требуемого при испытаниях съема твердого сплава устанавливается величина зазора  $c$ .

При срабатывании электроконтактного датчика прибор подает команду на выключение заточного станка. Измерение износа алмазноносного слоя 7 круга 4 производится индуктивным датчиком 2. Поверхность  $u$  пластинки 8 может перемещаться влево только за счет износа алмазноносного слоя 7. Перемещение поверхности  $u$ , равное износу алмазного круга, вызывает соответствующее уменьшение величины зазора  $\delta$ . При каждом двойном ходе стола пластинка 8 перемещается из положения  $a$  в положение  $b$ , и датчик фиксирует изменение зазора  $\delta$ , т. е. величину износа алмазной поверхности круга 4.

Однако в процессе испытания алмазный круг 4 и шпиндель станка нагреваются, шпиндель удлиняется и за счет этого увеличивается зазор  $\delta$ . Для учета этого изменения зазора  $\delta$  используется индуктивный датчик 5. При нагреве круга и шпинделя кольцо 6 перемещается вправо. Увеличение зазора  $b$  при этом будет происходить на ту же величину, что и зазора  $\delta$ , так как ширина кольца очень мала по сравнению с высотой круга (расширением кольца можно пренебречь). Датчики 2 и 5 включены по дифференциальной схеме.

При отсутствии износа круга, при его нагреве показания прибора, фиксирующего изменения разницы размеров  $\delta$  и  $b$ , равны нулю, так как зазоры  $\delta$  и  $b$  изменяются на одинаковую величину.

При износе круга уменьшение разности  $b - \delta$  равно износу алмазного слоя 7, причем с учетом тепловых деформаций круга и станка.

Износ алмазного слоя, определяемый как разность величин зазоров  $b$  и  $\delta$ , фиксируется вторичным прибором, от которого подается команда на выключение станка при достижении установленного износа алмазного круга.

Существенным недостатком описанного устройства является то, что при измерении износа алмазных кругов не учитывается погрешность, которая возникает за счет отжима в системе СПИД (упругие деформации). В связи с этим его можно использовать в производственных условиях для разбраковки алмазных кругов форм АЧК и АПП на две группы: «годен» или «негоден» при величинах съема с круга алмазного слоя до 20 мкм.

Для контроля кругов при величине износа до 160 мкм и выше применять это устройство можно только при условии пониженных режимов шлифования.

Кроме бесконтактного метода контроля износа кругов, основанного на использовании чувствительных датчиков и сложных электронных устройств, работающих в комплекте с ними, возможно применение для этой цели пневматического метода.

**Пневматический метод.** В основе пневматического метода измерения лежит зависимость между изменением расхода или давления воздуха, вытекающего из измерительного сопла в зазор между торцом сопла и контролируемой поверхностью, и изменением этого зазора за счет перемещения контролируемой поверхности.

К достоинствам пневматического измерения линейных размеров следует отнести его высокую точность при достаточно большом пределе измерения. Малогабаритная пневматическая измерительная оснастка позволяет производить измерения в относительно труднодоступных местах. Измерительная пневмосистема не подвержена влиянию магнитных полей, вибраций станка и воздействию окружающей среды.

Наряду с перечисленными достоинствами пневматические системы обладают рядом недостатков, ограничивающих их применение.

Основным недостатком пневматических систем является то, что необходима воздушная сеть для подвода сжатого воздуха, который требуется предварительно тщательно фильтровать и стабилизировать по давлению.

В работе [39] приведены результаты работы по измерению износа абразивных и алмазных кругов пневматическим методом с погрешностью  $\pm 1$  мкм и с визуальным отсчетом по шкале прибора.



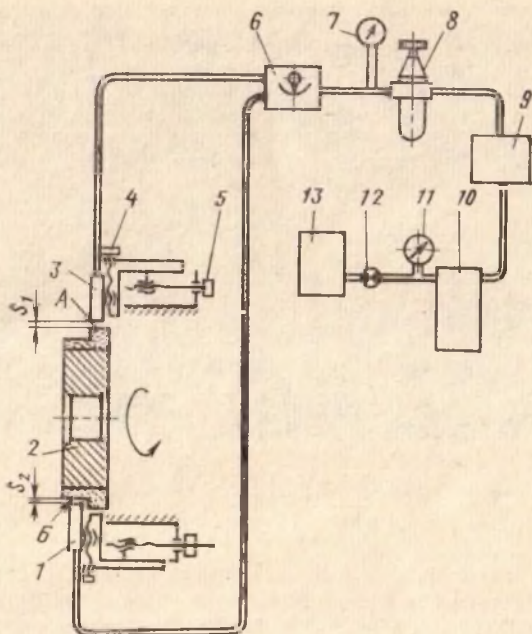


Рис. 37. Схема пневматического устройства для измерения величины износа алмазного круга:

1, 3 — измерительные сопла; 2 — измеряемый алмазный круг; 4, 5 — микрометрические винты; 6 — пневмодатчик; 7 — манометр; 8 — стабилизатор давления; 9 — групповой фильтр очистки воздуха; 10 — влагоотделитель; 11 — манометр; 12 — кран; 13 — компрессор

Измерение производилось при использовании круглого сопла с диаметром отверстия, равным 1—2 мм.

При проведении этих исследований не учитывались ошибки, возникающие за счет тепловой деформации круга, шпинделя и опор станка, а также из-за засаливания круга.

Несмотря на указанные недостатки, была подтверждена пригодность пневмоизмерительных приборов для контроля износа кругов. Аналогичные результаты были получены в работах [24].

Для более детального исследования возможностей метода измерения износа круга с помощью пневмодатчиков во ВНИИАЛМАЗе было разработано и испытано пневматическое устройство для бесконтактного измерения величины износа алмазного круга с учетом тепловых деформаций круга, шпинделя и опор станка [52, 57].

Устройство предназначено для проведения лабораторных испытаний без снятия круга со станка. Оно (рис. 37) имеет компрессор 13 типа 038Б, который через кран 12 соединен с влагоотделителем 10 и с групповым фильтром предварительной очистки воздуха 9 типа БВ-3101. Давление воздуха, поступающего в фильтр, измеряют при помощи манометра 11 типа МТ-1. Окончательная очистка

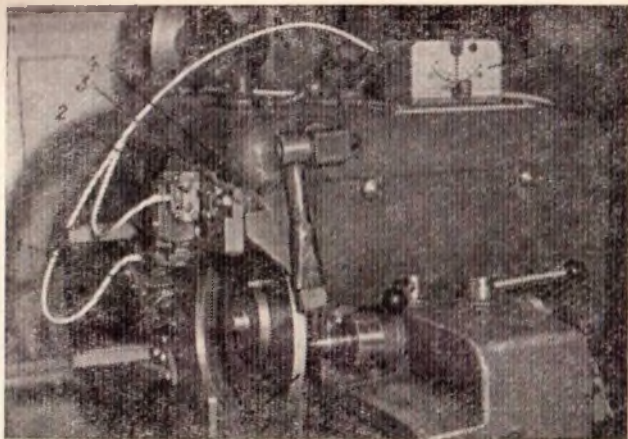


Рис. 38. Конструкция измерительной части устройства:

1—2 — подвижные каретки; 3 — откидная плита; 4 — защитный кожух; 5 — алмазный круг; 6 — пневмодатчик

воздуха и стабилизация давления осуществляется в блоке фильтра со стабилизатором давления 8 мод. 306. Давление измеряют манометром 7. К стабилизатору давления подключен пневмодатчик 6 мод. 235, к которому присоединены измерительные сопла 3 и 1. Сопла могут перемещаться относительно измеряемого круга 2 при помощи микрометрических винтов 4 и 5 в радиальном и осевом направлениях. При радиальном перемещении сопел меняются рабочие зазоры  $S_1$  и  $S_2$  между торцевой поверхностью сопла и поверхностями  $A$  и  $B$  круга. При осевом их перемещении обеспечивается измерение износа по всему профилю круга. Поверхность  $B$  является базовой, относительно нее производится отсчет износа алмазного круга по рабочей поверхности  $A$ .

На рис. 38 показана конструкция измерительной части устройства. Подвижные каретки 1 и 2 с укрепленными в них измерительными соплами установлены на откидной плите 3, привинченной к защитному кожуху 4 алмазного круга 5. Пневмодатчик 6, установленный на резиновых амортизаторах, располагается на верхней поверхности шлифовальной бабки круглошлифовального станка мод. 312М. Остальные элементы пневматической системы находятся рядом со станком.

Измерительные сопла, которыми оснащена установка, изготовлены из закаленной стали 9Х13 и имеют отверстия диаметром  $2 \pm 0,005$  мм. Торцы сопел обрабатывали до шероховатости, соответствующей 11—12-му классу.

Измерительные сопла выставляют относительно контролируемой поверхности таким образом, чтобы оси их отверстий были направлены по радиусу алмазного круга с точностью до 0,01 мм. Для определения цены деления шкалы пневмодатчика и диапазона измерений производили тарировку измерительной системы. При тари-

ровке было выбрано рабочее давление воздуха 1,5 кгс/см<sup>2</sup> и диаметр входного сопла, равный 1,2 мм; линейный участок рабочей характеристики измерительной системы составлял 0,12 мм, а цена одного деления шкалы пневмодатчика соответствовала 0,002 мм.

Установленный на шпинделе шлифовального станка алмазный круг перед экспериментом правили методом шлифования другим алмазным кругом на металлокерамической связке.

Для создания базовой поверхности этим же кругом на периферийной части алмазного круга вышлифовывалась (на глубину 0,5 мм) вспомогательная цилиндрическая поверхность (поверхность *Б* на рис. 37), которая в дальнейшем явилась базовой (нерабочей) при измерении величины износа круга.

На торцовую поверхность алмазного круга наносили четыре риски под углом 90°. Против рисков при помощи индикатора проводили контрольные измерения величины износа рабочей поверхности *А* круга относительно нерабочей поверхности *Б*.

Радиальное биение поверхностей *А* и *Б* алмазного круга, измеренное пневмодатчиком и индикатором, после правки составляло 0,002 мм и являлось постоянной величиной, которая учитывалась при определении истинной величины износа круга.

Эксперименты проводились алмазным кругом АПП 250×15 А12 50 М1 при шлифовании цилиндрических образцов из твердого сплава ВК8.

Износ измеряли через каждый час работы круга. В процессе эксперимента первоначально были определены ошибки, вызванные следующими факторами: шламом, осаждающимся на алмазном круге; охлаждающей жидкостью; возмущениями пограничного слоя воздуха у поверхности вращающегося круга.

Как показали измерения, в процессе шлифования слой шлама на базовой поверхности достигает максимальной толщины в 0,05 мм.

Через 4 ч шлифования рост толщины шлама прекращается. На рабочей поверхности круга шлам не осаждается.

Дальнейшие эксперименты с различными составами смазочно-охлаждающих жидкостей показали, что если применять жидкость, состоящую из 50% воды и 50% керосина, то максимальная толщина слоя шлама на базовой поверхности не превышает 0,001 мм, и при определении величины износа круга может не приниматься во внимание.

Как показали проведенные исследования, износ, измеренный на рабочей скорости круга, в некоторых случаях отличается от величины износа, измеренной индикаторами, почти в 2 раза. При пониженной до 5 м/с скорости круга и неподвижном круге различия показаний пневмодатчика и индикатора не превышают 5%.

Это явление можно объяснить воздействием на пневмосистему возмущений пограничного слоя воздуха у поверхности быстровращающегося круга. Время, необходимое для уменьшения скорости круга и снятия показаний пневмодатчика, не превышало 30—60 с.

С учетом тепловых деформаций алмазного круга истинную величину его износа  $\Delta C$  определяют по формуле

$$\Delta C = [\Delta d_{кр} - (\Delta d_{кр} - \Delta C)] = 0,002\Delta l, \text{ мм},$$

где  $\Delta d_{кр}$  — величина тепловой деформации круга, измеряемая соплом *1* у базовой поверхности *Б* круга;  $(\Delta d_{кр} - \Delta C)$  — величина из-



менения положения поверхности  $A$  под совместным влиянием износа и тепловой деформации, изменяемая соплом 3;  $\Delta l$  — число делений шкалы, на которое отклоняется стрелка пневмодатчика от начального положения; 0,002 — цена деления шкалы пневмодатчика, мм.

Величина  $\Delta C$  автоматически непрерывно высчитывается пневмодатчиком в процессе шлифования, так как измерительные сопла 1 и 3 включены по дифференциальной схеме.

Погрешность срабатывания датчика по экспериментальным данным не превышает 0,5 деления шкалы, что дает при контроле поля допуска, равного 0,040 мм, погрешность не более 0,0005 мм. При разбивке указанного поля допуска на размерные группы погрешность может достигнуть  $\sim 0,0012$  мм, что обусловлено нелинейностью характеристики пневмодатчика, равной примерно 3%.

Несмотря на необходимость уменьшения скорости вращения алмазного круга до 5 м/с при снятии показания пневмодатчика, описанной установкой можно легко и быстро измерять износ круга с точностью до 0,002 мм. Если конструкция станка не позволяет уменьшить скорость круга до 5 м/с, измерение износа следует производить при неподвижном круге.

В некоторых случаях при лабораторных исследованиях для бесконтактного измерения величины износа работающего алмазного круга применяют радиоактивный метод [18, 36].

**Радиоактивный метод.** При использовании этого метода радиоактивные изотопы вводятся в исследуемый инструмент в процессе его изготовления или вставляются в рабочую поверхность в виде отдельных вставок (свидетелей).

В процессе работы исследуемый инструмент изнашивается, а вместе с ним уменьшается количество радиоактивных изотопов, которые были введены в инструмент. Снижается также уровень радиоактивного излучения, что фиксируется посредством счетчика Гейгера. Пересчетное устройство преобразует сигнал от счетчика Гейгера в электрические импульсы, поступающие на индикаторный прибор, шкала которого проградуирована в линейных единицах.

Радиоактивный метод измерения открывает ряд возможностей в исследовании механизма и процесса изнашивания измеряемого инструмента.

Преимущества данного метода заключаются в непрерывности регистрации износа инструмента и в высокой его чувствительности.

В Научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте НАМИ разработана установка типа РМ-НАМИ, которая позволяет измерять износ посредством радиоактивных изотопов с погрешностью не более 0,005 мкм [42].

Использование радиоактивных изотопов позволяет сократить время исследования износа режущего инструмента примерно в 25 раз по сравнению с весовым и размерными методами. К сожалению, возможность использования его ограничивается только научными исследованиями.

Анализ описанных методов измерения износа кругов позволяет рекомендовать применение для этой цели приборов, основанных на использовании пневматического метода.

В соответствии с ГОСТ 16181—70 круги с наружным диаметром 100 мм и выше, толщиной корпуса 5 мм и более должны подвергаться динамической балансировке. Круги уравниваются путем высверливания материала корпуса круга на тяжелой стороне

или нанесения дополнительной массы материала на легкой стороне круга.

После балансировки предельное смещение центра массы круга относительно его оси вращения, в зависимости от массы круга, не должно превышать указанных значений:

масса круга, кг: 1; 1—3; 3—10; 10—50;

предельное смещение центра массы, мкм: 40; 32; 25; 20.

Балансировка кругов массой до 10 кг должна производиться на балансировочных станках общего назначения мод. ДБ-10; 9710 или на специальном станке мод. ЭЗ-27, предназначенном для балансировки алмазных кругов. Круги массой 10—50 кг следует балансировать на станке мод. ДБ-50.

Уравновешивание кругов при балансировке их на балансировочных станках общего назначения производят высверливанием материала корпуса круга, а на станке мод. ЭЗ-27 нанесением на корпус круга дополнительного металла (как правило, легкоплавкого припоя).

Балансировочные станки, применяемые для балансировки кругов, являются крупногабаритным, дорогостоящим, хотя и высокоточным оборудованием.

В теории [22] и практике уравновешивания установлено, что если отношение диаметра тела к его высоте больше пяти, то достаточным является его статическое балансирование независимо от эксплуатационной скорости вращения тела. Для подавляющего большинства алмазных шлифовальных кругов это соотношение больше пяти. Следовательно, заводами-производителями алмазного инструмента и всеми потребителями кругов с успехом можно использовать вместо дорогостоящего оборудования простейшие устройства для статической балансировки.

Для этой цели применяют балансировочные стелды с цилиндрическими, плоскими и дисковыми параллелями. Балансирование кругов на этих стелдах сопровождается некоторой ошибкой, которая вызывается силами трения, кромочным давлением, упругими и пластическими деформациями сжатия и смятия, возникающими в зоне контакта параллелей и балансировочной оправки, несущей уравновешиваемый круг.

Минимальные ошибки измерения возникают при использовании балансировочного стелда с аэростатическими опорами, разработанного в Голыяттинском политехническом институте по заказу Волжского автозавода [41].

Давление сжатого воздуха, подаваемого в опоры стелда, при балансировке кругов массой до 20 кг не превышает 3 кгс/см<sup>2</sup>. Точность измерения дисбаланса и балансирование шлифовальных кругов на стелде с аэростатическими опорами в 40—60 раз больше, чем при использовании стелда с неподвижными параллелями.

При балансировании кругов ошибка измерения дисбаланса на этом стелде не превышает 0,17—0,47 гс (для кругов разной массы). Эта величина составляет менее 10% величины допускаемого дисбаланса уравновешенных алмазных кругов, что говорит о пригодности стелда на аэростатических опорах для балансировки алмазных кругов.

**Контроль радиального и торцового биений алмазных кругов.** В соответствии с ГОСТ 16181—70 эти параметры, определяющие в значительной мере качество кругов, следует проверять после вскрытия алмазоносного слоя на оправке с помощью индикатора часового

го типа. Оправка должна быть закаленной, со шлифованной посадочной и прижимной поверхностями, со шлифованными центрами и предохранительным концом.

В зависимости от размеров кругов допускаемая величина радиального биения составляет 0,05 мм, а торцового — 0,03 мм.

Шлифовальные круги изготовляют, как правило, из алмазного порошка зернистостью от 400/250 мкм до 5/3 мкм (ГОСТ 16181—70). В результате вскрытия алмазоносного слоя происходит обнажение зерен порошка. При этом величина выступания вершин зерен (по которым и должны определяться величины биений) достигает 30—50% их длины. Таким образом, рабочая поверхность круга представляет собой множество более или менее равномерно распределенных по всей площади заостренных пиков высотой от 1 до 200 мкм (в зависимости от зернистости порошка). Такой характер контролируемой поверхности при использовании индикатора часового типа со стандартным сферическим измерительным наконечником для контроля биений вызывает появление ошибки измерения. Величина этой ошибки часто сравнима с величиной контролируемого биения, а при крупных зернистостях алмазного порошка — значительно превышает ее. Возникновение ошибки объясняется тем, что измерительный наконечник индикатора при скольжении по контролируемой поверхности периодически с вершин зерен опускается на поверхность связки. Стрелка индикатора колеблется по шкале на значительный угол с большой частотой. Ее изображение превращается в размытый полупрозрачный сектор, что делает невозможным определение величины биения даже приближенно.

Можно значительно уменьшить ошибку измерения, снизив ее до 5—8% измеряемой величины. Для этого индикатор следует снабдить наконечником с плоским торцом, а биение измерять в 10—12 радиальных сечениях рабочей поверхности круга. Измерение следует производить 3—5 раз с последующей статистической обработкой результатов показаний индикатора в каждом радиальном сечении круга. Разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора во всей серии измерений (с учетом доверительных интервалов среднего арифметического показания) и будет являться величиной биения, наиболее близкой к истинной.

Описанный метод измерения радиального и торцового биений, несмотря на достаточную точность, может быть применен только для выборочного или арбитражного контроля кругов. Это объясняется его очень низкой производительностью.

Для массового контроля кругов по этим параметрам можно использовать пневмодатчики, широко применяемые в промышленности. Существенным преимуществом этого бесконтактного метода измерений является возможность автоматического внесения поправки на зернистость использованного в круге алмазного порошка. Измерение биений с высокой точностью (до 1 мкм) с помощью пневмодатчиков дает возможность автоматизировать контроль кругов и их разбраковку по этим параметрам.

Для измерения биений, особенно радиального, с успехом может быть использован фотоэлектрический метод. В этом случае вращающийся с заданной скоростью круг пересекает световой поток, идущий от осветителя через оптическую систему на фотоприемник. В качестве фотоприемников применяют обычно фотоэлементы, фотоумножители и фотодиоды.



Круг, обладающий биением, при своем вращении изменяет величину светового потока, падающего на фотоприемник. Изменение светового потока вызывает изменение величины фототока, проходящего по цепи фотоприемника. Это изменение пропорционально величине светового потока.

После преобразования в элементах электрической схемы сигнал фотоприемника преобразуется в показания соответствующего прибора, шкала которого протарирована в линейных единицах. На этой шкале демонстрируется величина биения круга.

Фотоэлектрический метод также дает возможность автоматизировать процесс измерения биений круга.

Применение для контроля биений индукционных, емкостных датчиков и датчиков вихревых токов в этом случае не дает надежных результатов.

Это объясняется большим влиянием на работу датчиков изменений в составе связки, концентрации алмазов, пористости и твердости алмазоносного слоя, материала корпуса круга и др.

Подводя итоги, можно сказать следующее: применяемые методы и средства контроля в значительной мере не отвечают требованиям крупносерийного производства. Надежность и производительность их мала, и поэтому слишком велика роль квалификации рабочих и контролеров, занятых на производстве алмазного инструмента. При их недостаточно высокой квалификации могут быть случаи очень большого разброса параметров инструментов даже одной партии, что значительно сказывается на качестве работы кругов при эксплуатации.

Для повышения надежности контроля и разбраковки кругов необходимо создание специальных средств измерения с учетом рекомендаций, приведенных выше.

### 3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ БРУСКОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

Алмазные хонинговальные бруски широко применяют при обработке отверстий в различных материалах. Особенно широко их используют при хонинговании гильз тракторных двигателей, изго-

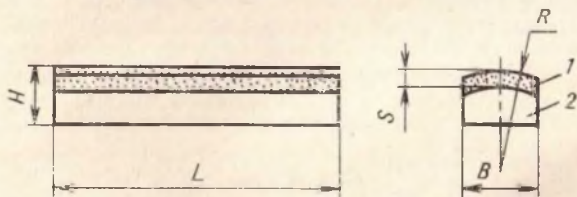


Рис. 39. Хонинговальный алмазный брусок:

1 — алмазоносный слой; 2 — корпус

товленных из закаленного чугуна. Хонингование гильз брусками, изготовленными с использованием современных синтетических алмазов, в том числе и поликристаллов, позволяет отказаться от операций расточки и шлифования.

Конструктивно алмазные хонинговальные бруски аналогичны другим видам алмазного инструмента на металлической связке

(рис. 39). Они имеют алмазосносный слой и корпус, который изготовляют из стали марок Ст3 или 30, или из шихты связки методом порошковой металлургии. Готовые хонинговальные бруски закрепляют на стальных колодках хонголовки посредством пайки оловянным припоем или приклейкой эпоксидным клеем.

В соответствии с ГОСТ 166С6—71 размеры хонинговальных брусков находятся в следующих диапазонах:  $L=25\div 150$  мм;  $B=2\div 16$  мм;  $H=2\div 6$  мм;  $R=3\div 150$  мм и  $S=1\div 3$  мм. По специальным требованиям выпускают хонинговальные бруски больших размеров.

В зависимости от размеров хонбруска и концентрации алмаза в алмазном слое в инструменте содержится до 32 карат алмазного порошка.

Технологический процесс изготовления хонинговальных брусков аналогичен процессам изготовления других инструментов на металлических связках. Методы и средства контроля, применяемые при производстве таких инструментов, рассмотрены ранее, в начале этой главы.

При контроле готовых хонинговальных брусков визуально определяют наличие дефектов: раковин, выкрашиваний и забоин на поверхности алмазосносного слоя.

В зависимости от ширины брусков число раковин не может превышать трех—пяти по всей рабочей поверхности бруска.

Твердость алмазосносного слоя измеряют на приборе типа ТК-2 не менее чем в трех точках по осевой линии бруска (в средней точке и в двух точках, лежащих на расстоянии 6 мм от концов). За величину твердости принимают среднюю арифметическую из трех измерений.

Расхождение значений отдельных измерений твердости алмазосносного слоя в одном бруске, а также значений средней твердости слоя в разных брусках одной партии не должно превышать  $HRB 10$ .

Степень вскрытия алмазных зерен, а также равномерность их распределения по поверхности алмазосносного слоя обычно контролируют с помощью микроскопа МБС-1 или МИИ-9.

Линейные и угловые размеры при окончательном контроле хонинговальных брусков измеряют универсальными средствами измерения. Радиус рабочей поверхности брусков измеряют шаблонами, а непараллельность рабочей и опорных поверхностей контролируют индикатором часового типа. Ее величина не должна превышать 0,1 мм на 100 мм длины бруска.

С целью определения работоспособности бруски подвергают контролю на производительность и на качество обработанной ими поверхности.

При испытаниях в качестве обрабатываемой детали служит втулка, изготовленная из стали 40Х, закаленной до твердости  $HRC 48-50$ . Испытания одного комплекта брусков производят на трех втулках.

Перед испытаниями комплект брусков предварительно прирабатывают. Для этого хонингование производят (для ускорения процесса) с применением абразивного порошка марки КЗ, КЧ или ЭБ, смешанного с солидолом или другой консистентной смазкой.

Давление на бруски в процессе приработки составляет 2—3 кгс/см<sup>2</sup>. Приработка считается законченной, когда площадь контакта бруска с обрабатываемой поверхностью достигает 60—

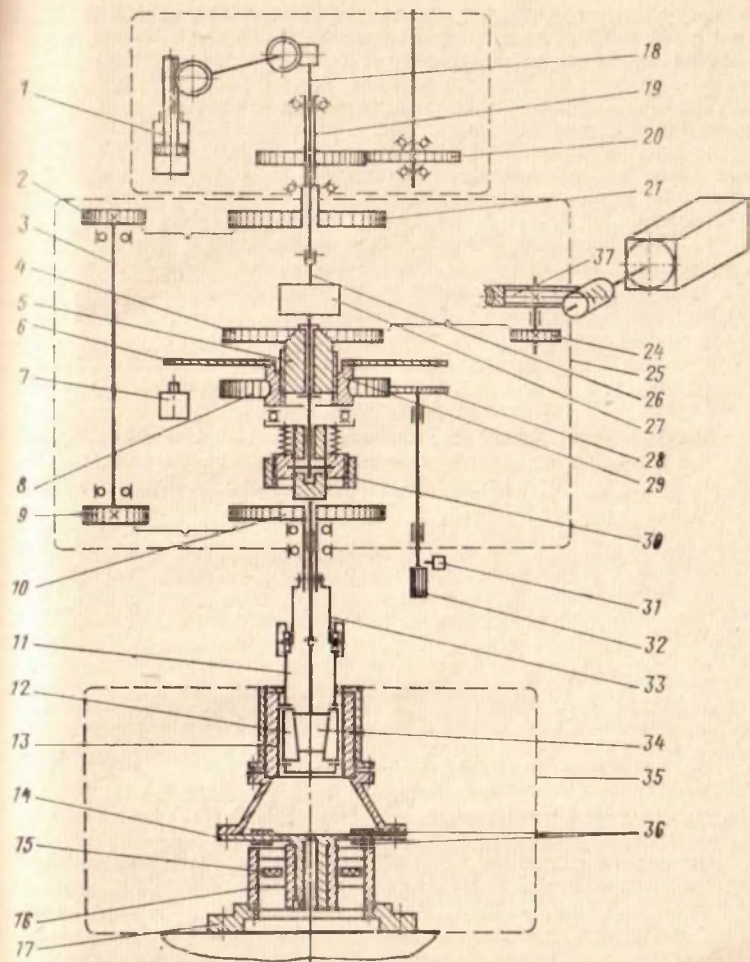


Рис. 40. Кинематическая схема стенда для исследования качества хонинговальных брусков

70% рабочей поверхности инструмента из шлифпорошков и 90% — из микропорошков.

Съем металла при хонинговании втулок измеряют индикаторными нутромерами, а шероховатость поверхности — профилометром мод. 201.

Для комплексного исследования работоспособности хонинговальных брусков во ВНИИАЛМАЗе разработан стенд, кинематическая схема которого представлена на рис. 40. В конструкции стен-



да предусмотрены два механизма разжима хонинговальных брусков (с работой по заданному давлению и по заданной подаче); широкий диапазон регулирования скорости подачи инструмента; измерение в течение цикла обработки усилия на разжимном конусе, перемещения разжимного конуса, величины крутящего момента резания, осевого усилия резания.

Стенд состоит из хонинговального станка мод. ОФ-38А, ОЗФС, на нижнем торце шпиндельной головки 20 которого закреплено специально изготовленное приспособление — коробка передач 25; динамометра 35, в котором крепится обрабатываемая деталь 13, и измерительной станции (на рисунке не показана). Вращение хонинговальной головки 11 передается от шпинделя станка 19 через систему зубчатых колес 21, 2, 9 (на валу 3) и 10.

Быстрое осевое перемещение разжимного конуса 34 для подвода хонинговальных брусков 12 к обрабатываемой поверхности производится от гидроцилиндра станка 1 через шток-рейку 18. Шток-рейка при этом приводит в движение толкатель 26, который через штангу 33 перемещает разжимной конус 34.

Быстрое перемещение разжимного конуса происходит до тех пор, пока кольцо 30 (положение которого можно регулировать по высоте) не упрется в торец зубчатого колеса 10. В этот момент начинает работать гидродвигатель 22 (позволяющий регулировать частоту вращения в диапазоне 5—2000 об/мин), который через червяк 23, червячное колесо 37 и зубчатые колеса 24 и 4 вращает ходовой винт 5. При этом гайка 29 (вращение которой застопорено зубчатыми колесами 8, 28 и стопором 31) медленно перемещается вниз на величину, необходимую для рабочего разжима хонинговальных брусков, толкая штангу 33. После окончания обработки детали гидродвигатель 22 останавливается, разжимной конус 34 быстро отводится в исходное положение гидроцилиндром 1. Вращением маховичка 32 возвращается в исходное положение гайка 29.

При работе с заданным давлением кольцо 30 отводится в крайнее верхнее положение, и усилие на разжимной конус 34 передается от гидроцилиндра 1 через шток-рейку 18, толкатель 26 и штангу 33.

Привод гидродвигателя 22 осуществляется автономной гидросистемой, включающей гидронасос, фильтр тонкой очистки, дроссель для регулирования частоты вращения гидродвигателя и реверсивный золотник.

Усилия на разжимном конусе  $P_k$  замеряют при помощи пружинной скобы 27 с использованием тензодатчиков.

Осевое усилие  $P_{ос}$  измеряют при помощи тензодатчиков 36, которые наклеивают с двух сторон на разрезную диафрагму 14 динамометра 35.

На крестовине 16 динамометра, установленного на основании 17, закреплены тензодатчики 15, при помощи которых измеряют крутящий момент резания  $M_{кр}$ .

Тензометрические датчики каждой измеряемой величины собраны в мостовую схему. Сигнал разбаланса моста усиливается усилителем пропорционально измеряемой величине и поступает на входы регистрирующего прибора (шлейфовый осциллограф), где фиксируется во времени.

Осевое перемещение  $S_k$  разжимного конуса измеряют индуктивным дифференциальным датчиком, имеющим линейную характеристику  $\pm 200$  мкм.

Положение датчика регулируют так, чтобы его измерительный щуп касался плоского диска  $b$  в момент касания брусков обрабатываемой поверхности.

В процессе работы как с разжимом по давлению, так и с заданной подачей перемещение диска  $b$ , пропорциональное перемещению разжимного конуса  $34$  воспринимает щуп  $7$ .

Датчик включен в мостовую схему, составленную из его обмоток и двух резисторов. При осевом перемещении разжимного конуса происходит изменение индуктивного сопротивления датчика, что приводит к нарушению баланса моста, вызывая в его измерительной диагонали напряжение разбаланса, пропорциональное величине измеряемого перемещения  $S_k$ . Напряжение разбаланса подается на усилитель. Усиленный сигнал разбаланса поступает на катодный повторитель, а затем на один из входов шлейфового осциллографа.

Совокупность данных, полученных при испытании брусков на описанном стенде, позволяет оценить их качество по сравнению с эталонными инструментами (отечественными и импортными).

#### 4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БУРОВЫХ КОРОНОК

В настоящее время изготавливают около 150 типоразмеров алмазных буровых коронок с диаметрами 36, 46, 59, 76 и 93 мм, различающихся формой рабочей поверхности, твердостью алмазосносного слоя и другими конструктивными параметрами.

Коронки применяют при геологоразведочных работах для бурения горных пород высокой твердости и для бурения взрывных скважин при добыче полезных ископаемых.

При изготовлении буровых коронок используют как природные, так и синтетические алмазы марок АСПК, АСБ и другие.

Большую часть буровых коронок, выпускаемых отечественной промышленностью, изготавливают с использованием гранулированной алмазосодержащей шихты. В этом случае алмазы распределены во всем объеме рабочего слоя инструмента равномерно.

Буровые коронки со сложной геометрией режущей части изготавливают с применением ручной укладки алмазов по определенной схеме. Процесс изготовления этих коронок аналогичен процессу, применяемому при производстве правящих алмазных роликов для правки абразивных кругов. Поэтому методы и средства контроля точности рабочей поверхности подобных изделий подробно рассмотрены при описании роликов.

Типовой технологический процесс изготовления алмазных буровых коронок из гранулированной шихты предусматривает изготовление корпуса буровой коронки из стали марки 20 или 30 по ГОСТ 19527—74; отбор алмазного сырья по фракционному составу, и приготовление шихты с использованием порошков твердых сплавов. Гранулы изготавливают из алмазосодержащей шихты с использованием специальных связующих жидкостей.

Для проверки содержания алмазов в гранулах отобранные в выборочном порядке гранулы протирают сквозь сито, отделяя тем самым алмаз от шихты. После промывки в спирте алмаз взвешивают.

Матрицу коронок прессуют в пресс-форме, куда устанавлива-

ют корпус коронки и засыпают гранулы шихты. После прессования матрицы и извлечения из пресс-формы ее пропитывают. Для этого коронку помещают в графитовую форму и засыпают во внутрь коронки пропиточный материал (порошок меди). Затем загружают графитовую форму с коронкой в электропечь, где в среде водорода при температуре около 1150°C в течение 10 мин производят пропитку коронок. После остывания коронки обрабатывают. С целью защиты от коррозии и придания товарного вида буровым коронкам их пассивируют гальваническим способом. Затем коронки промывают в бензине, протирают, окунают в разогретый технический вазелин (выдержка 5—7 мин), заворачивают в целлофан и с заполненным паспортом упаковывают в футляр.

Из каждой приготовленной партии шихты изготавливают не менее двух безалмазных коронок, на которых проверяют твердость матрицы, качество пропитки и приварки матриц к стальному корпусу. Для определения твердости безалмазную матрицу шлифуют по плоскости торца на глубину 1,5—2 мм. На шлифованной поверхности измеряют твердость матрицы по методу Роквелла таким образом, чтобы на каждом секторе матрицы делалось не менее 8—10 замеров. Среднее арифметическое из величин твердости во всех замерах принимают за величину твердости матрицы.

Для определения качества пропитки и приварки матрицу разрушают на прессе путем давления на боковую поверхность корпуса коронки. Излом должен пройти частично по телу матрицы, быть однородным, без темной сердцевинки, включений и расслоений. При несоответствии результатов контролю одному из указанных выше требований контроль повторяют на удвоенном числе матриц. При повторном несоответствии результатов проверки данную партию коронок бракуют.

На качество эксплуатационных характеристик алмазных буровых коронок оказывают влияние следующие основные параметры: а) фракционный состав и динамическая прочность алмазов [17]; б) качество перемешивания компонентов алмазно-твердых гранул, т. е. насыщенность единицы объема матрицы алмазами [8]; содержание (концентрация) алмазов в гранулах [35]; в) качество припайки матрицы к корпусу коронки; г) сцепление рабочего слоя с промежуточным; д) качество пропитки матриц; е) твердость матрицы.

Контроль алмазного сырья по фракционному составу производят оптическим способом посредством бинокулярных микроскопов МБС-2, МБУ-4, МБИ-4, что является трудоемкой и малопроизводительной операцией. Очевидно, целесообразно для этой цели использовать телевизионные микроскопы с автоматическими счетчиками [49].

Качество перемешивания компонентов шихты и компонентов алмазотвердых гранул при изготовлении коронок контролируют временем перемешивания и визуальным осмотром, т. е. объективный контроль данного параметра отсутствует.

Качество припайки матрицы к корпусу коронки, качество пропитки и прочность сцепления рабочего слоя с промежуточным оценивают по результатам разрушения готовых коронок на прессе. Такой метод контроля нельзя считать эффективным, так как, во-первых, это приводит к разрушению инструмента, и во-вторых, одновременно оценку всех контролируемых параметров производят только по усилию разрушения инструмента. В силу этого данный



метод контроля не позволяет в отдельности оценивать каждый параметр.

Методы и средства для объективного контроля качества сцепления алмазоносного слоя с корпусом в настоящее время отсутствуют, что определяет необходимость их разработки.

Для оценки качества пропитки буровых коронок можно использовать методы вихревых токов или ультразвуковой [31], широко применяемые в промышленности для дефектоскопии различных деталей (изделий).

Твердость матриц (по безалмазному слою) измеряют стандартными твердомерами, что является достаточно точным и объективным.

### 5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ ШТРИПСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ОБРАБОТКЕ КАМНЯ

Алмазные штрипсы состоят из стального корпуса, выполненного в виде длинной стальной ленты, и припаянных к нему алмазоносных брусков (рис. 41).

Алмазоносные бруски на металлической связке припаивают с определенным шагом к корпусу штрипса припоем марки ПСР-45 или другими припоями, механические свойства которых не ниже, чем у припоя ПСР-45, а температура плавления не выше 905°C.

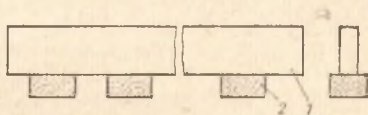
Геометрические размеры штрипсов выбирают в зависимости от обрабатываемого материала. Длина штрипсов может превышать 4 м.

Алмазные штрипсы применяют для резания блоков природного камня на плиты.

Качество штрипса оценивают по удельному расходу алмазов, составляющему, например, 2,0 карата на 1 м<sup>2</sup> площади реза при резании гранита и 0,3 карата при резании мрамора.

Рис. 41. Схематическое изображение алмазного штрипса:

1—корпус; 2—алмазоносные бруски.



Методы и средства контроля основных параметров готовых изделий приведены ниже.

Корпус штрипса с целью обнаружения трещин и заусенцев контролируют визуальным осмотром. Длину и высоту штрипса, а также шаг алмазных брусков контролируют универсальными средствами измерения. Разновысотность и нависание алмазных брусков, припаянных к корпусу штрипса, проверяют также универсальными средствами измерения.

Удельный расход алмазов при резании штрипсами горных пород определяют на камнеобрабатывающих заводах непосредственно на станках, подготовленных к работе алмазными штрипсами и удовлетворяющих нормам точности, необходимым для эксплуатации данного инструмента. Удельный расход алмазов определяют линейным методом на основе замера линейного износа алмазного штрипса по высоте, который в этом случае измеряют с помощью скобы.

Удельный расход алмаза, определенный путем измерения линейного износа алмазонасных брусков, не может считаться достаточно надежным критерием работоспособности штрипса. Дело в том, что при распиловке каменных блоков неправильной формы алмазонасные бруски, расположенные в середине штрипса, изнашиваются значительно быстрее брусков у концов штрипса. Таким образом, штрипс, у которого изношены только средние бруски, считается негодным к дальнейшей работе, в то время как крайние бруски еще вполне работоспособны.

Величина удельного расхода алмаза более точно характеризует вала бы эксплуатационные качества инструмента при равном износе всех брусков. Более равномерного износа брусков можно достигнуть, размещая их вдоль штрипса с неравномерным шагом: в середине штрипса шаг между брусками должен уменьшаться, а к концам — увеличиваться. Закономерность изменения шага при этом должна соответствовать закономерности изменения величины износа брусков при их равномерном расположении вдоль штрипса.

В заключение можно отметить, что применяемые в настоящее время при контроле штрипсов средства измерения обеспечивают необходимую точность контроля из-за больших допусков, назначаемых на размеры изделия.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ

Алмазные инструменты на органических связках в основном применяют для чистовых и доводочных работ: чистовой заточки и доводки режущего инструмента из твердых сплавов, чистового шлифования и доводки рабочих поверхностей мерительного инструмента, полировки валцов печатных машин, лопаток турбин и других деталей машин.

Большим преимуществом, обусловленным свойствами связок, является способность этих инструментов работать без СОЖ.

При обработке твердосплавного инструмента алмазными кругами на органических связках достигается 11—12-й класс шероховатости поверхности.

Инструменты на органических связках в основном выпускают тех же форм и размеров, что и инструменты на металлических связках (см. рис. 28). Конструктивно же они существенно различны. Если инструменты на металлической связке имеют жесткий стальной точеный корпус, к которому алмазонасыщенный слой непосредственно прикреплен, то при изготовлении инструментов на органических связках в большинстве случаев используется корпус, пресованный из бакелита с наполнителем — порошком алюминия. Алмазонасыщенный слой иногда напрессовывают прямо на корпус, а иногда изготавливают отдельно и затем приклеивают к корпусу.

Органические связки алмазных кругов изготавливают на основе фенолформальдегидных смол с добавлением порошков металлов или неалмазных абразивов. Для осуществления реакции полимеризации смолы в состав связки добавляют некоторое количество уротропина или другого реагента.

Полимеризация фенолформальдегидной смолы в присутствии уротропина происходит при температурах, не превышающих 180°. Такой низкотемпературный нагрев не вызывает изменения структуры алмазных зерен. Их острые режущие кромки не разрушаются (как это часто имеет место при изготовлении инструментов на металлической связке), что обуславливает их высокие режущие качества.

Органические связки обладают более высокой пластичностью по сравнению с металлическими, а также меньшим коэффициентом трения при скольжении по обрабатываемому материалу. Эти качества позволяют при обработке различных материалов получать поверхности высокого качества с малой глубиной дефектного слоя.

Методы и средства контроля, применяемые при производстве инструмента на органических связках, аналогичны используемым при изготовлении инструментов на металлической связке. Они подробно рассмотрены в предыдущей главе.



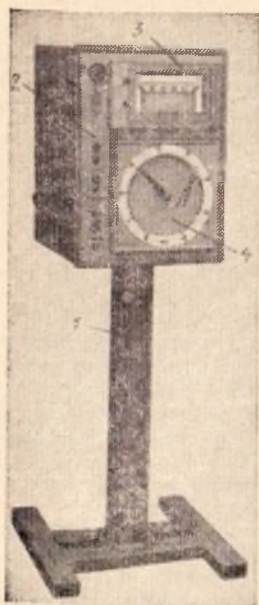


Рис. 42. Общий вид установки

Для повышения производительности прессового оборудования и улучшения стойкости некоторых типов инструментов на органических связках на производстве применяют раздельную термообработку кругов. При этой технологии круги лишь предварительно прессуют в пресс-формах. Затем их извлекают из пресс-форм и подвергают окончательной термообработке для полной полимеризации фенолформальдегидной смолы. Для этого круги (до нескольких десятков штук) загружают в печь, нагрев которой ведут по специальной программе.

Программу нагрева задает и поддерживает программный регулятор температуры, разработанный и изготовленный во ВНИИАЛДМЗе. Напольная установка (рис. 42) смонтирована на стойке 1, имеет программный регулятор 3 типа РУ5-01М и автоматический потенциометр 4 типа КСП-3. Управление, световая и звуковая сигнализация вынесены на лицевую панель 2. Остальные элементы установки размещены в корпусе.

Режим нагрева определяет программа, заданная графиком на ленте регулятора. В соответствии с этой программой

и электрическими сигналами термопары типа ТХК, установленной в зоне нагрева, потенциометр регулирует и поддерживает необходимую температуру.

Установка позволяет управлять температурным режимом печи автоматически и вручную.

На рис. 43 приведена принципиально-монтажная электрическая схема установки.

При работе в автоматическом режиме переключатель рода работ тумблер *T2* необходимо поставить в положение *Авт.* При этом электрический ток минуя кнопки *KУ1* и *KУ2*, исключая их из процесса управления печью. Затем тумблером *T1* установка включается в сеть, и на первичную обмотку трансформатора *Tr*, потенциометр (клеммы 5 и 7) и программный регулятор (клеммы 1 и 2) поступает напряжение 220 В. Сигнальная лампа *Л2*, загораясь, сигнализирует о готовности установки к работе.

Одновременно со вторичной понижающей обмотки трансформатора напряжение 36 В поступает на катушку реле (типа МКУ-48) позиционного регулятора *ППР-1М* (клеммы 3 и 4). Контакты реле замыкаются (клеммы *О* и *А*), и напряжение 220 В поступает на катушку магнитного пускателя *1Р*. При срабатывании магнитного пускателя его замыкающиеся контакты *Р1-1Р5* замыкаются, печь подключается к сети 380 В, и загорается сигнальная лампа *Л3*. Печь нагревается до температуры, заданной программой. Затем происходит разбаланс электрического моста (реохорды в *КПС-3*, клеммы 1, 3 и 4 и в *РУ5-01М* клеммы 3, 6 и 4), контакт позицион-

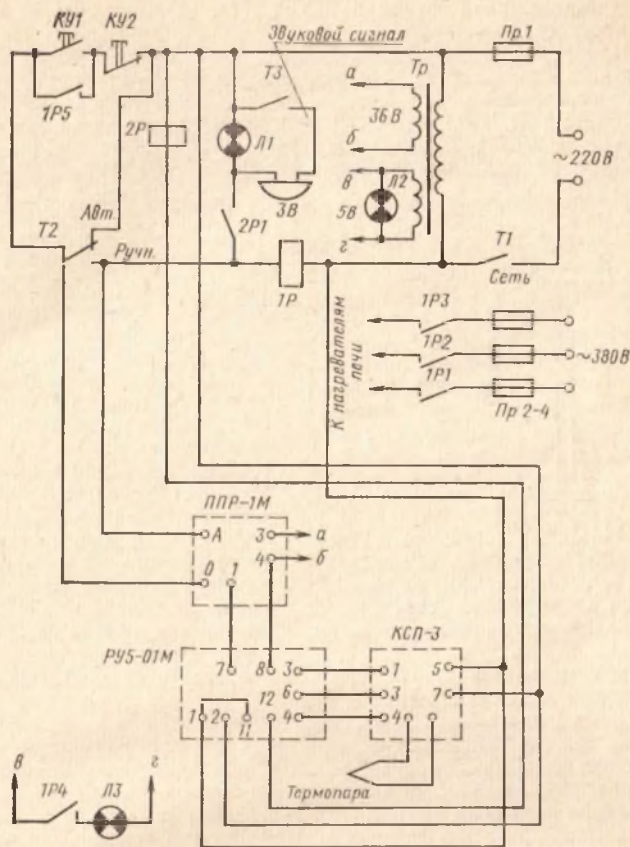


Рис. 43. Принципиально-монтажная электрическая схема установки.

ного блока в РУ5-01М размыкает клеммы 7 и 8 и разрывает электрическую цепь ППР-1М (клеммы 1 и 4). Реле МКУ-48 в ППР-1М размыкает контакты (клеммы 0 и А), катушка магнитного пускателя 1Р обесточивается, пускатель размыкает контакты 1Р1—1Р5, и печь выключается.

При уменьшении температуры в печи ниже заданной величины магнитный пускатель 1Р включается, и его контакты 1Р1—1Р5 замыкаются, подключая печь к сети.

По окончании заданной программы подвижная каретка в РУ5-01М автоматическим смещается на начало шкалы и замыкает специальный контакт (клеммы 11 и 12). Реле 2Р срабатывает и замыкает замыкающийся контакт 2Р1 (тумблер ТЗ при этом находится в положении «Зв. сигн.»), приводя в действие звуковую и свето-

вую сигнализацию (звонок и лампа Л1), извещающую об окончании процесса.

При работе на ручном режиме электросхема действует в той же последовательности, но переключатель Т2 ставится в положение ручного управления («Ручн.»), и печь включается в сеть нажимом кнопки КУ1. ППР-1М и РУ5-01М в этом случае процессом не управляют, а КСП-3 лишь фиксирует и регистрирует температуру. Печь отключается нажимом кнопки КУ2.

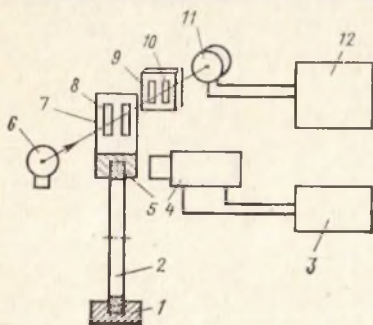


Рис. 44. Схема установки для определения динамического модуля упругости и логарифмического декремента затухания собственных колебаний алмазосносного кольца

нами, изменения значений которых напряжения постоянного тока.

При окончательном контроле инструментов на органической связке, так же как и для инструментов на металлической связке, наиболее трудоемкой операцией является определение их стойкости и работоспособности. Эти испытания связаны с расходом как дорогостоящих алмазных кругов, так и дефицитного твердого сплава. Кроме того, при этом неизбежны значительные ошибки, о чем говорилось ранее.

Во ВНИИАМАЗе проведены исследования, показавшие возможность применения для определения работоспособности инструмента ускоренных методов неразрушающего контроля. В частности, обнаружено, что величина динамического модуля упругости алмазосносного слоя может являться косвенным показателем стойкости инструмента, а значение логарифмического декремента затухания собственных колебаний слоя определяет свойства материала, для обработки которых данный инструмент наиболее пригоден.

По заказу ВНИИАЛМАЗа Ростовским институтом сельскохозяйственного машиностроения изготовлена опытная установка для определения указанных физико-механических свойств алмазосносных колец (рис. 44).

Установка работает следующим образом: испытываемое алмазосносное кольцо 2 закрепляют в неподвижном зажиме 1. На противоположной стороне кольца устанавливают флажок-наездник 5, выполненный из магнитомягкого материала. Флажок-наездник имеет

Технические характеристики установки: напряжение питающей сети  $220\text{ В} \pm 10\%$ , частота 50 Гц; потребляемая мощность 120 Вт; диапазон программного регулирования температуры  $0-400^\circ\text{C}$ ; точность поддержания температуры  $\pm 0,5\%$ ; максимальная длительность цикла 500 ч; мощность нагревателей печи 8 кВт; габаритные размеры  $150 \times 60 \times 45$  см; масса 80 кг.

При небольшой модернизации установка может быть использована для программного регулирования в других температурных диапазонах. Ее можно также применить для управления процессами, характеризующимися другими величинами, преобразуемыми в изменения на-



стойку 7 с вертикальными щелями 8. Эти щели расположены напротив аналогичных щелей 10 неподвижной диафрагмы 9. Луч света от источника 6, проходя сквозь щели 8 и 10, падает на катод фотоэлемента 11. Сигнал от фотоэлемента поступает в преобразователь 12.

При поступлении на обмотку электромагнита 4 переменного напряжения (с частотой до 200 Гц), вырабатываемого генератором 3, в воздушном зазоре между сердечником электромагнита и флажком-наездником возникает переменное магнитное поле. Алмазонасное кольцо начинает колебаться с частотой магнитного поля, которая меняется при плавной настройке частоты колебаний напряжения, вырабатываемого генератором 3.

При колебаниях кольца стойка 7 со щелями 8 также начинает вибрировать. Величина светового потока, проходящего через щели 8 и 10, изменяется, что регистрируется преобразователем 12.

Наибольшее изменение светового потока наблюдается при максимальной амплитуде колебаний кольца, которая имеет место при возникновении резонанса, т. е. в тот момент, когда частота собственных колебаний кольца совпадает с частотой вынужденных колебаний.

Электронная схема установки автоматически определяет по частоте собственных колебаний динамический модуль упругости кольца.

При обесточивании электромагнита 4 кольцо продолжает еще некоторое время колебаться, при этом также автоматически определяется логарифмический декремент затуханий колебаний кольца.

Проведенные испытания показали достаточную корреляцию между физико-механическими и эксплуатационными свойствами инструментов, алмазонасные элементы которых проверялись на этой установке.

В настоящее время этим методом можно определить свойства только алмазонасных колец. Сейчас ведутся работы по распространению этого метода на ускоренные неразрушающие испытания полностью изготовленных алмазных кругов и других инструментов на органических связках.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

### 1. ОПЕРАЦИОННЫЙ И МЕЖОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

Одним из наиболее интересных и перспективных видов применения алмазных порошков для механической обработки различных материалов является изготовление из них инструментов, в которых в качестве связки используются металлы и сплавы, осаждаемые электрохимически.

В процессе изготовления алмазного инструмента гальваническим способом происходит формирование алмазоносного слоя путем механического закрепления алмазных зерен порошка, прилегающих к поверхности корпуса, с металлом связки, осаждаемым на него в процессе электролиза. При этом в качестве связки применяют хром, никель, железо, серебро и другие материалы. Заготовку (подложку) инструмента изготавливают из меди, медно-бериллиевых фосфорных бронз или нержавеющей стали.

Алмазный инструмент, изготовленный гальваническим способом, отличаются следующие достоинства:

а) многообразие геометрических форм. Гальванический инструмент может иметь практически любую форму и профиль: цилиндр, сферу вогнутую и выпуклую, шар и т. д. Кроме того, возможно сочетание простых геометрических форм с более сложными — различные фасонные формы тела вращения сложного профиля и т. д.;

б) широкий диапазон геометрических размеров;

в) возможность изготовления инструментов минимальной толщины, что необходимо, например, при резке дорогостоящих полупроводниковых материалов. Уменьшение толщины реза дает экономию этих материалов, снижаются, потери при резании;

г) высокая размерная стойкость инструмента;

д) высокая точность изготовления инструмента;

е) инструмент может изготавливаться как однослойный (толщина алмазоносного слоя приблизительно равна размеру закрепленного алмазного зерна), так и многослойный, с толщиной алмазоносного слоя до 2 мм;

ж) возможность применения в качестве связки широкой гаммы металлов и сплавов с высокими физико-механическими свойствами (твердость, износостойкость и др.);

з) технологичность и сравнительная простота процесса изготовления: процесс не требует дорогостоящего и сложного оборудования;

и) возможность механизации и автоматизации процесса изготовления.

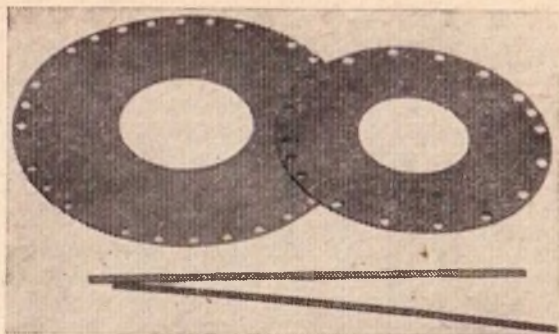


Рис. 45. Инструменты на гальванической связке

Основным недостатком гальванического алмазного инструмента является сравнительно малая скорость формирования алмазоносного слоя (до 1 мкм/мин). Производительность изготовления гальванического инструмента повышают за счет увеличения числа одновременно изготавливаемых инструментов, а также путем интенсификации процесса электроосаждения связки (повышение температуры электролита, перемешивание при зарастивании алмазных зерен).

В качестве недостатка также следует отметить и небольшую толщину алмазоносного слоя по сравнению с другими способами изготовления инструмента, что приводит к сравнительно быстрому износу инструмента. С целью повышения срока службы инструмента можно увеличить число алмазоносных слоев.

В настоящее время выпускаются самые различные виды алмазного инструмента, изготавливаемого гальваническим способом. Они находят широкое применение в различных областях промышленности. Например, это алмазные отрезные круги с внутренней режущей кромкой, применяемые для резания слитков полупроводниковых материалов (кремния, германия) на пластины. Эти круги изготавливают различных размеров (наружный диаметр 206—400 мм, внутренний диаметр 86—140 мм).

С этой же целью выпускаются алмазные штрипсы, представляющие собой стальную ленту, рабочая поверхность которой армирована алмазным порошком (рис. 45).

Алмазные отрезные круги с наружной режущей кромкой диаметром до 300 мм и толщиной 0,12—0,3 мм предназначены для резания минералов, кварцевого стекла, керамики, полупроводниковых и других материалов (рис. 46).

Алмазные надфили на гальванической связке как ручные, так и машинные применяют при различных доводочных операциях. Шероховатость поверхности при этом достигает 9—10-го класса.

Для шлифования различных отверстий малого диаметра используют гальванические алмазные шлифовальные головки диаметром 0,3 мм и выше. Алмазные шлифовальные головки широко применяют для обработки внутренних поверхностей твердосплавных матриц и штампов, колец, приборных подшипников и других изделий.

Алмазные стоматологические инструменты, изготавливаемые толь-



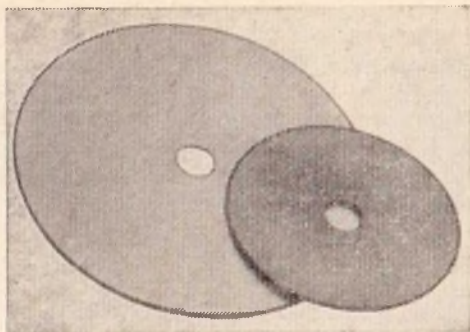


Рис. 46. Алмазные отрезные круги с наружной режущей кромкой

ко на гальванической связке (сепарационные диски, круги и головки), используют при зубопротезировании. Сепарационные диски изготовляют диаметром 16 и 20 мм, толщиной 0,2 мм, круги — диаметром 12 мм толщиной 3 мм. Головки изготовляют различной формы, около 32 типоразмеров (рис. 47).

Перечисленные алмазные инструменты на гальванической связке далеко не исчерпывают всей гаммы инструментов, изготавливаемых гальваническим способом.

Широкое применение гальванического алмазного инструмента и его эксплуатационные показатели обуславливают высокие требования к качеству его изготовления.

В табл. 7 приведены данные, характеризующие пооперационный контроль процесса изготовления и оценки качества алмазного ин-

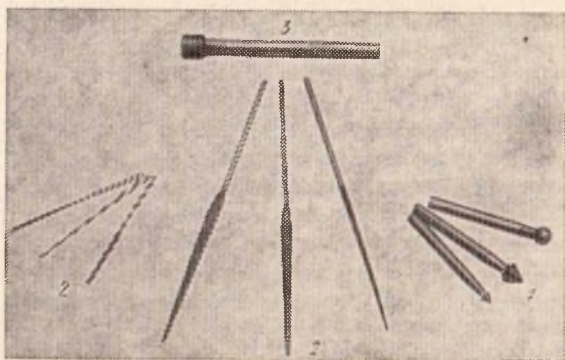


Рис. 47. Малогабаритные инструменты:

1 — алмазные стоматологические головки; 2 — алмазные надфили; 3 — алмазная шлифовальная головка

Таблица 7

Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средство контроля
Входной контроль алмазного порошка	Механическая прочность	Раздавливание отдельных зерен	Прибор мод. ДА-2, установка мод ПА-2М
	Зерновой состав	Оптический	Микроскопы МБУ-4, МБИ-11
	Содержание пластинчатых зерен	Ситовой Оптический	Вибросито Микроскоп МБУ-4
	Влажность	Весовой	Аналитические весы АДВ-200-М, сушильный шкаф
Химическое обезжиривание заготовки корпуса инструмента	Степень смачиваемости	Визуальный	—
	Наличие контакта заготовок с источником тока	Электрический	Ампервольтметр типа Ц-20
Монтаж заготовки корпуса инструмента в приспособление	Качество изолирующего покрытия	Визуальный	—
	Степень смачиваемости	Визуальный	—
Изоляция нерабочих частей заготовок инструмента	Внешний вид	Визуальный	—
	Внешний вид заготовки инструмента	Визуальный	—
Электрохимическое обезжиривание заготовки инструмента	Состояние поверхности заготовки	Визуальный	—
	Толщина связки	Не контролируется	—
Промывка заготовки инструмента	Плотность тока	Электрический	Амперметр
	Температура	Термоэлектрический	Термометр
Химическое травление	Кислотность электролита	Электрический	pH-метр типа 262
	Химический состав электролита	Химический	Набор реактивов, химическая посуда, весы АДВ-200-М
Декапирование	Установка	Устанавливается	Устанавливается плотностью тока и временем процесса
	Толщина связки	Не контролируется	—
Предварительное нанесение гальванической связки на рабочую часть инструмента	Содержание (концентрация) алмазного порошка в инструменте	Не контролируется	—
	Температура электролита	Термоэлектрический	Термометр
Нанесение алмазного порошка	Плотность тока	Электрический	Амперметр
	Кислотность электролита	Электрометрический	pH-метр мод. 262
Закрепление алмазного порошка	Содержание (концентрация) алмазного порошка в инструменте	Не контролируется	—

Операция в соответствии с технологическим процессом	Контролируемый параметр	Метод контроля	Средство контроля
Заращивание алмазного порошка связкой	Температура электролита	Термоэлектрический	Термометр
	Плотность тока	Электрический	Амперметр
Контроль ОТК готового инструмента	Кислотность электролита	Электрометрический	pH-метр мод. 262
	Толщина связки	Не контролируется	—
	Содержание (концентрация) алмазного порошка в инструменте	Не контролируется	—
	Соответствие геометрических параметров инструмента чертежу	Размерный	Универсальные средства измерения
	Степень зарощенности алмазного порошка связкой	Оптический	Микроскоп МБУ-4
	Содержание (концентрация) алмазного порошка	Химический, оптический	Рекуперация, микроскоп МБУ-4
	Прочность сцепления алмазоносного слоя с основной инструмента	Механический	Скальпель, разрывная машина
	Толщина алмазоносного слоя	Не контролируется	—
	Прочность удержания алмазного порошка связкой	Механический	Твердосплавный инструмент
	Работоспособность	Эксплуатационные испытания	Микроскопы, аналитические и технические весы
Ориентация алмазного порошка (алмазных зерен) на рабочей поверхности инструмента	Микроскопический, рентгеноскопический	Микроскопы, рентгеновские установки	
Твердость гальванической связки	Механический	Твердомер типа ТК-2 и другие	

инструмента, изготовляемого гальваническим способом. Из табл. 7 следует, что по аналогии с ранее рассмотренным процессом изготовления инструмента на металлической связке контрольные операции оценки качества гальванического алмазного инструмента можно также разделить на три группы: стандартные методы контроля, специфические и специальные. Однако, учитывая особенности производства и специфику данного вида инструмента, целесообразно разделить контрольные операции следующим образом:

- 1) методы и средства активного контроля и стабилизации (поддержания) параметров процесса изготовления инструмента;
- 2) методы и средства оценки качества готового инструмента.



Для получения алмазонасного слоя необходимой толщины практически достаточно установить и поддерживать постоянными следующие параметры процесса: величину тока, температуру электролита и время электролиза. Возможные изменения остальных факторов: количества (содержание) алмазного порошка в ванне, частоты и режимов размешивания раствора, кислотности электролита и других не оказывают существенного влияния на формирование алмазонасного слоя.

При отсутствии колебаний напряжения во внешней электрической цепи величина установленного в цепи электролиза тока  $I$  может изменяться при колебаниях температуры электролита в ванне. В самом деле,

$$I = \frac{U}{R_{ц}}; \quad R_{ц} = R_1 + R_2,$$

где  $U$  — напряжение на клеммах ванны, В;  $R_{ц}$  — общее сопротивление электрической ванны, Ом;  $R_1$  — сопротивление проводников первого рода (металлических), Ом;  $R_2$  — сопротивление проводников второго рода (электролитических), Ом.

В электрохимии обычно пользуются величиной электропроводности  $q = \frac{1}{R}$ . Повышение температуры на  $1^\circ\text{C}$  увеличивает электропроводимость электролита примерно на 2—2,5%, вследствие уменьшения гидратации ионов и понижения вязкости раствора [58, 64].

Тепловой баланс нарушается за счет потери тепла и отдачи его в окружающую среду, а также при загрузке и выгрузке деталей.

Потери тепла могут вызывать значительные отклонения температуры электролита от заданной величины. Для поддержания постоянной температуры электролита необходимо применение автоматических регуляторов температуры.

Приборы для автоматического регулирования режимов гальванопроцессов обычно контролируют комплекс названных параметров. Внедрение подобных приборов устраняет влияние субъективных факторов на ведение технологического процесса, обеспечивает постоянство количества гальванических покрытий, повышение производительности труда и снижение себестоимости [14, 51].

Автоматическое регулирование кислотности раствора (параметра рН) основано на принципе электрометрии и применяется в основном для никелевых электролитов.

Для автоматического контроля продолжительности электролиза применяют моторные реле времени [20].

При автоматическом регулировании плотности тока осуществляют непрерывное в процессе электролиза определение и стабилизация катодной плотности тока в гальванической ванне [23].

Регулирование катодной плотности тока основано на получении информации о фактической средней плотности тока на деталях. В практике для этого используют следующие способы: по величине тока, по мерному датчику и по методу воспроизведения вольт-амперной характеристики ванны. Для осуществления контроля плотности тока выпускают автоматы плотности тока мод. АПТ-200, АК-3, СПМ-1, УРПГ-1, ПУРП-2 и др.

Однако широкого распространения они не получили по разным причинам. Одни из них не обеспечивают необходимой точности ста-

билизации заданного значения плотности тока, другие сложны в эксплуатации, использование третьих экономически невыгодно.

Серийный выпуск перечисленных автоматов до настоящего времени не налажен.

Для автоматического регулирования и поддержания температуры электролита применяют позиционные регуляторы на основе ртутно-контактных и манометрических термометров и позиционные с датчиком сопротивления [20].

К первой группе относятся регуляторы типа РТК-2, РТ-1М и др., ко второй — регуляторы с медными термометрами в комплексе с мостами типа ЭПМ, ЭМД, МСР-1, МПР, логометром ЛР-53 и т. д. Перечисленные регуляторы в большинстве случаев довольно громоздки, стоимость их относительно высока, особенно при требуемой точности регулирования температуры  $\pm 1^\circ\text{C}$  и выше.

В последние годы появились устройства для регулирования температуры электролита, использующие полупроводниковые терморезисторы (термисторы) в качестве датчиков температуры, например прибор типа 53П для автоматического регулирования температуры [62].

Известные схемы регуляторов температуры на основе термисторов не имеют единой шкалы задатчиков. При необходимости заменить вышедшего из строя датчика температуры следует переградуировать шкалу задатчика, что очень неудобно. Это объясняется тем, что характеристики термисторов имеют разброс в диапазоне  $\pm 20\%$ .

Эти приборы пока не получили широкого распространения из-за сложности электрических схем и отсутствия взаимозаменяемости датчиков температуры.

При нанесении гальваническим способом алмазосодержащего слоя на рабочую поверхность изготавливаемого инструмента проводятся следующие основные операции: монтаж заготовки инструмента на катодном приспособлении; электрохимическое обезжиривание и травление заготовки корпуса инструмента, промывка; закрепление на корпусе алмазного порошка.

Для их осуществления в институте сверхтвердых материалов АН УССР разработан комплекс нестандартного оборудования и технологической оснастки (установки УГИ-1, УГИ-2 и УГИ-3) [56]. При создании этих установок учитывались требования, предъявляемые к оборудованию гальванических цехов и специфические требования к алмазному инструменту.

В настоящее время данные установки успешно эксплуатируются на ряде предприятий страны.

Необходимость стабилизации технологических процессов изготовления алмазного инструмента гальваническим способом обуславливается рядом причин.

1. Применение средств стабилизации и автоматизации изготовления алмазного инструмента обеспечивает существенное снижение трудоемкости работ по изготовлению инструмента и резкое повышение производительности труда.

2. Специфика изготовления гальванического алмазного инструмента предъявляет к процессу высокие требования, выполнение которых при ручном производстве затруднительно. Автоматизация обеспечивает высокую стабильность всех операций технологического процесса и тем самым резко повышает качество инструмента, что в свою очередь приводит к повышению его эксплуатационной надежности.

3. Технологические процессы изготовления алмазного инструмента гальваническим способом связаны с применением токсических и агрессивных веществ, вследствие чего труд рабочих-гальваников является вредным. Стабилизация параметров процесса изготовления алмазного инструмента гальваническим способом при соответствующем его приборном оформлении позволяет значительно улучшить условия труда.

С учетом специфики процесса изготовления алмазного инструмента на гальванической связке (малые объемы ванн, высокие требования к качеству инструмента и др.) во ВНИИАЛМАЗе с использованием стандартных аппаратов и узлов разработаны экспериментальные приборы для установки и стабилизации параметров технологического процесса при изготовлении алмазного инструмента гальваническим способом. Они обеспечивают регулирование величины постоянного тока, установление и фиксацию времени процесса электролиза, автоматическое поддержание температуры электролита в ванне [44].

Алмазный инструмент на гальванической связке с целью определения его качества должен быть подвергнут контролю по следующим основным параметрам: точности формы и размеров; концентрации (содержанию) алмазного зерна в связке; степени зарощенности алмазного зерна связкой; прочности сцепления алмазоносного слоя с основой инструмента; прочности удержания алмазного зерна связкой; толщине алмазоносного слоя; работоспособности инструмента (эксплуатационные испытания); ориентации алмазных зерен на рабочей поверхности инструмента и твердости гальванической связки.

Точность формы и размеров инструментов на гальванической связке контролируют универсальными средствами измерения. При этом очень часто используют микроскопы с окулярными микрометрами, позволяющими проводить измерение размеров бесконтактным методом. Несмотря на малую производительность, этот метод позволяет контролировать такой нежесткий и миниатюрный инструмент, каким являются, например, стоматологические диски и головки.

Одним из важных параметров, влияющих на эксплуатационные свойства, является содержание (концентрация) алмазных зерен на рабочей поверхности инструмента.

Концентрация алмазного зерна в гальваническом алмазном инструменте выражается в настоящее время по аналогии с остальным абразивно-алмазным инструментом, весовым содержанием алмаза в единице объема алмазоносного слоя. Концентрация выражается в условных единицах 50, 100, 150, 200 (за концентрацию 100 принято считать содержание 4,39 карата или 0,878 г алмаза в кубическом сантиметре связки).

Для определения концентрации алмаза можно использовать метод вихревых токов [47], с помощью которого измеряют электропроводность алмазоносного слоя. Этот метод находит широкое применение при определении компонентов в прессованных изделиях, обнаружении дефектов структуры, посторонних включений и т. д., в различных электропроводимых материалах.

Однако алмазный инструмент на электропроводящей связке, изготавливаемый гальваническим способом, имеет специфические особенности. Этот инструмент отличается наличием тонкой металлической основы (обычно стальной), малая толщина алмазоносного слоя, зачастую сложный профиль рабочей поверхности.



Несмотря на то, что алмаз, расположенный в слое металлической связи, заметно изменяет его электропроводность, перечисленные особенности, присущие инструменту на гальванической связи, затрудняют использование при определении содержания в нем алмазных зерен серийно выпускаемых измерителей электропроводности, работа которых основана на использовании метода вихревых токов.

В настоящее время для определения содержания алмазных зерен в инструменте, изготовляемом гальваническим способом, используют оптический способ и способ рекуперации алмазного порошка из слоя связи.

Оптический способ определения концентрации алмазов, содержащихся в 1 см<sup>2</sup> алмазоносного слоя инструмента, основан на подсчете количества зерен этого слоя, изображение которого проектируется на микроскопическую сетку окуляра микроскопа [3, 37].

Для этой цели используют микроскоп МБУ-4 с сеткой окулярной шкалы типа 1-16Н50-50; увеличение микроскопа подбирают в зависимости от зернистости алмазных порошков. Подсчет зерен (частиц) проводят в разных точках, а затем по среднему значению всех измерений рассчитывают фактическое содержание зерен алмаза в 1 см<sup>2</sup> алмазоносного слоя инструмента.

Концентрацию алмазов  $C$  в зависимости от числа зерен, содержащихся в 1 см<sup>2</sup> алмазоносного слоя инструмента, определяют по формуле

$$C = \frac{N_{\Phi}}{N_p} 100,$$

где  $N_p$  — расчетное число зерен, содержащихся в 1 см<sup>2</sup> алмазоносного слоя инструмента при концентрации 100 алмазов для порошка данной зернистости (табл. 8);  $N_{\Phi}$  — фактическое содержание в 1 см<sup>2</sup> алмазоносного слоя инструмента, которое определяют по формуле

$$N_{\Phi} = \frac{N_o}{S_c},$$

где  $N_o$  — число зерен, проектируемых на сетку окуляра;  $S_c$  — площадь сетки окуляра, см<sup>2</sup>.

Таблица 8

Зернистость порошка, мкм	Масса порошка (в каратах) в 1 см <sup>2</sup> поверхности	Число зерен в 1 см <sup>2</sup> поверхности	Зернистость порошка, мкм	Масса порошка (в каратах) в 1 см <sup>2</sup> поверхности	Число зерен в 1 см <sup>2</sup> поверхности
630/500	0,2400	432	63/50	0,0220	35,2 · 10 <sup>3</sup>
500/400	0,1950	624	50/40	0,0190	62,0 · 10 <sup>3</sup>
400/325	0,1500	956	40/28	0,0145	162,0 · 10 <sup>3</sup>
315/250	0,1200	1536	28/20	0,0100	253,0 · 10 <sup>3</sup>
250/200	0,0950	2435	20/14	0,0070	496,0 · 10 <sup>3</sup>
200/160	0,0850	4270	14/10	0,0050	11,0 · 10 <sup>4</sup>
160/125	0,0600	6000	10/7	0,0035	199,0 · 10 <sup>4</sup>
125/100	0,0500	10300	7/5	0,0022	3625,0 · 10 <sup>4</sup>
100/80	0,0400	16,0 · 10 <sup>3</sup>	5/3	0,0017	925,0 · 10 <sup>4</sup>
80/63	0,0250	19,9 · 10 <sup>3</sup>			

Массу  $m$  алмазного порошка на рабочей поверхности инструмента, изготовленного методом гальваностегии, определяют по формуле

$$m = FN_{\phi}S_n,$$

где  $F$  — средняя масса зерна данной зернистости, табл. 9,  $S_n$  — общая площадь алмазного слоя инструмента в  $1 \text{ см}^2$ .

Таблица 9

Зернистость порошка, мкм	Расчетная масса одного зерна, карат	Зернистость порошка, мкм	Расчетная масса одного зерна, карат
630/500	65 · 10 <sup>-5</sup>	63/50	11 · 10 <sup>-7</sup>
500/400	34 · 10 <sup>-5</sup>	50/40	85 · 10 <sup>-8</sup>
400/315	16 · 10 <sup>-5</sup>	40/28	10 · 10 <sup>-8</sup>
315/250	8 · 19 <sup>-5</sup>	28/20	48 · 10 <sup>-9</sup>
250/200	42 · 10 <sup>-6</sup>	20/14	17 · 10 <sup>-9</sup>
200/160	22 · 20 <sup>-6</sup>	14/10	5 · 10 <sup>-9</sup>
160/125	19 · 10 <sup>-6</sup>	10/7	13 · 10 <sup>-10</sup>
125/100	5 · 10 <sup>-6</sup>	7/5	7 · 10 <sup>-10</sup>
100/80	27 · 10 <sup>-7</sup>	5/3	32 · 10 <sup>-10</sup>
80/63	22 · 10 <sup>-7</sup>		

Недостатком описанного способа определения концентрации алмаза является большая трудоемкость и невозможность контролировать содержание алмазных зерен со степенью зарощенности их связкой от 90% и выше, а также контролировать многослойный инструмент. Этот способ может найти применение только для расчета и корректировки режимов технологического процесса изготовления гальванического инструмента, а также для приближенного расчета содержания алмазов в инструменте.

Для подсчета зерен на поверхности алмазного слоя могут быть успешно применены автоматические счетчики частиц, применяемые при анализе порошков, которые подробно описаны в гл. 11.

Способ рекуперации алмаза основан на извлечении алмазных зерен порошка, заключенного в рабочем слое инструмента, при растворении в кислоте связки с последующей промывкой, просушкой и взвешиванием алмазного порошка.

Недостатком способа рекуперации является большая трудоемкость, а также необходимость разрушения инструмента [65]. Он используется для выборочного контроля содержания алмаза с целью корректировки режимов технологического процесса или при арбитражном контроле.

Степень зарощенности алмазного зерна связкой (выступление алмазных зерен из связки) обычно контролируют оптическим способом [3, 9], что связано с большими погрешностями измерения вследствие индивидуальных особенностей контролеров.

Более надежным способом определения степени зарощенности зерен порошка связкой является применение приборов, предназначенных для построения профиля поверхности. При этом может быть использован профилометр-профилограф «Калибр-201», особенно в случае применения алмазных порошков малых зернистостей.

Измерительная головка прибора должна быть оснащена не обычной иглой, а специальным наконечником в виде плоской лопатки. Лезвие наконечника должно быть перпендикулярно направлению движения головки и иметь ширину, не превышающую расстояние между соседними зернами порошка (вопрос о взаимном расположении зерен рассмотрен ниже).

Математическая обработка результатов измерения нескольких профилей поверхности инструмента позволяет очень быстро и с высокой точностью определить степень заросленности зерен алмазного порошка при изготовлении инструмента на гальванической связке.

Прочность сцепления алмазоносного слоя, изготовленного гальваническим способом, с основой инструмента, является одним из главных факторов, определяющих его работоспособность.

Поскольку в процессе резания на рабочие поверхности инструмента действуют значительные усилия, особое значение приобретает наличие прочного сцепления алмазоносного слоя с корпусом инструмента [58].

Существует ряд методов и средств для определения прочности сцепления связки с основой инструмента. Их можно условно разделить на качественные и количественные, прямые и косвенные [45, 49, 59].

К косвенным методам относятся так называемые физические методы (фотометрический, метод измерения поверхностного электросопротивления, метод ударных деформаций, метод тепловых деформаций и т. д.), а также электрохимический метод. Несмотря на то, что применение этих методов позволяет получить приблизительную количественную оценку прочности сцепления по величине измеряемого косвенного параметра, имеется ряд недостатков, ограничивающих возможность применения этих способов при контроле качества алмазного гальванического инструмента.

Основными из этих недостатков являются:

1) отсутствие достаточно надежных переходных коэффициентов, связывающих косвенный параметр с прочностью сцепления связки и основы. Это в большинстве случаев обусловлено сложностью определения переходных коэффициентов в случае композиционного электрохимического покрытия, которым является алмазоносный слой;

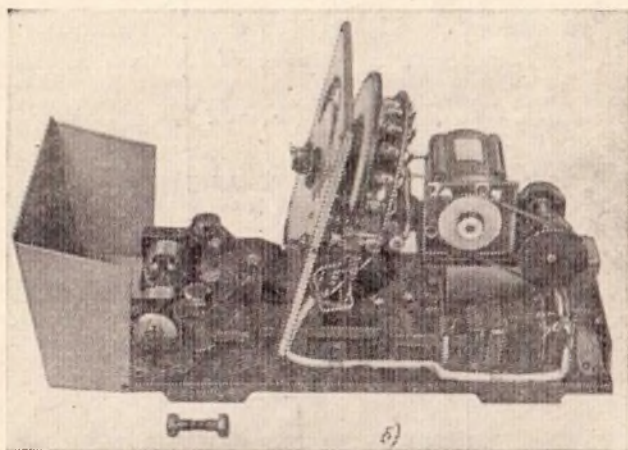
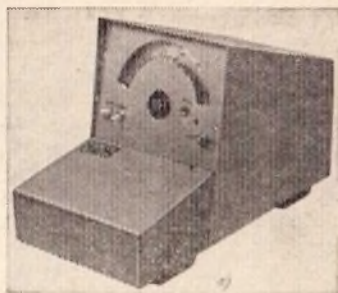
2) большая погрешность измерения, на которую значительное влияние оказывают гранулометрический состав зарощиваемого алмазного порошка, его концентрация, степень заросленности, равномерность распределения и т. п.

В противоположность косвенным методам прямые не требуют определения сложных переходных коэффициентов. К прямым методам измерения прочности сцепления относится группа механических методов, при которых тем или иным способом производят отрыв или сдирание гальванического слоя с основы инструмента.

При использовании количественных методов определения прочности сцепления применяют универсальные разрывные машины, которые из-за больших габаритных размеров и громоздкости нельзя использовать при цеховом контроле качества алмазного инструмента. Изготовление применяемых для этого образцов различными способами [6] представляет большие трудности, так как требует больших затрат ручного труда. При этом часто нарушается гальваническое покрытие вследствие того, что к нему приваривают или припаивают различные пластины, на покрытие наносят сетку цапапин для



Рис. 48. Общий вид прибора:  
а — внешний вид; б — вид со снятым кожухом



придания ему шероховатости и т. д., что значительно искажает результаты измерения.

Для количественного определения прочности сцепления гальванического рабочего слоя алмазного инструмента с основой во ВНИИАЛМАЗе разработан и изготовлен экспериментальный прибор настольного типа [43]. Прибор является малогабаритной ( $420 \times 220 \times 270$  мм, масса 17 кг) разрывной машиной с максимальным усилием разрыва до 300 кгс (рис. 48). Образцы, разрываемые на приборе, представляют собой стержень длиной 45 и диаметром 8 мм с утолщениями на концах диаметром 20 мм для закрепления в захватах прибора. Образец состоит из вспомогательной и основной частей. На торец диаметром 8 мм основной части образца, изготовленного из материала основы алмазного инструмента, наносят в гальванических ваннах рабочий алмазосодержащий слой одновременно с изготовлением проверяемых инструментов. Поверх рабочего слоя гальваническим способом наносят пористый слой меди толщиной 0,1—0,2 мм. После травления и промывки обе части образца (вспо-

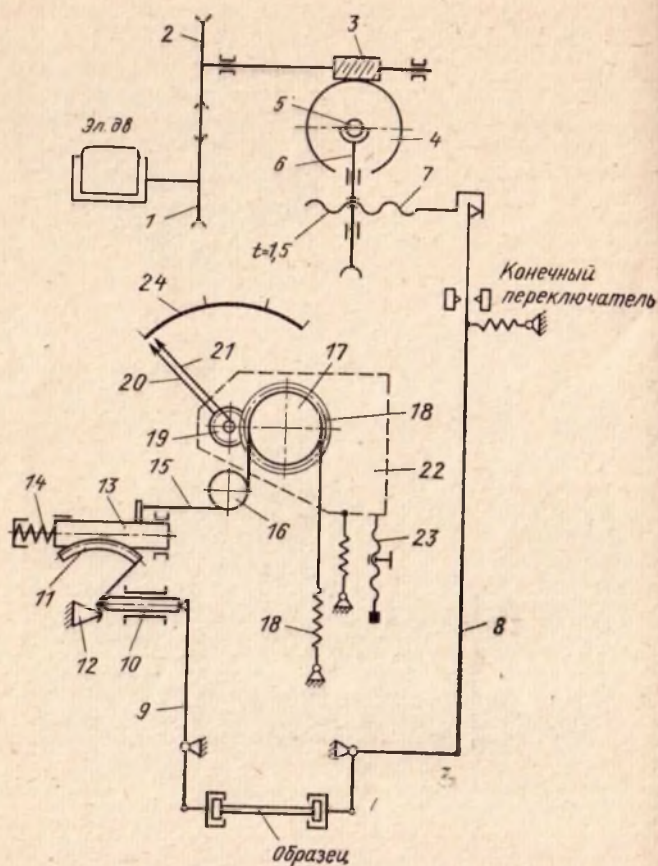


Рис. 49. Кинематическая схема прибора

могательную и содержащую алмазосносный слой) склеивают торцами. Клей состоит из ста частей эпоксидной смолы ЭД-5, десяти частей отвердителя (полиэтиленполиамина) и двух частей пластификатора (дибутилфталата), добавляемого для уменьшения хрупкости клеевого шва. Склеенный образец закрепляют в специальном центрирующем приспособлении и помещают в печь, где выдерживают при температуре 150°C в течение 30 мин. После охлаждения и зачистки клеевого шва образец готов к испытаниям.

Изготовленный описанным способом образец обладает следующими достоинствами: гальванический слой имеет такие же характеристики, как и рабочий слой проверяемого алмазного инструмента; наличие пористого слоя меди не требует создания шероховатой поверхности на гальваническом слое перед склейкой; применение

эпоксидного клея, имеющего прочность на разрыв до 600 кг/см<sup>2</sup>, обеспечивает отрыв гальванического слоя от основы при их недостаточном сцеплении.

Кинематическая схема прибора приведена на рис. 49. Вращение от электродвигателя ( $n=2700$  об/мин) через шкивы 1 и 2 при помощи резинового ремня круглого сечения передается на червяк 3, затем через червячное колесо 4, червяк 5, червячное колесо 6 и винтовую передачу с шагом 1,5 мм преобразуется в поступательное перемещение тяги 7. Тяга 7 перемещает рычаг 8, создавая усилие разрыва на образце. Усилие разрыва передается через рычаг 9 и толкатель 10 на зубчатый сектор 11, представляющий собой рычаг с отношением плеч 1 : 10 и опирающийся на неподвижный упор 12. Сектор 11 находится в зацеплении с рейкой 13, которая при поступательном перемещении сжимает тарированную пружину 14 и натягивает тросик 15, огибающий ролик 16. Тросик 15 закреплен на барабане 17 и постоянно натягивается пружиной. На одной оси с барабаном закреплено зубчатое колесо 18, которое через зубчатое колесо 19 поворачивает показывающую стрелку 20. Стрелка 20 увлекает за собой регистрирующую стрелку 21. При разрыве образца стрелка 20 возвращается в исходное положение, а стрелка 21 остается в положении, которого она достигла при измерении. Зубчатые колеса 18 и 19 с барабаном 17 смонтированы на поворотной плите 22, поворачивающейся вокруг центра зубчатого колеса 19. Вращением винта 23 осуществляется поворот плиты 22; при этом происходит установка на нуль стрелки 20. При достижении рычагом 8 одного из крайних положений срабатывает один из микропереключателей, останавливающих электродвигатель. Шкала прибора 24 имеет цену деления 10 кгс и рассчитана на максимальное усилие 300 кгс. С учетом прочности клевого шва и площади отрыва (при диаметре образца 8 мм площадь равна 0,5 см<sup>2</sup>) это вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к прибору.

При тарировке шкалы прибора применяют образцовый динамометр типа ДОСМ-3-1 системы Токаря.

Электрическая схема прибора приведена на рис. 50. При включении тумблера *ВК1* в положение «Сеть» лампочки *Л1* и *Л9* загораются, сигнализируя о подключении установки к источнику питания; одновременно они освещают шкалу отсчета прибора. При переключении тумблера *ВК2* в положение «Двиг.» напряжение сети при положении тумблера *ВК3* «Разр.» через размыкающие контакты микропереключателя *МП1* поступает на обмотки двигателя *Д*, который через редуктор 1—7 осуществляет перемещение рычага 9 (см. рис. 49). В крайнем положении рычаг 8 нажимает на микропереключатель *МП1* и переключает его. При этом микропереключатель *МП1* разрывает размыкающие контакты, снимая с обмоток двигателя напряжение сети и замыкает замыкающие контакты, включающие лампочку *Л10*, которая загорается и сигнализирует, что перемещение механизмов установки, осуществляющих разрыв, прекратилось. Для возврата механизмов установки в исходное положение необходимо тумблер *ВК3* переключить в положение «Возвр.». При этом питание через размыкающий контакт микропереключателя *МП2* поступает на обмотки двигателя, осуществляя его реверс. Рычаг 8 при возврате в исходное положение нажимает на микропереключатель *МП2*, который разрывает свои размыкающие контакты, отключая обмотку двигателя от сети, и замыкает замыкающие контакты, включающие лампочку *Л11*, сигнализирующую о готовности прибора к работе.



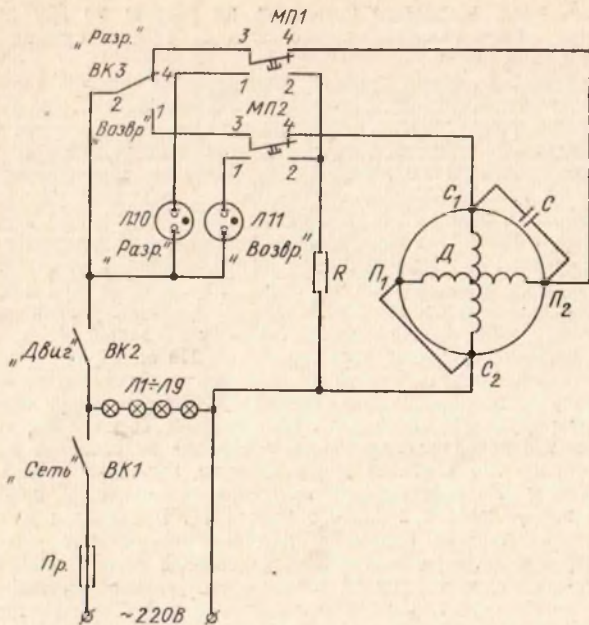


Рис. 50. Электрическая схема прибора

Для определения прочности удержания алмазного зерна гальванической связкой надежных методов приборного контроля не имеется. Прочность удержания зерна связкой определяется формой зерна, развитостью его поверхности, а также адгезией материала связки к алмазу или иному сверхтвердому материалу. При прочном удержании зерна оно не выпадает во время работы из алмазонасного слоя даже при выступании над уровнем связки на высоту, равную 60—80% его размера. Плохое удержание зерна приводит к его выпаданию из связки даже при выступании над ее уровнем, не превышающем 50% высоты зерна. Это приводит к быстрому износу инструмента. Прочность удержания зерна связкой в настоящее время оценивают косвенным путем — по удельному износу инструмента, а также при визуальном осмотре рабочей поверхности инструмента с помощью микроскопа.

Метод прямого измерения прочности удержания зерна в связке заключается в измерении силы, необходимой для вырывания зерна из связки. В этом случае на поверхности инструмента твердосплавным инструментом прорезают паз, глубина и ширина которого определяется зернистостью алмазного порошка. Усилие резания фиксирует самопишущий прибор. Прибор тарируют при резании паза в слое связки без алмазного порошка.

Величина усилия, необходимого для вырывания зерна из связки, в этом случае может быть завышена в несколько раз по сравнению

с истинной. Это объясняется тем, что при прорезании паза, ширина которого во много раз превышает размер зерен порошка, как правило, одновременно вырывается из связки не одно зерно, а несколько. Следовательно, измеренная величина усилия вырыва является суммой величин усилий вырыва отдельных зерен.

Для определения толщины алмазосодержащего слоя гальванического инструмента специальные методы и средства контроля отсутствуют, однако с известным приближением можно использовать методы измерения толщины гальванических покрытий (магнитный, электромагнитный, радиоизотопный, индуктивный, вихревых токов, оптический, спектральный, емкостной, термоэлектрический, ультразвуковой и др.) [16, 84], широко применяемые в современной промышленности.

Работоспособность гальванического алмазного инструмента определяется в процессе эксплуатационных испытаний при обработке различных материалов на разных режимах.

Производительность обработки, шероховатость обработанной поверхности, энергосиловые параметры процесса и температура шлифования во многом зависят от взаимного расположения режущих вершин абразивных зерен и их числа на рабочей поверхности инструмента [50].

В инструментах с произвольным расположением алмазов расстояния между зернами более чем в 4 раза больше размеров смежных зерен. В инструментах с упорядоченным расположением алмазов эти расстояния с достаточной для практических целей точностью можно задавать программой расстановки и регулировать в широких пределах.

Располагая алмазы с заданной равномерностью, можно создать инструмент с равномерно изнашивающейся поверхностью. Это особенно важно для однослойных фасонных инструментов, которые должны сохранять форму профиля рабочей поверхности длительное время, так как правка их невозможна или затруднительна.

В однослойных алмазных инструментах с произвольным расположением зерен число их на единице поверхности и расстояния между ними — величины случайные. В инструментах с произвольным расположением зерен (для порошков зернистости 200/160 мкм) среднее их число на единице рабочей поверхности около 15 шт/мм<sup>2</sup>, а расстояние между ними 0,351 мм.

Располагая зерна по определенному рисунку, можно значительно уменьшить расстояния между ними. Средние расстояния между зернами в алмазосодержащем элементе составляют, например для алмазов САМ — 0,233 мм; АСВ — 0,245 мм (зернистость обеих марок 200/160), т. е. они того же порядка, что и размеры самих зерен.

Реализация заданной равномерности распределения алмазов позволяет сосредоточить зерна в местах алмазосодержащего слоя, подвергающихся наибольшему износу; и, предупредив его неравномерность, позволяет повысить общую стойкость инструмента.

Как показала практика, удельный расход алмазов, силы резания, эффективная мощность, расход электроэнергии и температура шлифования при этом значительно меньше, а качество поверхности и производительность выше, чем при шлифовании с произвольным расположением алмазов.

Контроль расположения зерен может производиться с помощью автоматических счетчиков частиц, описанных выше, а реализация заданной программы расположения зерен по поверхности инструмента — с помощью различных экранов, трафаретов и т. д.

Твердость гальванической связки косвенным образом определяет прочность закрепления зерна в связке, а также определяет величину силы трения связки о поверхность обрабатываемого изделия.

Ориентация алмазных зерен в слое связки имеет большое влияние на режущие свойства инструмента. Это объясняется анизотропией физико-механических свойств (в том числе твердости) кристалла алмаза по разным направлениям кристаллической решетки.

Ориентирование зерен алмазного порошка в производственных условиях при изготовлении инструмента на гальванической связке сейчас, как правило, специально не производят. Оно для значительного числа зерен происходит автоматически под воздействием электрического поля, возникающего в электролите гальванической ванны при прохождении по нему тока.

Контроль ориентации зерен осуществляется с помощью оптических микроскопов или рентгеновских аппаратов лишь при выборочной проверке инструмента.

## 2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНЫХ ПРАВЯЩИХ РОЛИКОВ

Алмазные правящие ролики предназначены для профилирования абразивных червяков, автоматической правки абразивных кругов на операции окончательного шлифования шатунных шеек коленчатых валов, замков турбинных лопаток и других изделий сложной конфигурации. Алмазная правка роликами обеспечивает стабильность геометрической формы и высокое качество обработанной поверхности, что способствует повышению прочности и долговечности изделий.

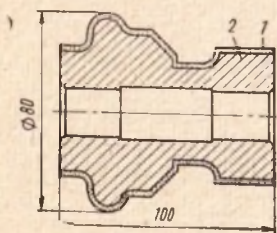


Рис. 51. Фасонный алмазный правящий ролик:

1 — алмазоносный слой;  
2 — корпус

Применение алмазных правящих роликов позволяет автоматизировать процесс правки абразивного круга и создает необходимые условия для полной автоматизации процесса шлифования. Применение алмазных правящих роликов эффективно в условиях массового производства однотипных деталей.

По конструктивному исполнению алмазные правящие ролики изготовляют прямого и фасонного профиля (рис. 51).

Алмазные правящие ролики обычно изготовляют методом гальваностегии.

В последнее время при изготовлении алмазного инструмента (роликов) используют метод плазменного напыления [15].

Метод плазменного напыления является принципиально новым при производстве алмазного инструмента. При этом открываются большие возможности для повышения производительности изготовления инструмента, увеличения его стойкости, повышения размерной точности и снижения удельного расхода алмазов.

Технология изготовления алмазного инструмента плазменным напылением заключается в том, что плакированный алмазный поро-



шок под действием струи плазмы наносится на заготовку, образуя на ней алмазоносный слой.

В соответствии с ГОСТ 16014—70 «Ролики алмазные для правки абразивных кругов» для изготовления алмазоносного слоя ролика применяют алмазы и твердосплавную связку, обеспечивающую удержание алмазов до полного их износа. Алмазоносный слой должен быть прочно соединен с корпусом инструмента. Для изготовления алмазоносного слоя ролика применяют природные алмазы в виде целых кристаллов различного размера с незначительным искажением, имеющие форму ромбододекаэдра, октаэдроида и октаэдра с округлыми ребрами и округлоступенчатые, кроме кубов и незаконномерных сростков.

В зависимости от размера ролика в алмазоносном слое должно быть от 600 до 1540 шт. алмазов.

На рабочей поверхности ролика алмазы располагаются равномерно, по специальным схемам. На рабочей поверхности алмазоносного слоя не должно быть трещин и раковин, видимых невооруженным глазом. Точность изготовления алмазных роликов должна удовлетворять следующим нормам, мм: непараллельность торцовых поверхностей не более 0,02; торцовое биение этих поверхностей относительно оси посадочного отверстия не более 0,02; радиальное биение рабочей поверхности относительно оси посадочного отверстия не более 0,015; овальность и конусность по наружному диаметру не более 0,015.

Алмазные ролики балансируются в динамическом режиме. Величина дисбаланса не должна превышать 0,2 гсм.

Проверку дефектов на поверхности алмазоносного слоя и корпуса ролика производят у каждого ролика визуально путем сравнения с эталоном готовой продукции, утвержденным в установленном порядке.

Геометрические параметры алмазных правящих роликов, такие как высота, диаметр посадочного отверстия, диаметры рабочей поверхности и т. п. контролируют универсальными средствами измерения, которые по точности измерений удовлетворяют техническим требованиям на их изготовление: штангенциркулями, микрометрами, калибрами-пробками и др.

Равномерность расположения алмазов на рабочей поверхности роликов контролируют визуальным осмотром.

Наличие дефектов (трещин, раковин, сколов) на поверхности алмазоносного слоя и корпусе роликов контролируют также визуально. Внутренние дефекты в данном случае не контролируют, что является недостатком, и это в конечном результате может повлиять на качество работы роликов при эксплуатации.

Для контроля внутренних дефектов, очевидно можно было бы использовать различные серийно выпускаемые дефектоскопы, которые широко используются в других областях промышленности.

Торцовое и радиальное биения роликов контролируют контактным способом на оправке посредством индикатора часового типа. Данный способ измерения обладает значительной трудоемкостью и значительными погрешностями, особенно при контроле рабочей абразивной поверхности. Причины появления погрешностей при измерении радиального и торцового биений, пути повышения точности измерений, рекомендуемые методы и более прогрессивные средства измерений данного параметра подробно рассмотрены в п. 2. гл. II.

Методы и средства контроля величины дисбаланса роликов здесь не рассматриваются ввиду того, что данный вопрос также подробно рассмотрен в п. 2 гл. II.

Геометрические параметры профиля фасонного ролика с достаточной степенью точности контролируют оптическим способом на проекторах различных типов и микроскопе УИМ-21.

Обычно в этих случаях используют шаблоны, нанесенные на сетки микроскопов или экраны проекторов. Причем в силу того, что профиль некоторых видов роликов имеет большую протяженность, и не умещается в поле зрения объектива контрольного прибора, его контролируют по частям.

В работе [4] подробно рассмотрен вопрос проведения контроля профиля алмазных фасонных роликов, использующихся при обработке шеек коленчатых валов, по ширине, радиусу галтели и глубине ее поднутрения; проверяют также способность ролика к проведению правки абразивного круга, обеспечивающему достижение шероховатости поверхности обработанной детали не ниже 7-го класса.

Этот контроль осуществляется следующим образом. Алмазный ролик, закрепленный на центральной оправе, устанавливают в центрах круглошлифовального станка, с абразивным кругом диаметром не менее 600 мм. Шлифовальный круг заправляют контролируемым роликом по торцам и радиусу так же, как при обработке коленчатого вала. После правки круга на место ролика устанавливают образец-заготовку из той же стали, что и коленчатый вал. Размеры образца соответствуют размерам шейки вала перед шлифованием. Обработку образца производят при скорости круга 35—40 м/с с поперечной подачей вручную (охлаждение — 1,5%-ный содовый раствор). В результате шлифования на образце образуется профиль, по элементам которого оценивают качество правящего ролика. После контроля качества образец нумеруют и хранят до полного износа ролика.

Описанный метод контроля роликов является наиболее объективным, так как в этом случае учитываются все характеристики работоспособности и точности правящего инструмента.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНОЙ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ШКУРКИ И АЛМАЗНОЙ ПАСТЫ

### 1. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНОЙ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ШКУРКИ

Алмазную шлифовальную шкурку изготавливают на капроновой или металлической основе в виде листов шириной 40 и длиной 250 мм и в виде рулонной ленты шириной от 20 до 100 мм и длиной 1900 мм. Алмазные шлифовальные ленты находят применение при окончательной обработке желобов внутренних колец подшипников и других деталей из труднообрабатываемых материалов и сталей. При этом шероховатость обрабатываемой поверхности в зависимости от зернистости алмазного порошка не грубее 0,020—0,125 мкм.

Алмазные шлифовальные ленты на металлизированной основе изготавливают гальваническим способом, причем процесс аналогичен применяемому при производстве алмазного инструмента на гальванической связке. Шкурку на капроновой основе изготавливают посредством приклеивания алмазного порошка синтетическим клеем на покрытую грунтом капроновую ленту.

При данных методах изготовления алмазной шлифовальной шкурки зерна алмазов занимают случайное, произвольное положение, в результате чего их режущая способность используется не полностью. Как показали исследования, резание производят только 10—17% зерен, а остальные упруго и пластически отжимают обрабатываемый материал или попадают в ранее образовавшиеся риски. Для повышения производительности, уменьшения удельного расхода алмазов, снижения температуры в зоне резания при работе шкуркой желательны, чтобы режущие зерна на ней располагались в определенном порядке.

В связи с этим в настоящее время созданы технологический процесс и оборудование для изготовления шлифовальных алмазных шкурок с упорядоченным расположением зерен [1]. Упорядоченное расположение алмазных зерен предполагает их геометрическую ориентацию и расстановку по заданной программе. Благодаря этому можно изменить углы резания, увеличить число режущих зерен, расположить их на оптимальном расстоянии друг от друга, получить требуемую концентрацию алмазов, обеспечить благоприятные условия подвода смазочно-охлаждающей жидкости и удаления продуктов обработки, уменьшить интенсивность теплового потока.

Согласно техническим условиям к шкурке предъявляют следующие технические требования.

Предельные отклонения ширины алмазной шкурки не должны превышать  $\pm 1$ , а длины  $\pm 2$  мм. На ткани (основе) не допускаются затяжки ниток и морщины в количестве более двух на 1 пог. м дли-



ны ленты. Алмазоносный слой должен быть прочно связан с основой, т. е. его отслаивание не допускается. Зерна алмазного порошка должны быть нанесены ровным слоем на одну из сторон основы. Допускаются следы клея на обратной, непокрытой, стороне основы, при этом площадь каждого следа не должна превышать 5 мм<sup>2</sup>. Допустимые отклонения по толщине алмазной шкурки не должны превышать в зависимости от ее номинальной толщины  $\pm 0,1$ —0,5 мм. Средняя масса алмазного порошка в каратах на 1 см<sup>2</sup> рабочей поверхности шкурки в зависимости от зернистости алмазного порошка должна находиться в пределах 0,020—0,082. На 100 мм<sup>2</sup> рабочей поверхности шкурки не допускается более трех оголенных участков (без зерен алмазного порошка), при этом площадь каждого из них не должна превышать 2 мм<sup>2</sup>. Морщины, складки, поврежденные кромки на рабочей поверхности шкурки не допускаются. Шкурка должна быть эластичной, маслостойкой и не ломаться при изгибах.

В соответствии с действующими ТУ на изготовление алмазной шкурки основные геометрические размеры контролируют универсальными средствами измерения, обеспечивающими необходимую точность измерения.

Равномерность распределения алмазных зерен порошка на рабочей поверхности шкурки контролируют посредством визуального осмотра через 10-кратную лупу.

Контроль отслаивания алмазоносного слоя от основы и равномерности нанесения алмазного порошка проводят визуально.

Проверку эластичности шкурки производят выборочно. Контролю подвергают не менее 10% выпускаемых шкурок. Эластичность шкурки контролируют при огибании ее вокруг цилиндров. Цилиндры в зависимости от зернистости алмазных порошков, применяемых при изготовлении шкурки, имеют радиус в пределах 2—8 мм.

Вследствие хаотического расположения алмазных зерен порошка на ленте не удается с достаточной точностью измерять толщину алмазоносного слоя.

Контроль износостойкости шкурки проводят с учетом того, что она в основном применяется на операциях окончательной обработки дорожек качания колец подшипников на станках типа ГЭБН-33 или на других однотипных станках. Обработке при определении износостойкости шкурки подвергаются дорожки качения колец подшипников типа 307/02. Обработываемый материал — сталь ШХ15 (НРС 62—64).

Съем металла и шероховатость поверхности дорожки после обработки в зависимости от зернистости алмазного порошка в шкурке должна соответствовать данным, приведенным в табл. 10.

Исходная шероховатость обрабатываемой поверхности 0,320—0,100 мкм. Режимы обработки кольца подшипника следующие: частота вращения кольца 3000 об/мин; число двойных качаний бруска в мин 800; усилие  $P$  на брусок 16 кгс; время обработки 30 с; охлаждающая жидкость — веретенное масло с добавлением 4% олеиновой кислоты.

При рекомендуемых режимах алмазная шкурка должна работать одним и тем же местом не менее 4 мин до полного прекращения съема металла.

Анализируя применяемые методы и средства пооперационного контроля при изготовлении алмазной шлифовальной шкурки, следует обратить внимание на то, что некоторые основные параметры

контролируются с недостаточной степенью точности и малопроизводительными средствами измерения, а иногда и совсем не контролируются.

Таблица 10

Зернистость алмазного порошка, мкм	Средний съем в середине желоба за 30 с, мкм	Шероховатость поверхности Ra, мкм
100/80	20	0,125—0,100
80/63	18	0,100—0,080
63/50	16	0,100—0,063
50/40	15	0,080—0,040
60/40	14	
40/28	13	
28/20	13	
20/14	12	
14/10	10	
10/7	8	0,040—0,020
7/5	5	
5/3	2	
3/2	2	

Таковыми параметрами являются: толщина слоя аппрета, толщина слоя клея, температура сушки аппрета, равномерность распределения алмазного порошка, толщина алмазонасного слоя.

Для контроля и измерения некоторых параметров алмазной шлифовальной шкурки можно было бы использовать некоторые более прогрессивные методы и средства измерения, которые используются в других областях промышленности. Например, толщину слоев аппрета и клея можно измерять емкостными, радиоактивными, индуктивными и токовихревыми датчиками и др. [13, 60].

Для измерения толщины слоев клея, аппрета и зерна в отечественной и зарубежной практике широко применяют радиоизотопный метод. В основу этого метода положен принцип измерения ослабления интенсивности радиоактивного излучения исследуемой средой. Данный метод обладает рядом серьезных преимуществ перед другими методами измерения, например фотоэлектрическим, емкостным, пневматическим.

Толщину слоев клея, аппрета и зерна измеряют следующим образом. Измеряют толщину основы (бумаги, ткани), после чего производят измерение основы, покрытой аппретом. По разности измерений вычисляют толщину покрытия. Аналогично поступают при нанесении следующих компонентов (первого слоя клея, зерна и второго слоя клея).

При измерении толщины слоев в процессе аппретирования ткани и изготовления шлифовальной шкурки важно получать значения этих величин по всей длине и ширине движущегося материала. Это достигается путем непрерывного пассивного сканирования параметрического поля.

Сканирующие устройства представляют собой две пары направляющих, жестко укрепленных относительно друг друга поперек движения ленты. На направляющих установлены каретки, на которых крепят источник и детектор радиоактивного излучения таким образом, чтобы измеряемый материал свободно проходил между

ними. Каретки синхронно перемещаются по направляющим с помощью ходовых винтов, приводимых во вращение электродвигателем.

С учетом всех ошибок, общая приведенная погрешность измерения толщины слоев аппрета, клея и зерна достигает  $\pm 5-10\%$ .

Температуру сушки аппрета контролируют датчиками температуры [63].

При определении равномерности расположения алмазных зерен в готовых шкурках с успехом можно использовать профилографы-профилометры. Для контроля равномерности нанесения алмаза на клей и для корректирования режимов этой операции можно использовать явление люминесценции алмаза в рентгеновских лучах.

При облучении шкурки рентгеновскими лучами яркость свечения алмазоносного слоя пропорциональна количеству зерен алмазного порошка на единице поверхности.

По силе свечения посредством фотодатчиков можно корректировать напряженность электростатического поля и тем самым количество алмаза, наносимого на основу шкурки. Подобные регуляторы плотности насыпки абразива используют в абразивной промышленности [63], только в них применяют контактный способ определения толщины абразивного слоя шкурки.

Плотность насыпки алмазного порошка можно также корректировать скоростью перемещения основы шкурки в электростатической камере, или же изменением расстояния между электродами. В существующих установках для производства абразивной шкурки одновременно используют оба эти способа.

## 2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АЛМАЗНОЙ ПАСТЫ

Алмазные пасты применяют для притирки, доводки и полирования изделий из твердых сплавов, сталей различных марок и неметаллических материалов (стекла, керамики, рубина и т. д.). Алмазные пасты изготавливают из синтетических и природных алмазов с размером зерна от 0,5 до 60 мкм. По консистенции алмазные пасты делят на твердые и мазеобразные.

В соответствии с зернистостью примененного порошка алмазные пасты окрашиваются в различные цвета, что технологически удобно при изготовлении и эксплуатации (мелкозернистые пасты не засоряются крупнозернистыми). Кроме того, изменение окраски пасты при работе может служить признаком ухудшения режущей способности.

В зависимости от природы обрабатываемого материала применяют пасты на жировой, водоразбавляемой и универсальной основах.

Применение алмазных паст обеспечивает увеличение производительности обработки в 2—5 раз по сравнению с абразивными пастами и получение поверхности высокого качества (12—14-го классов шероховатости с минимальным дефектным слоем).

Технологический процесс изготовления алмазных паст включает следующие основные операции. Первоначально производят разогрев твердых компонентов основы алмазных паст в чашках на обогревательных плитах. После разогрева и перехода в жидкое состояние компоненты фильтруют посредством пропускания их через мелкоячеичную сетку или бязь. Затем приготавливают алмазную суспензию. Для этого перемешивают в фарфоровой посуде алмазный порошок с жидкими компонентами основы. Перемешанную алмазную пасту



подвергают варке для образования гомогенизированной структуры, затем охлаждают и в процессе ее охлаждения непрерывно механически перемешивают. По мере остывания алмазной пасты ее развешивают (дозируют) на весах или специальных дозирующих машинах и закладывают в алюминиевые или пластмассовые тубы или другие емкости, которые затем герметически закрывают. Готовые тубы после маркировки упаковывают в соответствующую тару.

Для оценки качества готовая алмазная паста в соответствии с ГОСТ 16877—71 «Пасты алмазные» должна быть подвергнута испытаниям на соответствие техническим требованиям ее консистенции, абразивной способности и шероховатости обработанной пастами поверхности.

Для определения консистенции определяют пенетрацию (числа проницаемости) пасты, которая характеризует вязкость, упругость, растекаемость и другие свойства алмазных паст.

Контроль пенетрации алмазной пасты заключается в следующем. Пробу мажеобразной алмазной пасты, отобранную для испытаний помещают в емкость так, чтобы она заполнила весь объем емкости и выдерживают ее там при температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  в течение 15 мин. Затем емкость с пастой устанавливают на столике пенетрометра марки ЛП-1. Плунжер пенетрометра, в который вставлен конус высотой 45 мм и диаметром 38 мм, устанавливают над уровнем пасты на высоте 30—35 мм. После этого конус доводят до касания с пастой и нажимом кнопки прибора позволяют конусу в течение 5 с погружаться в пасту. По истечении этого времени конус поднимают и фиксируют показание стрелки циферблата прибора, шкала которого протарирована в единицах, определяющих консистенцию.

Для более точного измерения производят по три замера консистенции мажеобразной пасты одной партии с интервалом между измерениями в 15 мин. Твердые пасты в виде бруска также испытывают на этом приборе, но вместо конуса используют иглу. Пенетрацию в этом случае измеряют в разных точках бруска пасты.

Абразивную способность паст определяют при обработке твердого сплава ВК6 на установке УАС-2М конструкции Института сверхтвердых материалов АН УССР.

Установка имеет вращающийся притир, поверхность которого предварительно шлифуют алмазным кругом до шероховатости не ниже 9-го класса.

Три образца твердого сплава прикрепляют на равном расстоянии друг от друга на металлическом блоке, расположенном в обойме установки, перемещающей их при испытании по притиру.

Перед испытаниями предварительно притирают поверхности образцов к притиру. Для этого используют алмазный порошок зернистости 40/28 мкм в смеси с индустриальным маслом. После притирки поверхности образцов и притира промывают бензином.

При определении абразивной способности навеску пасты массой  $0,1 \pm 0,001$  г помещают на середину притира и добавляют к ней 10 капель разбавителя (дистиллированной воды или индустриального масла).

Обработка образцов пастой ведется в течение 30 мин. Время обработки устанавливает реле времени.

Абразивная способность пасты определяется массой снятого при обработке твердого сплава. Из-за малой абразивной способно-

сти пасты зернистости 3/2, 2/1, 1/0 мкм этому виду контроля не подвергают.

Испытания алмазных паст на шероховатость обработанной ими поверхности проводят также на установке УАС-2М. Для этого три образца из твердого сплава марки Т15К6 или ВК6 приклеивают по краю плоскости металлического блока установки на равном расстоянии друг от друга. Затем предварительно с помощью алмазного порошка притирают рабочую поверхность образцов к притиру. Зернистость алмазного порошка выбирают с расчетом, чтобы притертая поверхность твердосплавных образцов была на один класс шероховатости грубее, чем поверхности твердого сплава, доведенные испытываемой пастой.

Например, при обработке пластины твердого сплава ВК6 пастой зернистости 28/20 мкм поверхность должна иметь шероховатость не ниже 10а класса. Следовательно, исходная шероховатость образцов после притирки должна быть не ниже 9-го класса. После притирки и промывки поверхности образцов бензином поверхность притира обрабатывают пастами из карбида кремния зеленого или электрокорунда с целью снятия с него поверхностного слоя, на шаржированного алмазными зернами порошка.

В зависимости от зернистости алмаза, на притир помещают навеску пасты массой 0,002—0,004 г и разбавляют ее одной—тремя каплями дистиллированной воды или очищенного керосина. Затем пасту равномерно размазывают по поверхности притира.

Механическую доводку образцов ведут 5 или 2 мин — в соответствии с зернистостью пасты. Обработанные образцы и притир протирают бензином. Затем шероховатость поверхности образца и притира грубее 9-го класса измеряют на двойном микроскопе Линника МИС-11, а шероховатость выше 9-го класса на микроинтерферометре МИИ-4 или профилографе-профилометре с радиусом закругления иглы не более 2 мкм.

Таким образом, окончательный контроль алмазной пасты, хотя производится малопроизводительными методами, но достаточно объективен и охватывает все основные качества, влияющие на эксплуатационные свойства паст.

Иное дело с межоперационным контролем. Особенно плохо осуществляется контроль степени перемешивания компонентов паст. В этом случае качество пасты целиком и полностью зависит от квалификации рабочего, так как эта контрольная операция осуществляется органолептическим методом.

Подобное положение с межоперационным контролем при производстве алмазных паст существует и за рубежом.

В какой-то мере это можно объяснить тем, что производство паст в капиталистических странах рассредоточено между небольшими фирмами.

На отечественных заводах, где выпуск паст организован в очень больших объемах, в настоящее время делаются попытки механизации производства и разработки объективных методов контроля и средств измерения, позволяющих вести экспрессный контроль качества выполнения отдельных операций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Алмазные инструменты с упорядоченным расположением зерен / Е. С. Виксман, М. М. Жук, Б. Е. Спивак, Д. Н. Шнайдер. В кн.: Синтетические алмазы, Киев, Наукова думка, 1972, вып. 1, с. 13—15.
2. Алмазные резцы для обработки дисков магнитной памяти электронно-вычислительных машин / М. М. Иоффе, М. А. Озерова, Э. В. Крысин, В. Е. Гречишников. В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы, М., НИИМАШ, вып. 6, 1974, с. 7—8.
3. Бондарев И. А., Старовойтов Е. И. Определение концентрации алмазов в алмазосносном слое инструмента, изготовленного методом гальваностегии. В кн.: Алмазы, М., НИИМАШ, вып. 6, 1970, с. 12—13.
4. Бунтов В. Н. и др. Алмазный фасонный ролик для правки кругов при шлифовании шеек коленчатых валов / В. Н. Бунтов, С. Г. Волченко, Ю. А. Юдин. В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы, М., НИИМАШ, 1976, вып. 1, с. 7—9.
5. Бутусов И. В., Рыбицкий В. А. Автоматическое устройство для измерения износа алмазно-абразивного инструмента. В кн.: Синтетические алмазы. Киев, Наукова думка, вып. 2, 1975, с. 64—67.
6. Ваграмян А. Т., Соловьева З. А. Методы исследования электроосаждения металлов. М., Машгиз, 1960. 169 с.
7. Вайнер Я. В., Дасаян М. А. Технология электрохимических покрытий. М—Л, Машгиз, 1962. 468 с.
8. Волков С. А., Субботин Е. К. Расчет основных параметров алмазных буровых импрегнированных коронок. В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы. М., НИИМАШ, 1976, вып. 5, с. 12—13.
9. Волкова Т. М., Бура С. Т. Методы контроля расположения алмазов в связке. — В кн.: Измерительная техника. М., Изд-во стандартов, 1972, вып. 1, с. 43—44.
10. Городинский Г. М., Клиентов Ю. Н. Спектрофотометрический метод и прибор для оценки шероховатости полированных алмазов. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы, М., НИИМАШ, 1974, вып. 4, с. 22—23.
11. Дадунашвили А. С. Новые разработки СКБ Проектприбор в области измерения влажности твердых материалов. — В кн.: Приборы и системы управления, М., Машиностроение, 1974, вып. 9, с. 17—19.
12. Дифракционный контроль волок малых диаметров / М. А. Барт, А. В. Тараненко, С. В. Фельдман, А. А. Ханонкин. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы, М., НИИМАШ, 1976, вып. 7, с. 21—24.



13. Дорощев А. Л. и др. Индуктивная толщинометрия / А. Л. Дорощев, А. И. Никитин, А. Л. Рубин. М., Энергия, 1969. 152 с.
14. Друченко В. А., Павловская К. К. Устройство для автоматизации и регулирования процессов нанесения гальванических покрытий. Киев, Институт технической информации, 1963, 8 с.
15. Изготовление алмазного инструмента плазменным напылением / И. Е. Фрагин, И. М. Вайстух, Ю. Ф. Демин, В. Т. Слепуха. — В кн.: Синтетические алмазы. Киев, Наукова думка, 1971, вып. 4, с. 20—23.
16. Измерение толщины тонких пленок и покрытий. Обзор № 7 по материалам отечественной и зарубежной печати за 1958—65 гг. М., 1966, 113 с.
17. Исследование прочностных свойств синтетических алмазов АСПК и АСБ / Л. Ф. Верещагин, А. П. Довбня, Ю. С. Коняев и др. — В кн.: Алмазы, М., НИИМАШ, 1971, вып. 12, с. 1—3.
18. Казаков Н. Ф. Радиоактивные изотопы в исследовании износа режущего инструмента. М., Машгиз, 1960. 328 с.
19. Калинин В. Д., Вобликов В. С. Устройство для определения ударной прочности алмазов. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы. М., НИИМАШ, 1976, вып. 7, с. 19—21.
20. Калугин Ю. Н., Отрадно Е. Ф. Устройство для автоматического регулирования гальванических процессов. М., Энергия, 1968, вып. 1, 107 с.
21. Каминский М. Е. Алмазные инструменты из кристаллов алмаза. Производство и применение алмазного инструмента. М., Машиностроение, 1976. 34 с.
22. Колесник Н. В. Статическая и динамическая балансировка. М—Л., Машгиз, 1954. 328 с.
23. Короленко Н. К. Источники и регулирование тока в цехах электрохимической обработки металлов. М., Машиностроение, 1964. 245 с.
24. Кузнецов А. М., Голосов И. П. Пневматический прибор для измерения износа алмазных кругов. — В кн.: Алмазы, М., НИИМАШ, 1971, вып. 7, с. 18—19.
25. Либерман З. М. Фотонимпульсный метод определения дисперсного состава порошков и аэрозолей. — В кн.: Автоматизация производства строительных материалов. М., Госстройиздат, 1967, вып. 1, с. 17—19.
26. Лоди М. Н., Осмоловская Е. П. Дифракционные лазерные схемы для измерения малых объектов. «Измерительная техника». М., Изд-во стандартов, 1975, вып. 7, с. 27—29.
27. Львов и др. Влияние волнистости кругов на определение величины их износа линейным методом при наружном круглом шлифовании / В. Н. Львов, В. Н. Ряховский, Ю. А. Балашов. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы. М., НИИМАШ, 1976, вып. 9, с. 9—11.
28. Маликов Ж. Г., Семерчан А. А. Контроль качества сверхтвердых материалов без разрушения. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы, М., НИИМАШ, 1975, вып. 7, с. 5—6.
29. Маслов Е. Н., Лобачев В. А. Измерение износа круга оптическим способом. — В кн.: Алмазы. М., НИИМАШ, 1971, вып. 9, с. 19—21.
30. Маханов А. М. Устройство для измерения износа алмазного круга без снятия его со станка. — В кн.: Передовой научно-техни-

ческий производственный опыт, М., ГОСИНТИ, 1967, № 6—67—98/22, с. 12—14.

31. **Методы неразрушающих испытаний.** Под ред. Р. Шарпа. М., Мир, 1972. 494 с.
32. **Методика испытания однокристалльного алмазного карандаша на стойкость** / Х. Г. Тхагапсоев, Б. С. Хапачев, А. А. Гоов, В. Ш. Хажуев. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы, М., НИИМАШ, 1976, вып. 5, с. 5—7.
33. **Микроскопы** / Г. Е. Скворцов, В. А. Панов, Н. И. Поляков, Л. А. Федин. Л., Машиностроение, 1969. 512 с.
34. **Митрофанов С. И.** Исследование полезных ископаемых на обогатимость. М., Госгортехиздат, 1962. 508 с.
35. **Мухин М. Е.** и др. Влияние концентрации алмазов САМ в матрице на работоспособность коронки / М. Е. Мухин, М. Ф. Ярмак, В. В. Попов. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы. М., НИИМАШ, 1975, вып. 8, с. 7—8.
36. **Надеинская Е. П.** Исследование износа режущего инструмента с помощью радиоактивных изотопов. М., Машгиз, 1955. 162 с.
37. **Неразрушающие методы контроля материалов и изделий.** Сб. статей. Под ред. С. Т. Назарова. М., ОНТИПРИБОР, 1964. 516 с.
38. **Новые разработки ВНИИАП** в области измерения влажности твердых материалов / М. В. Венедиктов, В. В. Масловский, Е. И. Тихомиров, В. П. Пашинский. — В кн.: Приборы и системы управления. М., Машиностроение, 1974, вып. 9, с. 18—23.
39. **Островский В. И.** Бесконтактное устройство для измерения износа абразивных кругов. — В кн.: Абразивы и алмазы, М., НИИМАШ, 1966, вып. 4, с. 15—16.
40. **Пивоваров М. С.** Размерная однородность и эксплуатационные свойства алмазных порошков. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы. М., НИИМАШ, 1976, вып. 1, с. 5—6.
41. **Пилинский В. И., Николаев С. В.** Точность статического балансирования шлифовальных кругов — Вестник машиностроения. М., Машиностроение, 1974, вып. 8, с. 13—16.
42. **Постников В. И.** Исследование износа режущего инструмента с помощью радиоактивных изотопов. М., Машгиз, 1956. 117 с.
43. **Прибор для определения прочности сцепления алмазного слоя с корпусом инструмента** / В. Ф. Суругин, В. Г. Даревский, О. А. Цветков, А. Я. Антонов. — В кн.: Алмазы. М., НИИМАШ, 1971, вып. 12, с. 18—21.
44. **Прибор для стабилизации параметров технологического процесса при изготовлении алмазного инструмента гальваническим способом** / В. Ф. Суругин, В. Г. Даревский, А. Я. Антонов, Г. Д. Бурдуи. — В кн.: Алмазы. М., НИИМАШ, 1971, вып. 3, с. 25—28.
45. **Прудников Е. Л., Фадеев В. Ф.** Прочность сцепления алмазно-гальванических покрытий с основой. — В кн.: Синтетические алмазы. Киев, Наукова думка, 1975, вып. 5, с. 20—22.
46. **Рохлина Т. М.** Усовершенствование фотоэлектрического прибора для гранулометрического анализа порошков. — В кн.: Алмазы. М., НИИМАШ, 1968, вып. 4, с. 21—22.
47. **Сафронов В. Г., Давитидзе А. Д.** Контроль качества абразивно-алмазного инструмента путем измерения электропроводности. — В кн.: Алмазы. М., НИИМАШ, 1972, вып. 6, с. 13—15.
48. **Сила-Новицкий Г. Ю.** Неразрушающие магнитные методы измерения толщины покрытий. Дефектоскопия металла. М., Машиностроение, 1969. 328с.

49. **Современные методы контроля свойств гальванических покрытий.** Сб. статей. М., Машиностроение, 1966, 342 с.
50. **Сливак Б. Е.** Определение количества алмазов и расстояний между ними в однослойных алмазных инструментах с упорядоченным расположением зерен. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы. М., НИИМАШ, 1975, вып. 9, с. 6—8.
51. **Спиваков Я. И.** Новые методы автоматизации режимов гальванопокрытий. М., Машиностроение, 1966, 40 с.
52. **Способ измерения износа алмазных и абразивных кругов в процессе шлифования.** Авт. свид. № 26618. «Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки». 1970, № 11 / Авт. В. Ф. Суругин, В. Г. Даревский, Р. З. Цыпкин, В. А. Федотов.
53. **Теория и практическая реализация массопереносных методов определения влагосодержания /** М. В. Венедиктов, В. Л. Татлевский, А. Н. Сочин, Э. А. Издебский. — В кн. Приборы и системы управления. М., Машиностроение, 1974, вып. 10, с. 25—31.
54. **Третьяков И. Л., Абидов Р.** Устройство для определения механической прочности алмазно-абразивных зерен. — В кн.: Алмазы. М., НИИМАШ, 1968, вып. 3, с. 10—12.
55. **Ускоренный метод определения износостойкости алмазных шлифовальных кругов /** Н. А. Колчманов, Л. Ц. Островская, В. П. Белоусов, Л. К. Синьковский. — В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы. М., НИИМАШ, 1976, вып. 1, с. 14—16.
56. **Установки для изготовления алмазного инструмента гальваническим методом /** Е. Л. Прудников, П. Л. Каплин, В. С. Мендельсон, О. А. Кыбыш. — В кн.: Синтетические алмазы. Киев Наукова думка, 1976, вып. 3, с. 47—51.
57. **Устройство для измерения величины износа алмазного круга /** Р. З. Цыпкин, В. Ф. Суругин, В. Г. Даревский, Г. Д. Бурдун. — Алмазы. М., НИИМАШ, 1971, вып. 2, с. 28—32.
58. **Федотьев Н. П., Алабышев А. Ф.** Прикладная электрохимия. Л., Госхимиздат, 1962. 638 с.
59. **Федотьев Н. П., Вячеславов П. М.** Количественный способ определения прочности сцепления гальванического покрытия с основой. — В кн.: Новые достижения отечественной гальваностегии. М., Машиностроение, 1976, часть 1, с. 27—29.
60. **Форейт И.** Емкостные датчики неэлектрических величин. М—Л., Энергия, 1966. 160 с.
61. **Цыпкин Р. З., Кангун В. Р.** Сверление отверстий алмазными перфорированными сверлами. — В кн.: Алмазы. М., НИИМАШ, 1973, вып. 2, с. 8—11.
62. **Шорников Е. А.** Электронные приборы для контроля автоматического регулирования температуры. М., Энергия, 1965. 117с.
63. **Электроника и автоматика в абразивной промышленности /** Б. А. Глаговский, Г. И. Завалишин, А. Л. Хаит. Л., Машиностроение, 1972. 208 с.
64. **Яковлев Т. В., Рыстенко А. Т.** Краткий справочник по гальваническим покрытиям. М—К, Машиностроение, 1963. 234 с.
65. **Djckotuk P., Reno G.** Technique of diamond powder recuperation. — Industrial Diamond Review, 1955, N 180, pp. 57—62.
66. **Hug F.** The optical method for measuring the diamond wheel wear. — Industrial Diamond Review, 1967, N 7, pp. 45—48.
67. **Photosedimentometer** — a rapid method of particle size analysis. — Industrial Diamond Review, 1971, N 7, p. 115.



Введение . . . . .	3
<b>ГЛАВА I. Контроль качества монокристалльного алмазного инструмента . . . . .</b>	<b>5</b>
1. Контроль качества алмазных резцов . . . . .	5
2. Контроль качества алмазных волок . . . . .	12
3. Контроль качества алмазных наконечников и игл . . . . .	23
4. Контроль качества алмазных правящих инструментов (карандаши, алмазы в оправках, гребенки) . . . . .	27
5. Контроль качества алмазных выглаживателей . . . . .	31
6. Контроль качества алмазных стеклорезов и сверл . . . . .	33
<b>ГЛАВА II. Контроль качества алмазно-абразивного инструмента на металлической связке . . . . .</b>	<b>36</b>
1. Операционный и межоперационный контроль при изготовлении инструмента . . . . .	36
2. Контроль качества алмазных кругов на металлической связке . . . . .	56
3. Контроль качества алмазных брусков на металлической связке . . . . .	77
4. Контроль качества буровых коронок . . . . .	81
5. Контроль качества алмазных штрипсов, применяемых при обработке камня . . . . .	83
<b>ГЛАВА III. Контроль качества алмазно-абразивного инструмента на органических связках . . . . .</b>	<b>85</b>
<b>ГЛАВА IV. Контроль качества алмазного инструмента на гальванической связке . . . . .</b>	<b>90</b>
1. Операционный и межоперационный контроль при изготовлении алмазного инструмента на гальванической связке . . . . .	90
2. Контроль качества алмазных правящих роликов . . . . .	106
<b>ГЛАВА V. Контроль качества алмазной шлифовальной шкурки и алмазной пасты . . . . .</b>	<b>109</b>
1. Контроль качества алмазной шлифовальной шкурки . . . . .	109
2. Контроль качества алмазной пасты . . . . .	112
Список литературы . . . . .	115

ИБ № 1608

*Григорий Дмитриевич Бурдун,  
Владимир Федорович Суругин,  
Владимир Геселевич Даревский*

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Редактор *Л. К. Тучкова*  
Технический редактор *В. И. Орешкина*  
Корректор *О. Е. Мишина*  
Обложка художника *В. И. Столярова*

---

Сдано в набор 28.06.78. Подписано к печати 10.01.79. Т-01014 Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>.  
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл.-печ. л. 6,3 Уч.-изд. л. 8,95 Тираж 5400 экз. Заказ № 1118. Цена 45 к.

---

Издательство Машиностроение, 107885, Москва, ГСП-6, 1-й Басманный пер., 3.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома Государственного  
комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

аН 7

45 коп.



«МАШИНОСТРОЕНИЕ»