

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Д. Б. Шатько

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНТРОЛЯ
И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОДУКЦИИ**

**Методические указания к практическим занятиям
для студентов группы МРм-131**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
подготовки 220700.68 «Автоматизация технологических
процессов и производств» в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2013

Рецензенты:

Короткова Л. П. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии металлов

Полетаев В. А. – д.т.н., профессор, председатель учебно-методической комиссии направления 220700.68 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Шатько Дмитрий Борисович.

Теоретические основы контроля и управление качеством и экологичностью продукции: методические указания к практическим занятиям [Электронный ресурс] для студентов направления подготовки магистров 220700.68 «Автоматизация технологических процессов и производств» очной формы обучения / Д. Б. Шатько. – Электрон. дан. – Кемерово : КузГТУ 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; зв. ; цв. ; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб; Windows 95 (CD-ROM-дисковод) ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены условия, правила и этапы проведения практических занятий, контрольные вопросы и список литературы.

Содержание методических указаний соответствует учебному плану и рабочей программе по курсу «Теоретические основы контроля и управление качеством и экологичностью продукции» для студентов направления 220700.68 «Автоматизация технологических процессов и производств».

© КузГТУ, 2013

© Шатько Д. Б., 2013

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

КОНТРОЛЬ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- ознакомление с одним из показателей качества шлифовальных кругов – уравновешенностью;
- изучение причин, вызывающих неуравновешенность шлифовальных кругов;
- изучение методик оценки неуравновешенности кругов;
- изучение методов балансировки шлифовальных кругов;
- изучение методов правки кругов и видов правящего инструмента;
- расчет численных значений частных неуравновешенных масс и суммарной неуравновешенности круга.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Причины неуравновешенности кругов

Уравновешенность является одним из основных комплексных показателей качества абразивных кругов. При шлифовании возникают автоколебания, вызываемые неуравновешенностью шпинделя, электродвигателя, ременной передачи и других частей шлифовального станка. Однако наибольшие колебания обусловлены неуравновешенностью шлифовального круга, которая приводит к вибрациям системы станка, возрастанию напряжений в круге, ухудшению качества шлифованных поверхностей и появлению на них прижогов, повышенному износу круга и увеличению расхода правящих средств, преждевременному выходу из строя шпиндельного и других узлов станка. Большое значение имеет степень уравновешенности кругов в связи с все более широким внедрением в практику скоростного и сверхскоростного шлифования.

Дисбалансом называют произведение неуравновешенной массы G на ее эксцентриситет S относительно оси вращения. Со-

гласно ГОСТ 3060–75, установлены четыре класса неуравновешенности шлифовальных кругов, а допустимые неуравновешенные массы определены в зависимости от массы кругов, изготавливаемых на керамической, бакелитовой, вулканитовой и специальных органических связках. В табл. 1 приложения даны допустимые неуравновешенные массы абразивных кругов. Для кругов точности АА (абразивные круги общего назначения изготавливают трех классов точности: АА, А и Б – в порядке снижения точности) класс неуравновешенности должен быть первым, для кругов точности А – первым или вторым и для кругов точности Б – вторым или третьим.

Основные причины, вызывающие появление неуравновешенности у шлифовальных кругов:

- 1) погрешность геометрической формы круга;
- 2) эксцентричность посадочного отверстия круга относительно его наружной поверхности;
- 3) неравномерность (неравноплотность) структуры круга;
- 4) смещение центра круга относительно оси его вращения вследствие зазора, образующегося между посадочным отверстием круга и планшайбой (оправкой, патроном);
- 5) неравномерное поглощение кругом влаги, пыли, отходов шлифования;
- 6) неравномерный износ круга в процессе шлифования.

Теоретические расчеты и практика показывают, что наибольшее влияние на неуравновешенность кругов оказывают четыре первые причины.

2.2. Оценка неуравновешенности кругов

Неуравновешенность круга может быть измерена и рассчитана. Расчет позволяет установить и проанализировать зависимость неуравновешенности от отдельных причин, вызывающих ее появление. Возможны два подхода:

- 1) нахождение частных зависимостей неуравновешенности от отдельных факторов с последующим векторным или скалярным суммированием результатов расчета;

2) вывод обобщенной зависимости, учитывающей единовременное действие всех рассматриваемых источников неуравновешенности.

В табл. 1 представлены расчетные схемы и формулы, позволяющие определять значения частных неуравновешенных масс B_c , B_e , B_n до и после первой правки круга, установленного на шпиндель шлифовального станка.

Из сравнения формул (1) и (2) видно, что величина B_c после правки снижается в $\left[\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1\right]$ раз. Дисбаланс B_e после первой правки круга становится равным нулю. Это достигается снятием с круга слоя абразива, равного $2e$. Следовательно, чем больше e , тем большее время затрачивают на правку и тем больше будет расход абразивного и правящего инструментов.

Формулы (4) и (5) позволяют рассчитать величину B_n . Правкой инструмента невозможно устранить неуравновешенную массу B_n , хотя по мере съема абразива эта величина будет уменьшаться. Если при правке круга снимают слой абразива с размером ΔD на сторону, то после правки значение B_n определяют выражением (5), где

$$\Delta H_1 = \left(1 - \frac{\Delta D}{D}\right); \quad (6)$$

$$D_1 = D - 2\Delta D. \quad (7)$$

На величину неуравновешенности круга B_γ , являющейся результатом его неравноплотности, существенное влияние оказывают погрешности технологического процесса изготовления кругов и, в частности, непараллельность плоскости нижней плиты пресс-формы и верхней плоскости формуемой массы после разравнивания, перекося осей пресс-формы и пуансона, а также неравномерное распределение зерна и связки после перемешивания. При этом усовершенствование технологии изготовления кругов не может полностью устранить их неравноплотность.

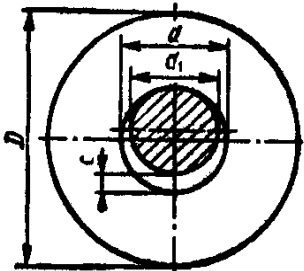
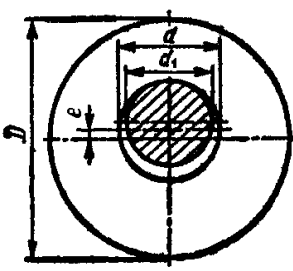
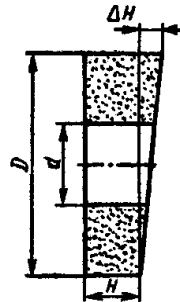
Суммарную неуравновешенность круга определяют векторной суммой:

$$\bar{B} = \bar{B}_e + \bar{B}_c + \bar{B}_n + \bar{B}_\gamma + \bar{B}_o, \quad (8)$$

где \bar{B}_0 – неуравновешенная масса, определяемая прочими причинами.

Таблица 1

Зависимость неуравновешенности шлифовального круга
от погрешностей его установки и геометрической формы

Неуравновешенные массы (г)		
вызванные зазором между посадочным диаметром круга и планшайбой	вызванные эксцентриситетом посадочного диаметра круга относительно наружного	вызванные непараллельностью торца круга
		
До правки круга		
$B_c = 785 \cdot 10^{-6} \frac{(D^2 - d^2) H \gamma c}{D} \quad (1)$	$B_e = 157 \cdot 10^{-5} D H \gamma e \quad (3)$	$B_n = 196 \cdot 10^{-6} \frac{D^4 - d^4}{D^2} \frac{H \gamma \Delta H}{2H + \Delta H} \quad (4)$
После правки круга		
$B_c = 785 \cdot 10^{-6} \frac{d^2 H \gamma c}{D} \quad (2)$	$B_e = 0$	$B_n = 196 \cdot 10^{-6} \frac{D^4 - d^4}{D^2} \frac{H \gamma \Delta H_1}{2H + \Delta H_1} \quad (5)$
Примечание: γ – плотность абразива, г/см ³ (средняя плотность кругов на связках К (керамическая) и Б (бакелитовая) составляет 2,0–2,6 г/см ³ , на связке В (вулканитовая) 2,6–3 г/см ³); c – диаметральный зазор между посадочными поверхностями круга и планшайбы, мм; e – эксцентриситет посадочной поверхности круга относительно наружной поверхности, мм; ΔH – непараллельность торцов круга, мм.		

Рассчитать величину \bar{A} по формуле (8) можно, если известно взаимное расположение векторов. В противном случае следует принимать во внимание худший вариант и определять наибольшее значение суммы.

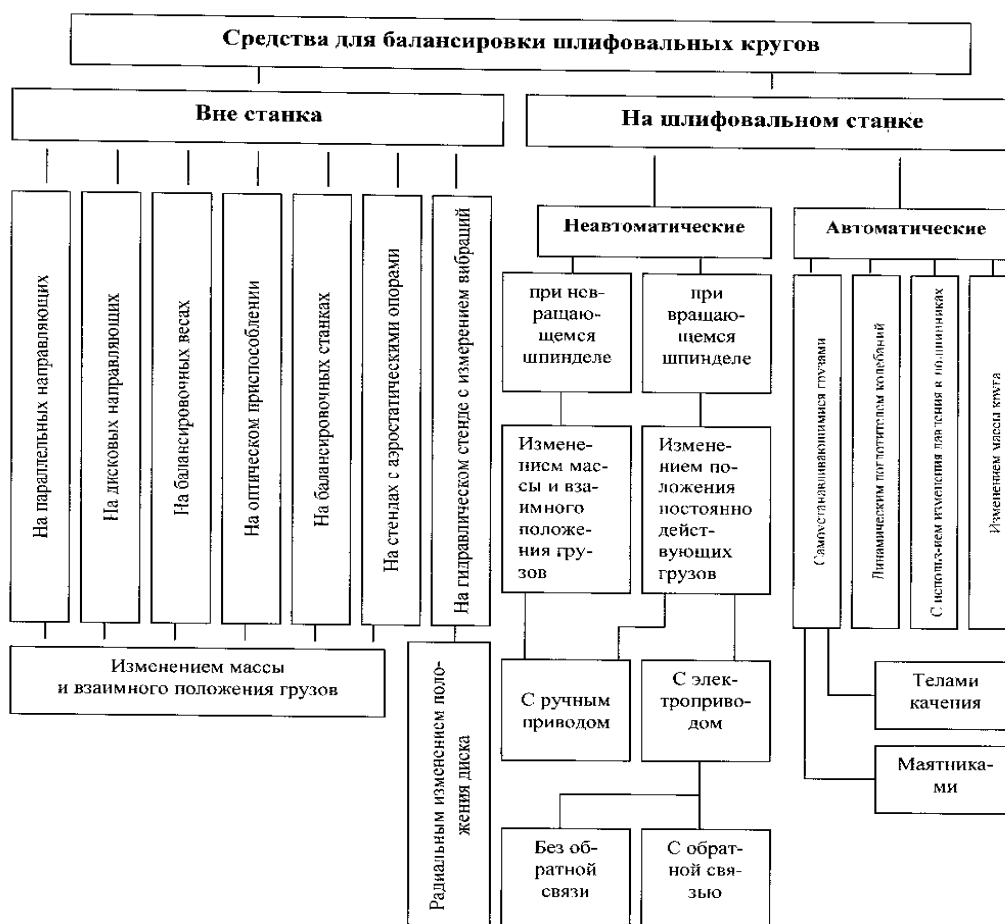
2.3. Балансировка шлифовальных кругов

В соответствии с ГОСТ 2424–83 для абразивных кругов диаметром 250 мм и более должен быть проведен контроль неуравновешенности по ГОСТ 3060. Круги, не проходящие по требуемым параметрам, подвергаются балансировке.

Классификация средств, применяемых для балансировки шлифовальных кругов, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Средства для балансировки шлифовальных кругов



2.3.1. Устройства для балансировки кругов вне шлифовального станка

Абразивные круги наиболее часто балансируют на станках с параллельными направляющими. Станки просты по устройству и эксплуатации и бывают с направляющими, выполненными в виде цилиндрических валиков, а также плоских ножей и призм. Круг отдельно или вместе с планшайбой устанавливают на специальную оправку, имеющую коническую посадочную и цилиндрические опорные шейки, и закрепляют с помощью фланца и гайки. К числу основных недостатков указанных станков следует отнести низкую точность и малую производительность измерения дисбаланса и балансировки кругов.

Станки с дисковыми направляющими также часто используют в практике балансировки шлифовальных кругов. Они просты в эксплуатации и не требуют высокой точности взаимной выверки дисков. Основной их недостаток – невысокие точность и производительность балансировки.

Балансировочные весы позволяют получить более высокую точность уравнивания по сравнению с параллельными и дисковыми станками. Однако они более сложны в эксплуатации и пригодны для балансировки кругов диаметром до 600 мм.

Оптические балансировочные станки обеспечивают сравнительно высокую производительность балансировки шлифовальных кругов и дают возможность измерять дисбаланс у необожженных кругов, что представляет интерес для абразивных производств. К числу недостатков этих станков следует отнести ограничение диаметра (до 350 мм) и массы (до 7 кг) балансируемых кругов и сложность тарирования.

Для балансировки шлифовальных кругов можно применять балансировочные станки общего назначения типов 9В725, 9710, ДБ-3, ДБ-4, ДБ-5, ДБ-10, ДБ-50, ДБ-102, МС-22, МВТУ-703, МВТУ-704 и др., а также специальные балансировочные станки. Указанные станки позволяют производить статическую и динамическую балансировку шлифовальных кругов с высокой точностью и производительностью. В каждом конкретном случае следует экономически обосновывать целесообразность использования балансировочных станков той или иной модели.

Станки с аэростатическими опорами позволяют измерять величину неуравновешенной массы и балансировать круги с весьма высокой точностью. На рис. 2 показана схема станка с аэростатическими опорами, который предназначен для балансировки кругов диаметром до 1200 мм.

Балансировочную оправку 1, на которую насаживают круг, устанавливают на опоры 2. Сжатый воздух под давлением $p = 2 \div 4 \text{ кгс/см}^2$ подводят к опорам, и оправка с кругом всплывает на воздушной подвеске. Отсутствие контакта между рабочими поверхностями оправки и опор обеспечивает сведение момента трения к минимуму.

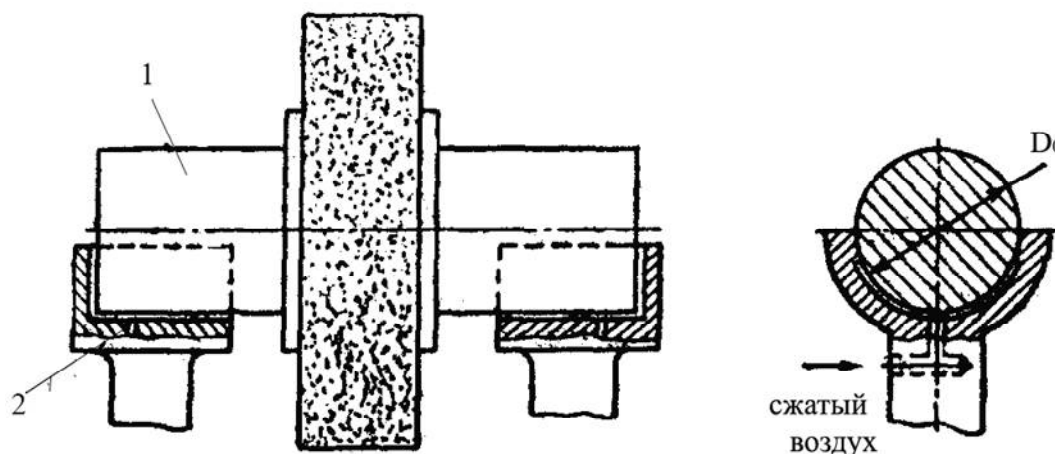


Рис. 1. Схема балансирующего станка с аэростатическими опорами

В результате опытно-промышленной проверки балансирующих станков с аэростатическими опорами установлено, что точность балансировки абразивных кругов $D = 300 \div 800 \text{ мм}$ по сравнению с точностью их балансировки на станке с цилиндрическими направляющими (по ГОСТ 3060–75 этот стенд предписывается как основное балансирующее средство) повышается не менее чем в 10 раз.

2.3.2. Балансировочные приспособления, предназначенные для балансировки кругов непосредственно на шлифовальных станках при невращающемся и вращающемся шпинделях

Устройства с ручным перемещением компенсирующих грузов при невращающемся шпинделе, часто базирующиеся на применении амплитудно-фазового метода балансирования, не нашли пока широкого применения. Системы с ручным регулированием компенсирующих грузов при вращающемся шпинделе отличаются невысокой эксплуатационной надежностью и большой конструктивной сложностью, в связи с чем находят пока ограниченное практическое применение.

Известен ряд схем и конструкций балансировочных систем с механизированным управлением перемещением компенсирующих грузов. Перспективной является конструкция балансировочной системы, в которой дистанционное управление процессом уравнивания осуществляется с помощью электромагнита и муфт, приводимых в действие соответствующим переключением тумблеров. Значительный интерес представляет собой балансировочное устройство мод. БМ20 с волновым редуктором. Движение механизму перемещения компенсирующего груза сообщается непосредственно от вращающегося шпинделя станка, а медленные перемещения осуществляются при помощи двухволнового редуктора с большим передаточным отношением. Балансировка шлифовального круга диаметром 400 мм производится в течение 1,5–2 мин с точностью до 0,5 мкм. Балансировочные устройства с механизированным управлением перемещения грузов отличаются высокими производительностью и точностью балансировки и более предпочтительны по сравнению с устройствами с ручным регулированием компенсирующих грузов.

В системах для автоматической балансировки кругов на шлифовальных станках в качестве компенсирующих грузов используют шары, ролики, маятники и другие тела. Применяют также системы, в которых уравнивание кругов производят путем удаления части абразива, а также гидравлическим методом.

2.3.3. Системы для автоматической балансировки кругов на шлифовальных станках

Автоматические системы балансировки кругов на шлифовальных станках наиболее перспективны с точки зрения как производительности, так и точности балансировки. При балансировке шлифовальных кругов, входящих в многокруговые наладки, имеются некоторые особенности. Уравновешенность всей системы обеспечивается при сборке многокругового комплекта на запасном шпинделе станка смещением заранее установленной тяжелой части каждого круга относительно предыдущего на угол $360/m$ градусов (m – число кругов в наладке). Уравновешенность каждого круга наладки не должна выходить за пределы 1-го класса по ГОСТ 3060–75.

Для компенсации неуравновешенности шлифовальных кругов в настоящее время применяют метод заливки свинца в подготовленную секторную канавку, которую выдалбливают на торце круга у посадочного отверстия. Этот метод является, однако, несовершенным как по технологии, так и по эффективности балансировки. Перспективным способом компенсации неуравновешенности абразивных кругов является метод инъекций аэрозолей, пригодный главным образом для инструмента на керамической связке, а также для крупнозернистых кругов на бакелитовой связке. Инъекция аэрозолей обеспечивает накопление компенсирующей массы в большом объеме шлифовального круга, что создает условия для достаточно длительного сохранения уравновешенности круга в процессе его эксплуатации.

2.4. Правка кругов и правящий инструмент

Для восстановления режущей способности абразивного инструмента и придания ему правильной геометрической формы и профиля периодически в процессе работы производят его правку. От правильного выбора средств и режимов правки зависят не только точность и шероховатость обработанной поверхности детали, производительность обработки, но и расход шлифовальных кругов, износостойкость правящего инструмента и себестоимость операции шлифования.

Широко применяемые шлифовальные круги зернистостью № 25–40 и твердостью СМ2–СТ2 в основном расходуются не в процессе шлифования, где износ их крайне мал, а в процессе правки. На правку расходуется от 45 до 80 % полезного объема абразивных кругов при круглом, плоском и внутреннем шлифовании. Затраты времени на правку могут достигать 40 % штучного времени обработки и более. В зависимости от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности применяют алмазную и безалмазную правку кругов.

Правку осуществляют обтачиванием алмазным инструментом, обкатыванием абразивными, твердосплавными и металлическими дисками, шлифованием кругами из карбида кремния и алмазно-металлическими роликами, тангенциальным точением профильной поверхности круга алмазным инструментом, накачиванием стальными профильными роликами.

2.4.1. Правка методом обтачивания

Правка методом обтачивания представляет собой точение (разрушение) хрупкого абразивного материала и связки шлифовального круга правящим алмазным инструментом высокой твердости. Правка осуществляется либо отдельными сравнительно крупными алмазными зернами, зачеканенными в оправки (ОСТ 2-9–70 «Алмазы в оправках» и ГОСТ 17564–72 «Иглы алмазные»), либо алмазно-металлическими карандашами диаметром 8–10 мм.

Наибольшее применение имеют алмазно-металлические карандаши, в которых в определенном порядке размещены кристаллы алмазов, прочно соединенные специальным сплавом. Этот сплав имеет близкий к алмазу коэффициент теплового расширения, поэтому при изменениях температуры алмазно-металлического карандаша в процессе правки алмазы не испытывают дополнительных тепловых деформаций. Алмазно-металлические карандаши выпускают четырех типов в зависимости от расположения и характеристики алмазных кристаллов в рабочей части: Ц – с алмазами, расположенными цепочкой вдоль оси карандаша (рис. 3, а); С – с алмазами, расположенными слоями, неперекрывающимися (рис. 3, б) и перекрывающимися

(рис. 3, в); Н – с неориентированным положением алмазов (рис. 3, г). Каждый тип карандашей подразделяют на марки, отличающиеся массой и количеством алмазов, а также размерами вставки и оправы.

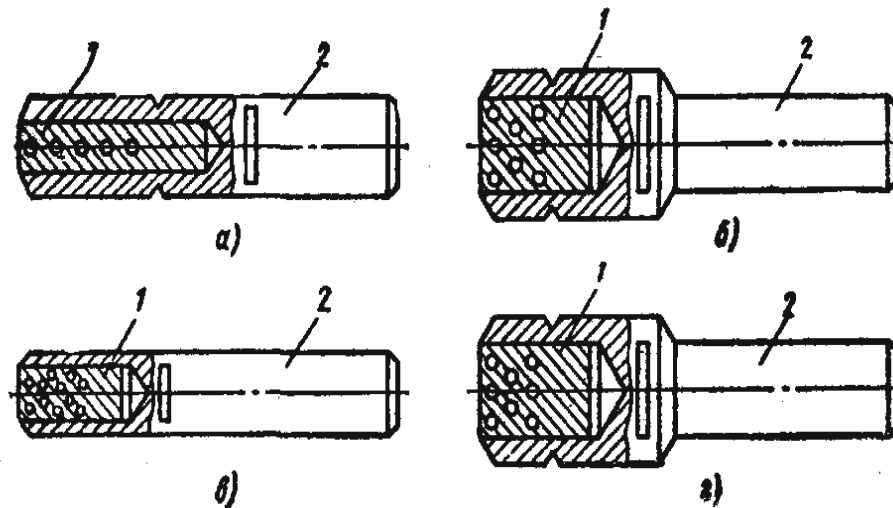


Рис. 2. Алмазные карандаши:

а – тип Ц; б – тип С с неперекрывающимися слоями алмазов;
в – тип С с перекрывающимися слоями алмазов; г – тип Н;
1 – алмазоносная вставка; 2 – оправка

Карандаши типа Ц изготавливают из высококачественных кристаллов алмазов массой от 0,03 до 0,5 карата. Они имеют наибольшее применение при правке кругов для круглого, бесцентрового, внутреннего и фасонного шлифования. Карандаши типа С выпускают двух марок: *многозернистые* с количеством до 10 сравнительно мелких алмазных зерен в слое и *малозернистые* с двумя-пятью алмазными зернами массой 0,1–0,2 карата. Эти карандаши обладают повышенной износостойкостью; их используют для правки абразивных кругов при чистовом шлифовании в автоматическом цикле.

Карандаши типа Н изготавливают из алмазов различного качества, в том числе из дробленых и колотых, и используют для правки мелкозернистых шлифовальных кругов на операциях круглого и бесцентрового шлифования, а также для правки одноточечных резьбошлифовальных, тарельчатых и плоских кругов для зубошлифования и шлицешлифования.

В процессе правки алмазно-металлические карандаши изнашиваются, на их рабочих поверхностях образуются площадки, и поэтому карандаши обычно устанавливают так, чтобы их ось была наклонена под углом $10\text{--}15^\circ$ в сторону вращения круга и развернута к направлению движения подачи. Это позволяет периодически поворачивать правящий инструмент вокруг оси, вводя тем самым в работу незатупившиеся грани алмаза, что способствует улучшению условий работы правящего инструмента и снижению его износа. Такая установка алмазных инструментов предохраняет также алмаз от перегрузок и разрушения кристаллов и исключает вибрации в системе станок – круг – алмаз.

Для правки кругов больших размеров, а также при профильном шлифовании применяют алмазы больших размеров в оправках, представляющих собой стальную державку, в которой закреплен необработанный алмаз с острой вершиной. Алмазы с естественными гранями, закрепленные в оправках, имеют преимущество перед алмазно-металлическими карандашами в том, что их изготавливают из более качественных алмазов и, следовательно, их износостойкость значительно выше. Оправы для алмазов изготавливают цилиндрическими, ступенчатыми, коническими и с резьбой. Для закрепления алмазов в оправках применяют механический зажим, пайку, чеканку. Установка алмаза в оправке должна быть осуществлена таким образом, чтобы плоскости сколов кристаллов не совпадали с направлением сил, действующих на алмаз при правке. После закрепления алмаз должен выступать из оправки не более чем на $1/4$ своей длины. Специально для правки одноконтурных резьбошлифовальных кругов выпускаются алмазные иглы (рис. 4).

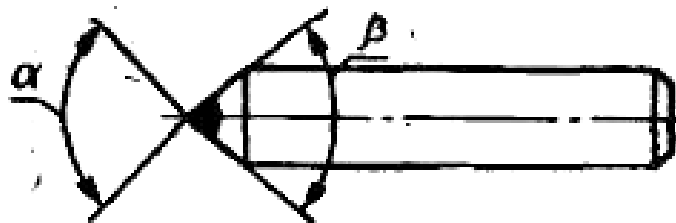


Рис. 3. Иглы алмазные

Для изготовления игл применяют природные алмазы в виде октаэдрических, пиленых и колотых кристаллов. Рабочую часть игл гранят по форме четырехгранной пирамиды без видимой при десятикратном увеличении перемычки на вершине. Алмаз крепят в державке пайкой серебряным припоем или другим методом, обеспечивающим необходимую прочность при исключении графитизации алмаза. Державки для игл изготавливают из стали марок 20, 25, 30, 35, 40.

Правка кругов методом обтачивания позволяет получить высокую точность рабочей поверхности круга, которая за счет изменения величины продольной подачи алмазного инструмента может обеспечить различную шероховатость обрабатываемой детали. В процессе правки кругов методом обтачивания возникают силы, не превышающие 3–5 кгс и способствующие меньшему разрушению зерен круга при правке и их износу при шлифовании.

2.4.2. Правка методом обкатывания

Правка методом обкатывания представляет собой процесс дробления и скалывания абразивных зерен на рабочей поверхности круга правящим инструментом, получающим вращение вследствие сил трения от шлифовального круга.

В качестве правящих инструментов при методе обкатывания применяют круги из карбида кремния, стальные диски, звездочки и шарошки твердосплавные монолитные ролики, крупнозернистые твердосплавные на металлической связке. Под действием режущей кромки правящего инструмента, перемещающейся по образующей шлифовального круга с определенной скоростью, поверхностный слой связки круга разрушается, выступающие зерна выкрашиваются, а зерна, находящиеся более глубоко в связке, раскалываются на части. Проскальзывание между шлифовальным кругом и правящим инструментом приводит к заглаживанию абразивных зерен на выправляемой поверхности круга. При правке методом обкатывания возможны две ориентации правящего инструмента относительно шлифовального круга: оси вращения шлифовального и правящего инструментов находятся

либо в одной плоскости ($\varphi = 0$), либо в пересекающихся плоскостях, расположенных под углом $\varphi \neq 0$. С увеличением угла φ в зоне правки увеличиваются разрушающие силы, действие которых интенсифицирует процесс восстановления рабочей поверхности круга, и повышается износ правящего инструмента.

Правку кругов методом обкатывания алмазными правящими инструментами чаще всего применяют как предварительную правку, когда необходимо снять большой слой абразива с недостаточно хорошо сбалансированного круга и при наличии неравномерности снимаемого слоя. При такой правке используют диски, звездочки и шарошки (ГОСТ 4803–67), устанавливаемые в специальные правящие приспособления.

Следует обратить внимание на правку шлифовальных кругов дисками (рис. 5, *а*, *б*), изготавливаемыми в исполнениях *а* и *б* из сталей марок 10, 20 и 30, цементируемых на глубину 0,3–0,5 мм и закаливаемых до твердости HRC 55–60. Наличие у этих дисков мягкого незакаленного слоя материала способствует интенсификации процесса правки. Правящие диски применяют для правки кругов, используемых при чистовом и получистовом шлифовании, когда требуется получить шероховатость обработки в пределах $Ra = 0,63 \div 2,50$ мкм.

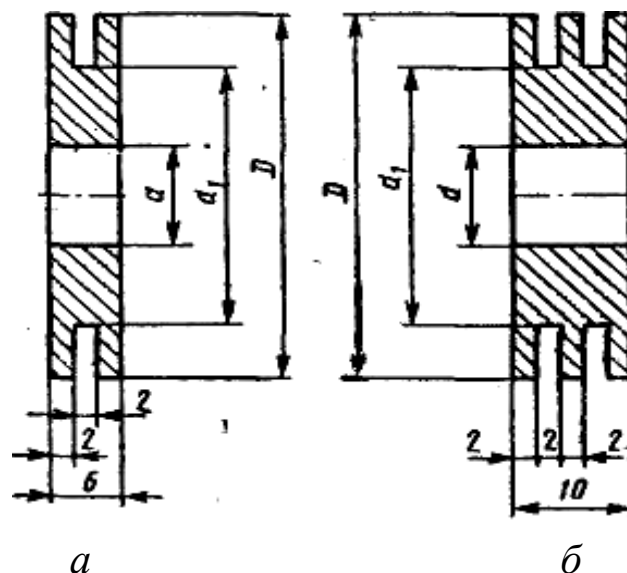


Рис. 4. Диски металлические для правки шлифовальных кругов

Для интенсификации процесса правки кругами из карбида кремния следует устанавливать ось правящего инструмента под углом $\varphi = 8 \div 10^\circ$ по отношению к оси шлифующего круга. В остальных случаях инструменты осуществляют правку кругов при параллельных осях. Обычно после рабочих ходов производят два-четыре выхаживающих хода.

2.4.3. Правка методом шлифования

Правка методом шлифования представляет собой процесс срезания и дробления абразивных зерен вращающимся правящим инструментом, который получает принудительное вращение от самостоятельного привода или от привода шлифовальной бабки станка. В качестве правящего инструмента применяют алмазные ролики на твердосплавной связке (ГОСТ 16014–70) и круги из карбида кремния высокой твердости (ГОСТ 6565–67). При рассматриваемом методе вследствие разности скоростей вращения шлифовального круга и правящего инструмента происходит скалывание частичек абразивных зерен, а иногда выкрашивание целых зерен. Для этого вида правки все большее применение находят алмазные ролики, получающие принудительное вращение, совпадающее по направлению с вращением шлифовального круга или направленное против него. Согласно ГОСТ 6565–67, для правки кругов методом шлифования применяют круги из карбида кремния на керамической связке формы ПП.

Алмазные ролики для правки абразивных кругов, согласно ГОСТ 16014–70, изготавливают из природных алмазов с равномерным их расположением на рабочей поверхности ролика. Ролик (рис. 6) состоит из корпуса, изготовленного из стали марки 35 или 45, и алмазоносного слоя 2, прочно соединенного с корпусом. Алмазоносный слой содержит алмазы, сцементированные специальной твердосплавной связкой методом порошковой металлургии.

Все шире применяются алмазные ролики, позволяющие осуществлять правку кругов по нескольким рабочим поверхностям: прямолинейным, криволинейным и их сочетаниям. Такая правка позволяет значительно повысить производительность

шлифования за счет концентрированной одновременной обработки нескольких поверхностей детали, а также в результате сокращения времени, затрачиваемого на правку круга, которая ведется либо роликом сложного фасонного профиля, либо набором роликов с использованием метода врезания или метода продольной подачи. Алмазные правящие ролики сложного профиля применяют, в частности, на автомобильных заводах для автоматической правки абразивных кругов. Следует стремиться использовать приспособления для правки с самостоятельным приводом, устанавливаемым вне рабочей зоны станка – за задней бабкой, на шлифовальной бабке или позади нее. Это позволяет править круг во время установки и снятия детали, что сводит до минимума затраты времени на правку.

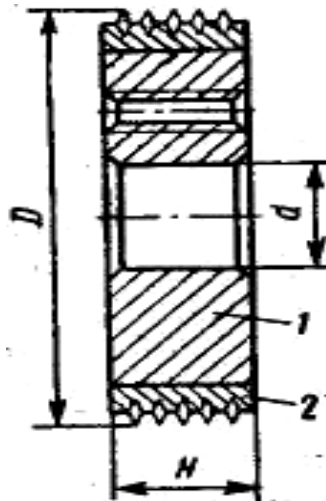


Рис. 5. Ролики алмазные для правки шлифовальных кругов

Для облегчения изготовления ролики делают из двух частей; на требуемый осевой размер детали их устанавливают с помощью распорной втулки. Наличие разреза ролика по плоскости, наклонной к его оси, исключает появление при правке на шлифовальном круге канавок и других дефектов.

Правку методом шлифования осуществляют на кругло- и бесцентрово-шлифовальных станках, а также на специальных станках (например, для шлифования шеек коленчатых валов и кулачков распределительных валов). Применение алмазных ро-

ликов и специальных правящих приспособлений позволяет сократить время на правку, а в некоторых случаях совершенно ее исключить и, таким образом, повысить производительность труда при обработке на 20–30 %.

При правке кругов алмазными роликами методом шлифования возникают меньшие силы, чем правка кругами из карбида кремния. Алмазные ролики способствуют получению высокой точности выправленной поверхности шлифовальных кругов и их рациональному расходу при шлифовании.

2.4.4. Правка методом тангенциального точения

Правка методом тангенциального точения представляет собой процесс, аналогичный процессу обтачивания. Правку осуществляют путем срезания (отчасти скалывания и выкрашивания) абразивных зерен алмазным бруском. Операцию выполняют на плоскошлифовальных станках по всей рабочей поверхности круга при продольном перемещении стола. Брусок с профилем, соответствующим профилю шлифуемой детали, закрепляют на столе станка за деталью. Шлифовальный круг при каждой подаче на глубину приводят в соприкосновение с фасонной поверхностью бруска. В результате взаимодействия с бруском постоянно обновляется профиль круга и тем самым обеспечивается высокое качество обрабатываемых поверхностей деталей, точность размеров и стабильность обрабатываемого профиля.

При использовании профильных алмазных брусков на шлищшлифовальных и специальных станках (например, на станках для шлифования елочного замка турбинных лопаток) производительность операций значительно повышается за счет исключения времени на правку.

2.4.5. Правка методом накатывания

Правка методом накатывания рабочей поверхности круга представляет собой процесс дробления абразивных зерен и связки при относительно медленном вращении металлического накатного ролика и круга. Метод применяют исключительно для правки профильных шлифовальных кругов. Правящим инстру-

ментом служит фасонный стальной ролик, имеющий профиль обрабатываемой детали. Профилирование ведут при скорости накатывания 1–1,5 м/с с поперечной подачей 0,05–0,06 мм/мин. В зависимости от конструктивных особенностей станка вращение при накатке получает либо шлифовальный круг, либо ролик. В результате взаимного вращения ролика с кругом и значительного давления, создаваемого в зоне контакта поперечной подачей, происходит разрушение абразивных зерен и связки на рабочей поверхности круга. Правка продолжается до тех пор, пока круг не приобретает форму профиля заданной детали. Износ ролика вследствие незначительного относительного скольжения при правке сравнительно невелик, поэтому одним и тем же роликом можно многократно производить правку. Предпочтительнее осуществлять накатывание роликом, который приводится во вращение от отдельного электродвигателя или от шпинделя бабки изделия, так как при этом обеспечивается большая точность профилирования круга при меньшем износе ролика.

Профилирование кругов накатными роликами отличается простотой конструкции приспособлений, возможностью правки по нескольким поверхностям профиля круга, высокой режущей способностью выправленных поверхностей.

Для изготовления роликов применяют стали марок 45, 40Х с закалкой до твердости HRC 30–32, а также У8А, У10А, ХГ, Р18, закаленные до твердости HRC 60–64. Профилирование роликами из стали 45, 40Х более эффективно для операций предварительного шлифования, так как процесс накатывания круга протекает интенсивнее, а изготовление роликов проще. Хотя закаленные до твердости HRC 60–64 ролики более изнosoустойчивы и обеспечивают повышенную точность профилирования круга, для их изготовления необходимы специальные профилешлифовальные станки.

На рис. 7 приведена конструкция накатного ролика с параллельными оси канавками неравномерного шага. Наличие канавок интенсифицирует процесс профилирования круга, а неравномерный шаг их расположения исключает появление на круге следов от канавок, а также биение круга после правки. Диаметр ролика выбирают в зависимости от диаметра круга

$D_1 = (0,2-0,25)D$, а его ширина H должна соответствовать длине профиля.

Правку накатными роликами производят как с охлаждением, так и без него. В последнем случае процесс правки идет несколько быстрее, так как канавки ролика не засоряются разрушаемыми частицами круга.

Метод накатывания рабочей поверхности кругов применяют при многониточном резьбошлифовании, шлифовании зубчатых колес абразивным червяком, при фасонном шлифовании и шлицевшлифовании.

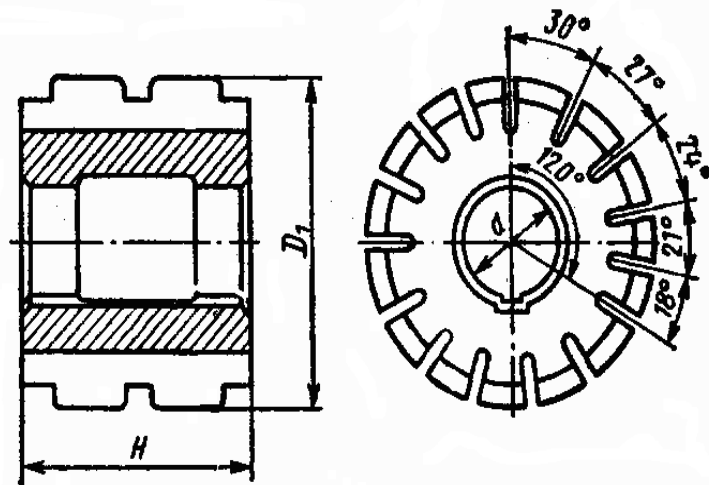


Рис. 6. Накатной ролик для правки фасонных шлифовальных кругов

При правке шлифовального круга тем или иным способом с его рабочей поверхности периодически снимается слой затупившихся абразивных зерен, связки и налипшего металла. Толщину этого слоя определяют в зависимости от требования на исправление геометрической формы и микропрофиля рабочей поверхности круга. Часто толщину h снимаемого при правке слоя устанавливают в несколько раз большей, чем это необходимо для восстановления режущих свойств и формы рабочей поверхности круга. При повышенном значении h не только излишне расходуются шлифовальные круги и правящий инструмент, но в значительной степени увеличивается время правки. Установление рациональной величины h позволяет повысить срок службы шли-

фовального круга и правящего инструмента и улучшить технико-экономические показатели операции шлифования

Минимальная, но достаточная толщина слоя абразива, снимаемая при правке,

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 , \quad (9)$$

где h_1 – величина биения круга при вращении; h_2 – высота волнистости на круге, возникающая вследствие его неравномерного износа из-за вибраций, мкм; h_3 – разновысотность затупленных вершин абразивных зерен на рабочей поверхности круга, мкм; h_4 – закругление крайних участков рабочей поверхности круга, нарушающее прямолинейность образующей, мкм.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя вариант задания (табл. 2 приложения).

2. Подготовить таблицу для записи результатов расчетов и зарисовать схемы неуравновешенности шлифовального круга от погрешностей его установки и геометрической формы (по аналогии с табл. 1).

3. Согласно полученному варианту, по формулам (1)–(5) произвести расчет частных неуравновешенных масс (до и после правки круга), вызванных:

- зазором между посадочным диаметром круга и планшайбой (B_c);
- эксцентриситетом посадочного диаметра круга относительно наружного (B_e);
- непараллельностью торца круга (B_n).

Полученные данные занести в таблицу.

4. По формуле (8) определить суммарную неуравновешенность круга.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите причины возникновения автоколебаний при шлифовании.
2. Назовите основные причины, вызывающие появление неуравновешенности у шлифовальных кругов.
3. Как проводится оценка неуравновешенности кругов?
4. Какие существуют средства для балансировки шлифовальных кругов?
5. Перечислите основные методы правки кругов.

5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / под ред. А. Н. Резникова. – Москва : Машиностроение, 1977. – 304 с.
2. ГОСТ 2424–83. Круги шлифовальные. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 48 с.
3. ГОСТ 3060–75. Круги шлифовальные. Допустимые неуравновешенные массы и метод их измерения. – Москва : Изд-во стандартов, 1979. – 15 с.

Приложение

Таблица 1

Допустимые неуравновешенные массы (г) кругов

Масса круга, кг	Класс неуравновешенности			
	1	2	3	4
0,2–0,25	2,5	4,0	6,0	12,0
0,25–0,3	2,5	4,5	7,0	14,0
0,3–0,4	3,0	5,0	7,5	15,0
0,4–0,5	3,5	5,5	9,0	17,0
0,5–0,63	4,0	6,0	10,0	20,0
0,63–0,8	4,5	7,0	11,0	22,0
0,8–1,00	5,0	7,5	12,0	25,0
1,00–1,25	5,5	9,0	14,0	27,0
1,25–1,6	6,0	10,0	15,0	30,0
1,6–2,00	7,0	11,0	17,0	35,0
2,00–2,50	7,5	12,0	20,0	40,0
2,50–3,00	9,0	14,0	22,0	45,0
3,00–4,00	10,0	15,0	25,0	50,0
4,00–5,00	11,0	17,0	27,0	55,0
5,00–6,30	12,0	20,0	30,0	60,0
6,30–8,00	14,0	22,0	35,0	70,0
8,00–10,0	15,0	25,0	40,0	75,0
10,0–12,5	17,0	27,0	45,0	85,0
12,5–16,0	20,0	30,0	50,0	95,0
16,0–20,0	22,0	35,0	55,0	110,0
20,0–25,0	25,0	40,0	60,0	120,0
25,0–30,0	27,0	45,0	65,0	135,0
30,0–40,0	30,0	50,0	75,0	150,0
40,0–50,0	35,0	55,0	85,0	170,0
50,0–63,0	40,0	60,0	95,0	190,0
63,0–80,0	45,0	65,0	110,0	215,0
80,0–100	50,0	75,0	120,0	240,0
100–125	55,0	85,0	135,0	270,0
125–160	60,0	95,0	150,0	300,0
160–200	70,0	110,0	170,0	340,0
200–250	75,0	120,0	190,0	380,0
250–300	85,0	130,0	210,0	420,0

Таблица 2

Варианты заданий

№ вар.	D , мм	d , мм	H , мм	c , мм	e , мм	γ , г/см ³	ΔH , мм	ΔD , мм
1	250	51	50	0,1	0,1	2,0	0,15	1,5
2	300	76	63	0,1	0,2	2,0	0,25	2
3	300	32	32	0,2	0,3	2,3	0,35	2
4	400	127	100	0,2	0,4	2,7	0,45	1
5	450	203	100	0,3	0,5	2,5	0,55	2,5
6	450	127	80	0,3	0,6	2,1	0,65	2
7	500	203	125	0,4	0,7	2,0	0,75	2,5
8	500	305	125	0,4	0,8	2,4	0,85	3
9	600	203	125	0,5	0,9	2,6	0,95	2
10	750	305	50	0,5	1,0	2,9	1,05	2,5
11	750	305	160	0,6	1,1	2,2	1,15	3
12	900	305	80	0,6	1,2	2,3	1,25	2,5
13	900	305	125	0,7	1,3	2,5	1,35	3
14	1060	305	63	0,7	1,4	2,6	1,45	2
15	1060	305	100	0,7	1,5	2,3	1,55	3

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучение методов оценки прочности абразивных инструментов;
- изучение путей повышения прочности шлифовальных кругов.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Общие сведения о прочности

Прочность является одним из наиболее важных эксплуатационных показателей абразивных материалов (испытания кругов на механическую прочность регламентированы ГОСТ 12.2.001-74). Она во многом предопределяет работоспособность шлифовальных инструментов и эффективность процесса шлифования. Абразивным материалам свойственно хрупкое разрушение, теоретическое описание протекания которого достаточно затруднено, поскольку такой процесс характеризуется большой нестабильностью. В настоящее время существует ряд теорий, связывающих предельное напряженное состояние в теле с его хрупким разрушением. Все теории основываются на эмпирических данных, поскольку внутренний механизм разрушения хрупких объектов пока точно не известен. Поэтому та или иная теория достаточно достоверно может описывать какую-то часть всего многообразия процессов разрушения хрупких тел и быть совершенно непригодной для оценки целой группы других результатов.

Неуклонное повышение скоростей шлифования предъявляет высокие требования к прочности шлифовальных кругов – они должны вращаться без разрыва на скоростях 60–80 и более метров в секунду. Решение этой проблемы тормозится тем обстоятельством, что пока точно не известен механизм разрушения многокомпонентных композитов, к которым относится и шлифовальный круг, состоящий из зерен, связки и пор.

Практика показывает, что существует значительное расхождение между расчетными и экспериментальными данными при определении напряжений в шлифовальных кругах. Причина здесь в том, что шлифовальный круг представляет собой композит, состоящий из нескольких компонентов (зерна, связка, поры), для которого пока не разработана общая теория разрушения. Расчетные варианты определения напряжений в шлифовальных кругах, хотя и обладают большими потенциальными возможностями и позволяют вычислять напряжения в любой требуемой точке, не дают высокой точности конечных результатов.

Понятие характеристики шлифовального круга, как известно, включает в себя ряд таких параметров, как марка шлифовальных зерен, тип связки, зернистость, твердость, структура. Число возможных сочетаний этих параметров в шлифовальных инструментах весьма велико, и каждая конкретная комбинация компонентов характеристики определенным образом сказывается на прочностных показателях инструментов. Для обеспечения требуемой прочности круга важно знать качественные и количественные закономерности влияния элементов характеристики на уровень и характер распределения напряжений в инструменте.

2.1.1. Влияние связки на прочность инструмента

Абразивные инструменты на разных связках по-разному сопротивляются механическим усилиям. Общим для инструментов на всех связках является, во-первых, то, что их сопротивляемость сжатию значительно больше, чем растяжению и изгибу, причем для каждой связки временные сопротивления на растяжения и на изгиб по величине довольно близки друг другу (на изгиб в 1-2 раза больше, чем на растяжение). Временное сопротивление на сжатие больше, чем на растяжение, у инструментов на керамической связке примерно в 6-8 раз, на бакелитовой связке примерно в 3-4 раза, а на вулканитовой несколько меньше. Вторым общим свойством для всех связок является увеличение временного сопротивления при всех видах деформации с повышением твердости инструмента и с уменьшением размера зерен абразивного материала. Третье общее свойство заключается в отсутствии замет-

ной разницы в прочности инструментов, изготовленных на одной и той же связке, но из различных абразивных материалов.

Инструменты на керамической связке практически являются хрупкими телами, т.е. до момента разрушения остаточных (пластических) деформаций в них не возникает. Пропорциональность между величиной деформации и нагрузкой сохраняется все время.

Бакелитовая связка на растяжение (и изгиб) прочнее керамической. Вместе с тем для инструментов на бакелитовой связке имеет значение время выдерживания под нагрузкой, так как у них при каждой нагрузке деформация несколько увеличивается с течением времени.

Вулканитовая связка более прочна на изгиб и растяжение, чем бакелитовая и, тем более, керамическая, и переносит более значительные упругие деформации.

Другие связки менее прочны, чем аналогичные им из выше-рассмотренных трех, имеющих наибольшее промышленное применение. Так, например, магнезиальная и силикатовая связки, сходные с керамической по хрупкости, менее прочны.

2.1.2. Напряжения от усилий резания

В процессе работы абразивный инструмент должен быть прижат к обрабатываемому изделию и оба должны перемещаться один относительно другого. Таким образом, во время работы инструмент оказывает на изделие, во-первых, давление, направленное по нормали к их соприкасающейся поверхности, и, во-вторых, давление в направлении их движения друг относительно друга и, в свою очередь, испытывает со стороны изделия равные, противоположно направленные усилия (реактивные). Первое из них называется нормальным усилием шлифования, второе – касательным (тангенциальным), а их равнодействующая – усилием шлифования.

Схематическое изображение усилий, действующих на инструмент, представлено на рис. 1.

Во взаимодействии с изделием находится определенный участок поверхности инструмента. Взаимодействие вызывает со стороны изделия на зерна участка инструмента нормальное дав-

ление P_y и тангенциальное давление P_z , которые складываются в общую равнодействующую R .

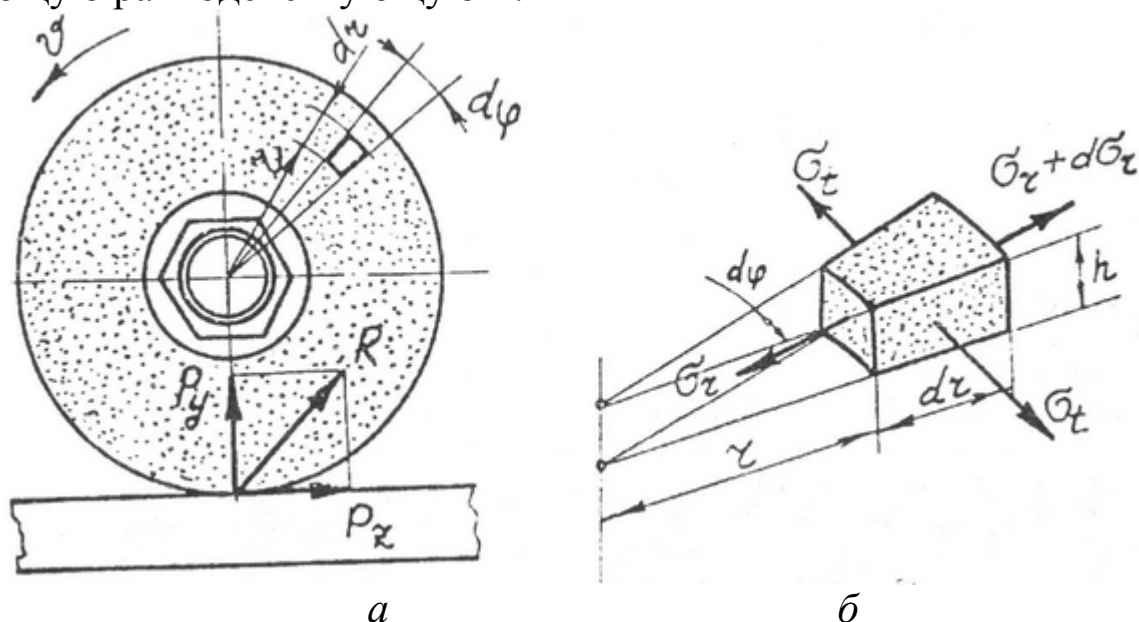


Рис. 1. Силы резания (а) в процессе обработки и напряжения в элементарном участке (б) шлифовального круга

Специально проведенные исследования показали, что даже при таких высоких усилиях, при которых происходит не износ, а быстрое разрушение поверхности круга, напряжения от усилий шлифования не опасны для прочности круга.

Обычно размеры инструментов таковы, что силы P_y и P_z вызывают в теле инструмента ничтожные напряжения по сравнению с величинами их временного сопротивления на сжатие, растяжение и изгиб.

2.1.3. Напряжения в кругах от центробежных сил

Во вращающемся круге возникают центробежные силы, пропорциональные квадрату скорости. Именно эти силы вызывают в круге напряжения, опасные для его прочности, так как при тех скоростях вращения кругов, которые допускаются в настоящее время, они довольно близки к временному сопротивлению материала круга.

Анализ теоретических исследований для определения рода и величины вызываемых центробежными силами напряжений, в

зависимости от скорости круга, его геометрических размеров и физических характеристик, показывает, что наибольшим напряжением во вращающемся круге является напряжение на растяжение на стенке отверстия круга. Это растяжение пропорционально массе единицы объема круга и квадрату его окружной скорости и зависит от соотношения радиуса круга и его отверстия R/r таким образом, что по мере уменьшения этого соотношения, т.е. при увеличении диаметра отверстия, напряжение увеличивается.

Таким образом, выражением наибольшего напряжения в теле вращающегося круга является:

$$\sigma = 0,1C \frac{\gamma}{g} v^2, \quad (1)$$

где 0,1 – коэффициент для перевода размерностей, кг/см²; γ – объемный вес круга, г/см³; g – ускорение силы тяжести (9,81 м/с²); v – окружная скорость круга, м/с; C – константа, равная:

$$C = f(R/r), \quad (2)$$

где R – радиус круга и r – радиус его отверстия.

Эксперименты показывают, что материал кругов неоднороден, так как в одном и том же круге есть места, значительно различающиеся между собой по прочности.

Центробежная сила возникает в шлифовальном круге в результате его вращения и приводит к появлению радиальных и окружных напряжений, действующих на элементарном участке шлифовального круга, как показано на рис. 1, б.

Ориентировочные численные значения радиальных и окружных напряжений в любой точке шлифовального круга можно определить на основе следующих формул:

$$\sigma_r = \gamma \frac{\omega^2}{8g} (3 + \mu) \left(b^2 + a^2 - \frac{a^2 b^2}{r^2} \right); \quad (3)$$

$$\sigma_t = \gamma \frac{\omega^2}{8g} (3 + \mu) \left(b^2 + a^2 + \frac{a^2 b^2}{r^2} - \frac{1 + 3\mu}{3 + \mu} r^2 \right), \quad (4)$$

где σ_r и σ_t – соответственно радиальное и тангенциальное напряжения в некоторой точке круга; γ – удельный вес шлифовального круга; ω – угловая скорость вращения круга; g – ускорение свободного падения; μ – коэффициент Пуассона шлифовального круга (μ для кругов на керамической связке равен 0,2-0,3); b , a – радиус круга и посадочного отверстия; r – текущий радиус.

2.2. Методы оценки прочности абразивных инструментов

Как отмечалось выше, расчетные методы определения напряжений в шлифовальных кругах и соответственно их прочности дают недостаточную сходимость результатов с экспериментальными данными, поэтому в тех случаях, когда требуется иметь достоверный результат (например, при контроле прочности изготовленных инструментов), более предпочтительны экспериментальные методы. К наиболее распространенным и общепринятым методам такого рода относится проверка прочности шлифовальных кругов на разрыв. Из вышесказанного ясно, что единственно надежным способом испытания прочности кругов, обеспечивающим безопасные условия работы, является испытание их вращением со скоростью, превышающей рабочую. Получающийся при таком испытании гарантированный коэффициент запаса прочности n зависит от того, насколько испытательная скорость превышает рабочую. Для напряжения $\sigma_{исп}$, возникшего при испытании на скорости $v_{исп}$:

$$\sigma_{исп} = C \frac{\gamma}{g} v_{исп}^2, \quad (5)$$

и для напряжения $\sigma_{раб}$, возникающего при работе на скорости $v_{раб}$:

$$\sigma_{раб} = C \frac{\gamma}{g} v_{раб}^2, \quad (6)$$

следовательно, гарантированный коэффициент запаса прочности:

$$n = \sigma_{исп} / \sigma_{раб} = v_{исп}^2 / v_{раб}^2 . \quad (7)$$

Так как даже значительное повышение обычных на практике давлений шлифования не вызывает в круге значительного увеличения напряжений, то достаточно иметь $n = 2$. Этому, с некоторым запасом в сторону увеличения n , соответствует превышение испытательной скорости $v_{исп}$ над рабочей $v_{раб}$ на 50 %, т.е. $v_{исп} = 1,5 v_{раб}$.

Тогда

$$n = v_{исп}^2 / v_{раб}^2 = (1,5v_{раб})^2 / v_{раб}^2 = 1,5^2 = 2,25 . \quad (8)$$

Для реализации метода проверки прочности кругов на разрыв используются специальные станки (типа СИП, АИП и др.). Они имеют высокоскоростной привод, с помощью которого испытуемый шлифовальный круг постепенно разгоняется до скоростей, в 1,5 раза превосходящих его рабочую скорость (при контроле прочности), или до скоростей, при которых он разрывается на части (при определении прочности). Скорость вращения, при которой круг разрывается, и служит опосредованным показателем прочности или же ее пересчитывают в значения разрывной прочности.

Отличительной особенностью таких станков является наличие у них стальных защитных кожухов с толщиной стенок, достигающей до десятков миллиметров, предотвращающих разлет осколков при разрыве круга.

Получение данных о прочности кругов путем испытания их на разрыв является довольно трудоемкой и дорогостоящей операцией, поэтому для такой цели часто находят применение образцы типа «восьмерок», изготавливаемые из той же смеси, что и шлифовальный круг. Образцы разрушаются растягивающими усилиями на разрывных машинах, а получаемый результат экстраполируется на разрывную прочность круга. Но при сопоставлении опытных данных было обнаружено расхождение между прочностью образцов и прочностью круга в 1,25-2,25 раза.

Аналогичным образом для оценки прочности круга используются результаты прочности на изгиб образцов типа брусков. При этом выявилось еще большее расхождение между прочностью круга и прочностью образцов-брусков. С целью перехода от прочности на изгиб к прочности на растяжение был введен коэффициент, равный отношению величин этих прочностей. Однако, как показала практика, значение этого коэффициента не постоянно, а колеблется, например, для кругов на керамической связке в пределах 2,3–2,9.

Несмотря на эти недостатки, испытания на образцах широко распространены и продолжаются поиски более точной взаимосвязи между прочностью всего инструмента и прочностью образцов.

Проанализировав описанные методы определения прочности шлифовальных кругов, можно прийти к выводу, что, в плане точности и достоверности получаемых результатов, приоритет следовало бы отдать испытаниям, основанным на вращении круга до разрыва. Но реализация этих испытаний сопряжена как с преодолением технических трудностей (необходимо иметь привод с бесступенчатым регулированием скорости вращения, верхняя граница которой должна заходить в область десятков и сотен тысяч оборотов в минуту), так и с повышенной опасностью, связанной с разрушением круга и разлетом осколков.

По этим причинам желателен другой подход к решению задачи по определению прочности кругов, который, при сохранении достоинств прежнего способа, был бы проще в исполнении и безопаснее в получении опытных данных.

Стандартные методики оценки прочности, основанные на использовании специальных образцов – «восьмерок» (испытание на растяжение) и прямоугольных образцов (испытание на изгиб), представлены ниже. Внешний вид и размеры таких образцов изображены на рис. 2, а, б.

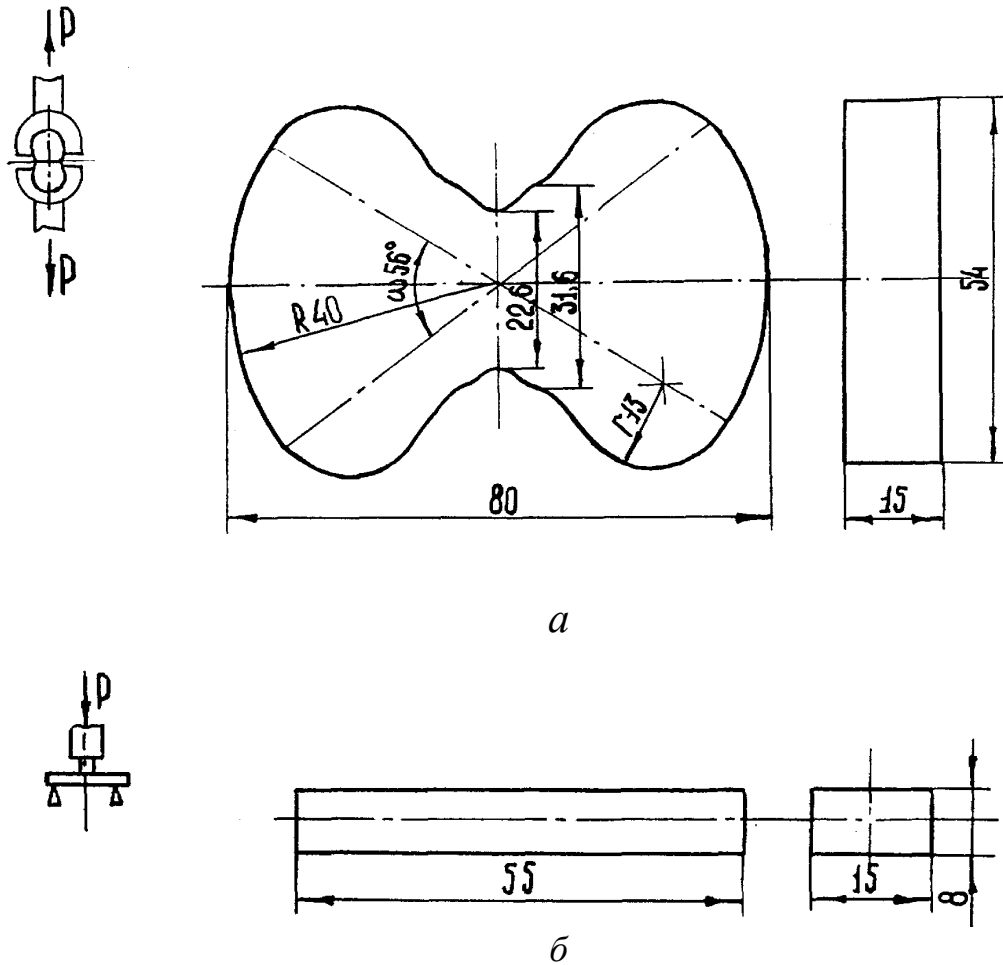


Рис. 2. Вид и размеры образцов для определения прочности на растяжение (а) и изгиб (б)

Можно проводить также испытания на образцах-дисках (на сжатие), которые должны давать наиболее точный и обоснованный результат по прочности для хрупких материалов. Это объясняется тем, что при сжатии таких образцов их разрушение начнется изнутри от напряжений растяжения. Поэтому устраняются многие недостатки, сопутствующие испытаниям на растяжение и изгиб (неточность изготовления и установки образцов, наличие поверхностных дефектов и пр.).

Внешний вид этих образцов и устройство для их испытания показаны на рис. 3.

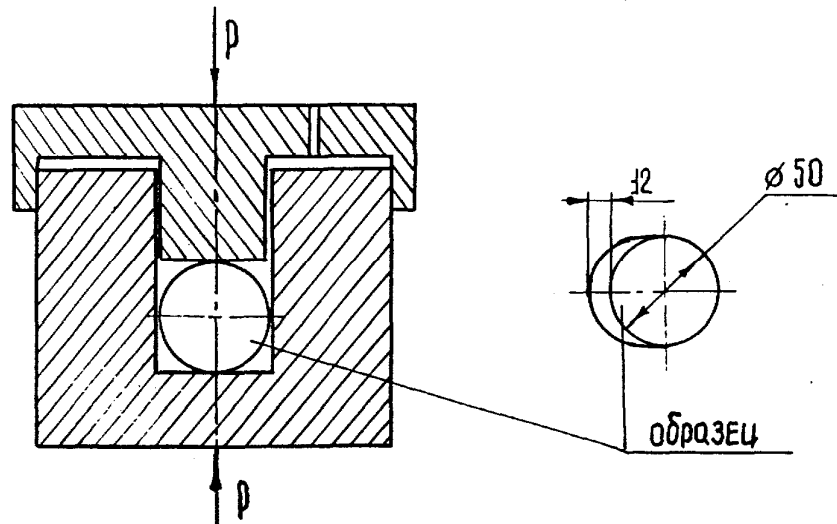


Рис. 3. Схема устройства для испытания образцов на сжатие

2.3. Пути повышения прочности шлифовальных кругов

К числу известных способов повышения прочности шлифовальных кругов относятся (рис. 4):

- уменьшение соотношения между размерами посадочного отверстия и размерами наружного диаметра круга;
- создание кругов вообще без центрального (посадочного) отверстия;
- увеличение высоты круга по мере приближения от периферии к посадочному отверстию;
- изготовление кругов с зёрнами мелких зернистостей (либо всего инструмента, либо его части вблизи посадочного отверстия);
- применение высокопрочных связок и зёрен, повышение их адгезионного взаимодействия;
- повышение прочности зёрен и композитов зерно-связка путем их покрытия металлическими пленками;
- применение армирующих элементов различных конструкций (бандажи, сетки, спирали, кольца, втулки);
- импрегнирование посадочного отверстия круга клеями и другие способы.

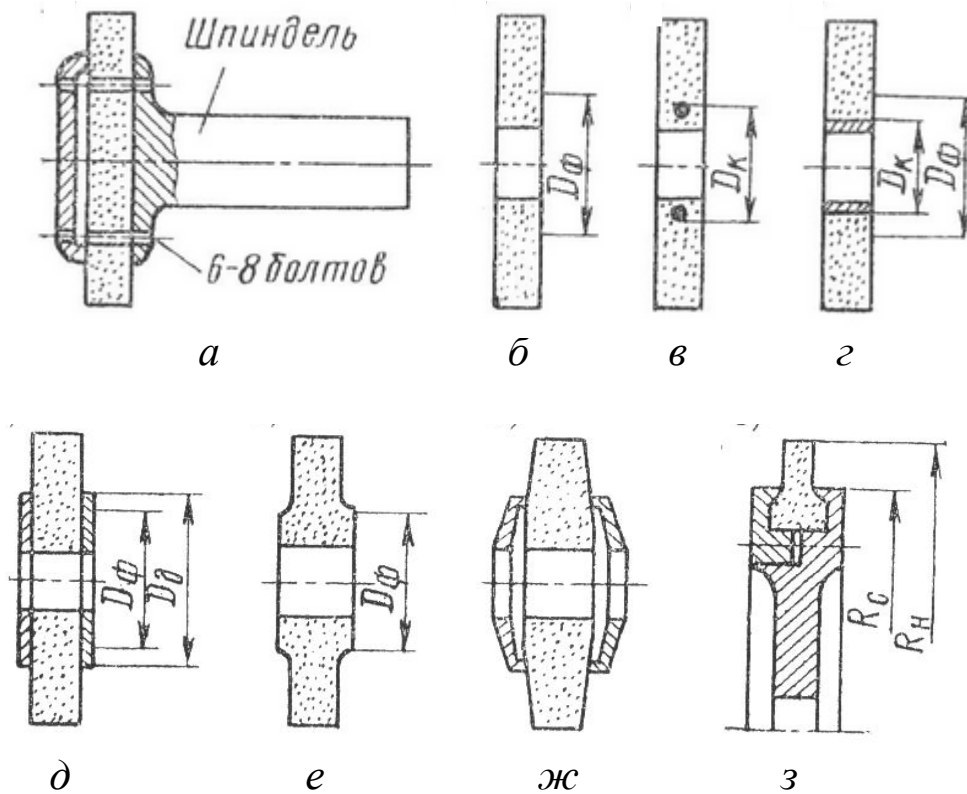


Рис. 4. Высокоскоростные шлифовальные круги

На рисунке позициями обозначены круги: *а* – без центрального отверстия; *б* – с мелкозернистой упрочненной серединой диаметром D_ϕ ; *в* – с армированным металлическим кольцом диаметром D_k ; *г* – с армированной металлической втулкой в отверстии диаметром D_k ; *д* – упрочненный металлическими дисками диаметром D_d , наклеенными на торцы круга; *е* – с утолщенной ступицей диаметром D_ϕ ; *ж* – со специальными разгружающими фланцами; *з* – сборный сегментный (R_n – наружный радиус сегментов, R_c – радиус планшайбы).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя вариант задания (см. приложение).
2. Согласно полученному варианту по формулам (3)–(4) произвести расчет значений радиальных и окружных напряжений шлифовального круга.

3. Оценить, достаточно ли прочность круга для данных условий его эксплуатации.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под прочностью абразивного инструмента?
2. Что оказывает влияние на прочность круга?
3. Какие методы используют при определении прочности абразивных инструментов?
4. Какие существуют пути повышения прочности шлифовальных кругов?

5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков А. Н. Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов : монография. – Кемерово, 2006. – 232 с.
2. ГОСТ 2424-83. Круги шлифовальные. Технические условия. – Москва : Изд-во стандартов, 1983. – 48 с.

Приложение

Варианты заданий

№ вар.	b , мм	a , мм	ω , м/с	μ	r , мм	γ , г/см ³	g , м/с ²
1	125	25,5	42	0,25	120	2,0	9,81
2	150	38	44		140	2,0	
3	150	16	46		145	2,3	
4	200	63,5	48		196	2,7	
5	225	101,5	50		215	2,5	
6	225	63,5	52		222	2,1	
7	250	101,5	54		243	2,0	
8	250	152,5	56		246	2,4	
9	300	101,5	58		291	2,6	
10	375	152,5	60		370	2,9	
11	375	152,5	62		368	2,2	
12	450	152,5	64		445	2,3	
13	450	152,5	66		439	2,5	
14	530	152,5	68		526	2,6	
15	530	152,5	70		519	2,3	

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

ОЦЕНКА РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- ознакомление с понятием режущей способности шлифовальных инструментов;
- освоение методов оценки режущей способности различных абразивных инструментов, а также свободного абразива.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В общем случае под режущей способностью абразивного инструмента понимают количество снятого материала за определенный период времени обработки. Как правило, за показатель режущей способности принимают разность массы шлифуемого образца до обработки и после (весовой метод) либо разность его линейных размеров до и после обработки (размерный метод). На данный показатель существенно влияют зернистость, форма зерна, а также марка абразивного материала.

3. ОЦЕНКА РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВОБОДНОГО АБРАЗИВА

Режущие свойства абразивных материалов обычно оценивают по параметру, именуемому режущей (или абразивной) способностью. Для обеспечения возможности определения и сравнения режущей способности различных абразивов в одинаковых условиях, которые желательно формировать максимально адекватными условиям их реальной эксплуатации, требуется владеть соответствующей методикой испытаний и необходимым оборудованием.

3.1. Методы оценки режущих свойств абразивных материалов

Стандартным методом оценки режущих свойств абразивных материалов является метод истирания специального диска испытуемым абразивом. Для алмазных микропорошков для этой цели используют ГОСТ 9206-70 и прибор модели УАС-2М, а для абразивных шлифматериалов применяют МУ2-036-104-85, МУ2-036-058-82 (разработка ВНИИАШ) и прибор типа «Шлиф».

Суть метода состоит в том, что некоторое количество испытуемого свободного абразива помещается между двумя вращающимися и прижимаемыми с определенным усилием друг к другу дисками. В результате царапания частицами абразива поверхностей дисков происходит постепенное их изнашивание, по величине которого судят об эффективности обработки данным абразивом.

В настоящее время, применительно к абразивным шлифматериалам и прибору «Шлиф-2», метод характеризуется следующими параметрами:

- истиранию подвергается стеклянный диск (стекло марки К8, диаметр диска 50 мм);
- истирание ведется водной суспензией испытуемого абразива (20–25 капель дистиллированной воды на навеску испытуемого шлифматериала);
- истирание ведется на притире из стекла (К8), стали (Ст.3) или чугуна диаметром 110 мм;
- прижатие испытательного диска к притиру осуществляется грузом, вес которого зависит от зернистости испытуемого абразива: 5,85 кг – для микрошлифпорошков и 2,0 кг – для шлифпорошков;
- частота планетарного вращения водила – 59 об/мин, планшайбы – 91 об/мин.

Режущая способность абразива определяется после совершения планшайбой определенного числа оборотов (для микрошлифпорошков – 58, шлифпорошков – 180) путем установления на аналитических весах потери массы испытательного диска.

За результат измерений принимают среднее арифметическое значение трех отдельных испытаний.

Среди других методов оценки режущих свойств абразивных

материалов известны такие, как:

- резание единичным зерном, закрепленным во вращающемся диске;
- царапание единичным зерном обрабатываемого материала на низких скоростях относительного линейного движения;
- метод динамического абразивного изнашивания.

В качестве критерия оценки режущих свойств в этих методах используют различные показатели, такие как: предельная толщина срезанной стружки, длина резания, удельная производительность, работа резания, коэффициент шлифования.

Анализируя все названные методы, включая и стандартный, можно заметить, что выбор и применение их весьма произвольны и практически никак не связаны с реальными условиями последующей работы испытываемого абразива. Более обоснованно было бы проводить испытания абразива именно в тех условиях, в которых он впоследствии будет эксплуатироваться. В этом случае появляется гарантия того, что найденная величина режущей способности будет достаточно точно характеризовать поведение данного абразива в реальном процессе шлифования.

Абразивные материалы предназначены для шлифования, и, следовательно, наиболее целесообразно при определении их режущих свойств воспроизводить условия реального процесса шлифования.

3.2. Определение режущей способности абразивных материалов в условиях реального процесса шлифования

Для определения режущей способности зерен в условиях, удовлетворяющих всем признакам реального процесса шлифования, разработан специальный метод. По своему содержанию он является дальнейшим развитием работ в области использования абразива, уплотненного действием центробежных сил.

Суть метода состоит в том, что получение связанного абразива без использования связки достигается за счет действия центробежных сил на совокупность свободных шлифовальных зерен, перемещаемых в пространстве по кривой траектории. При таком движении на каждое единичное зерно воздействует центробежная сила. Под действием этой силы отдельные зерна прижимают-

ся друг к другу и образуют некоторый слой из псевдозакрепленных частиц. Существование данного слоя, как целостного тела, целиком зависит от наличия центробежных сил, при отсутствии которых слой тут же распадается. Образовав данный слой, зерна приобретают свойства шлифовального инструмента, поэтому, при прижатии к слою образца обрабатываемого материала, начнется процесс шлифования. Оценивая эффективность этого процесса, можно определять режущую способность свободных шлифовальных зерен.

В качестве средства перемещения шлифовальных зерен по кривой траектории в предлагаемом методе используется пустотелый барабан, имеющий возможность вращаться вдоль горизонтальной оси. Подвод и прижатие неподвижных (либо вращающихся) обрабатываемых деталей к слою зерен могут быть осуществлены так, как показано на рис. 1.

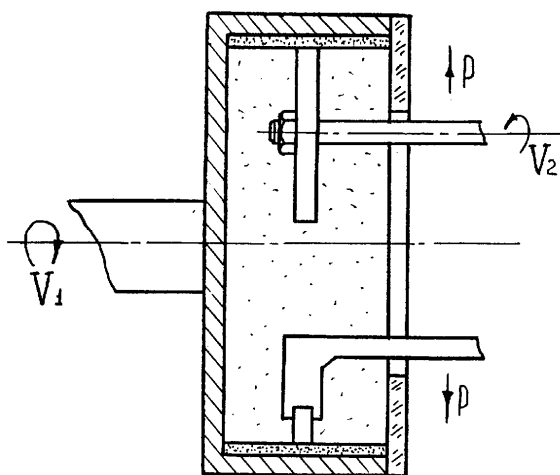


Рис. 1. Обработка шлифовальным слоем неподвижной и вращающейся деталей

Оценка режущей способности абразивов по данному методу производится следующим образом.

Предварительно взвешенную обрабатываемую деталь вводят с помощью кронштейна внутрь вращающегося барабана и, после закрепления кронштейна в держателе ползуна, плавно прижимают к шлифовальному слою грузом. В течение некоторого времени ведут обработку детали, после чего ее вынимают и взвешивают на аналитических весах. Режущая способность ис-

пытуемого абразива определяется как разность массы детали до и после испытаний.

Метод дает возможность оценивать режущую способность любых абразивных частиц. Это могут быть шлифовальные зерна, частицы связки или механическая смесь частиц связки с зернами. При испытании частиц связки можно установить долю, вносимую ими в общий процесс резания инструмента. Смесь частиц связки (с размерами, соответствующими соединительным мостикам связки в инструменте) с зернами позволяет моделировать ту или иную структуру шлифовального инструмента и находить ее оптимальное сочетание, не прибегая к непосредственному изготовлению инструмента.

3.3. Оборудование и материалы

1. Токарно-винторезный станок мод. 1К62 с закрепленным в патроне специальным барабаном для размещения свободного абразива (см. рис. 1).
2. Лабораторные весы с точностью отсчета не менее 0,001 г.
3. Стальные обрабатываемые образцы.
4. Навески испытуемого абразивного материала.

3.4. Подготовка и проведение испытаний

1. Взвесить стальной образец на весах.
2. Засыпать абразивный материал в барабан.
3. Закрепить образец в специальном держателе и прижать к шлифовальному слою грузом.
4. Установить режимы испытания, указанные в табл. 1.
5. Согласно установленным режимам произвести обработку.
6. Повторно взвесить образец.
7. Определить режущую способность (Q) свободного абразива как разность масс образца до и после испытаний.
8. По результатам нескольких испытаний построить график зависимости $Q = f(N)$, где N – количество опытов.

Таблица 1

Режимы испытаний

Скорость вращения барабана, об/мин	Усилие прижатия образца, Н	Время обработки, с
1 000	7	60

4. ОЦЕНКА РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Для процесса работы шлифовальных кругов характерно самозатачивание, составляющее одно из основных отличий абразивного инструмента от лезвийного. Оно состоит в том, что в результате выкрашивания абразивных зерен появляются новые острые режущие кромки, а при достаточно большом размерном износе в работу вступает новый ряд абразивных зерен, что позволяет сохранить высокую режущую способность круга в течение сравнительно длительного периода времени.

Ухудшение режущих свойств круга, вызванное затуплением абразивных зерен и налипанием на них металла, приводит к увеличению силы резания и температуры шлифования и, в конечном итоге, к ухудшению точности и качества обработки. Исходя из сказанного, важно не только оценивать режущую способность и износ круга, но и принимать меры, обеспечивающие его оптимальную работу.

Режущая способность шлифовальных кругов (приведенная к единице высоты круга) Q_m , мм³/мин, рассчитывается по формуле (ГОСТ 2424-83):

$$Q_m = \frac{W_m}{t_m B_k}, \quad (1)$$

где W_m – объем снятого металла, мм³; t_m – машинное время шлифования, мин; B_k – высота круга, мм.

По массовому методу режущая способность определяется следующим образом:

$$Q = \frac{m_1}{m_2}, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 – соответственно масса испытуемого стального образца до испытаний и после.

Важной эксплуатационной характеристикой шлифовальных кругов является также коэффициент шлифования, который определяется по формуле

$$K = \frac{W_m}{W_a}, \quad (3)$$

где W_m – объем снятого металла, мм^2 ; W_a – объем изношенной части шлифовального круга, мм^2 .

Помимо показателей режущей способности и коэффициента шлифования о качестве шлифовального инструмента можно судить по его износу.

Для оценки износа кругов обычно используют два показателя:

1) среднюю скорость износа, т.е. количество (по объему и массе) сошлифованного обрабатываемого материала в единицу времени работы круга Q_a ($\text{см}^3/\text{мин}$, $\text{г}/\text{мин}$, $\text{мг}/\text{мин}$), иногда величину Q_a относят к единице высоты круга;

2) удельный износ, т. е. объемное или массовое количество изношенного абразива, отнесенное соответственно к единице объема или массе сошлифованного металла q ($\text{см}^3/\text{см}^3$, $\text{мм}^3/\text{мм}^3$, $\text{мг}/\text{г}$). Количественную оценку изменения формы и размеров круга вследствие износа, необходимую для вычисления величин Q_a и q , производят непосредственным измерением его размеров или взвешиванием круга.

4.1. Оборудование и материалы

1. Плоскошлифовальный станок мод. 3Г71.
2. Лабораторные весы с точностью отсчета не менее 0,01 г.
3. Стальные образцы в виде плоских прямоугольных пластин.

4.2. Подготовка и проведение испытаний

1. Взвесить стальной образец на весах.
2. Закрепить образец на магнитном столе плоскошлифовального станка.
3. Установить режимы испытания, указанные в табл. 2.
4. Согласно установленным режимам произвести обработку.
5. Повторно взвесить образец.
6. По формуле (2) определить режущую способность (Q).
7. По результатам нескольких испытаний построить график зависимости $Q = f(N)$, где N – количество опытов.

Таблица 2

Режимы испытаний

Материал образца	Скорость резания, м/с	Продольная подача, м/мин	Время обработки, мин
Сталь 45	33	3	5

5. ОЦЕНКА РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ШКУРОК

Метод определения режущей способности шлифовальных шкурок на тканевой основе регламентирован ГОСТ 5009-82, а для бумажных шлифовальных шкурок – ГОСТ 6456-82.

Суть метода заключается в следующем. Производят шлифование эталонного стержня из калиброванной стали марки 45 образцом шлифовальной шкурки в течение определенного времени. Затем производят измерение длины сошлифованного участка стержня. Режущую способность (Q , мм³/мин) определяют как отношение объема сошлифованной части эталонного стержня к продолжительности цикла шлифования:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (4)$$

где V – объем сошлифованной части эталонного стержня, мм³;
 t – продолжительность цикла шлифования, с.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h = \pi r^2 h, \quad (5)$$

где d и r – соответственно диаметр и радиус эталонного стержня;
 h – высота сошлифованной части эталонного стержня.

5.1. Оборудование и материалы

1. Прибор для испытания.

Схема прибора для определения режущей способности шлифовальных шкурок на тканевой основе показана на рис. 2.

2. Штангенциркуль с погрешностью 0,05 мм.

3. Образцы шлифовальной шкурки длиной 680 мм и шириной 20 мм.

4. Стержень из калиброванной стали марки 45 по ГОСТ 1051-73 диаметром 10 мм и длиной 300 мм.

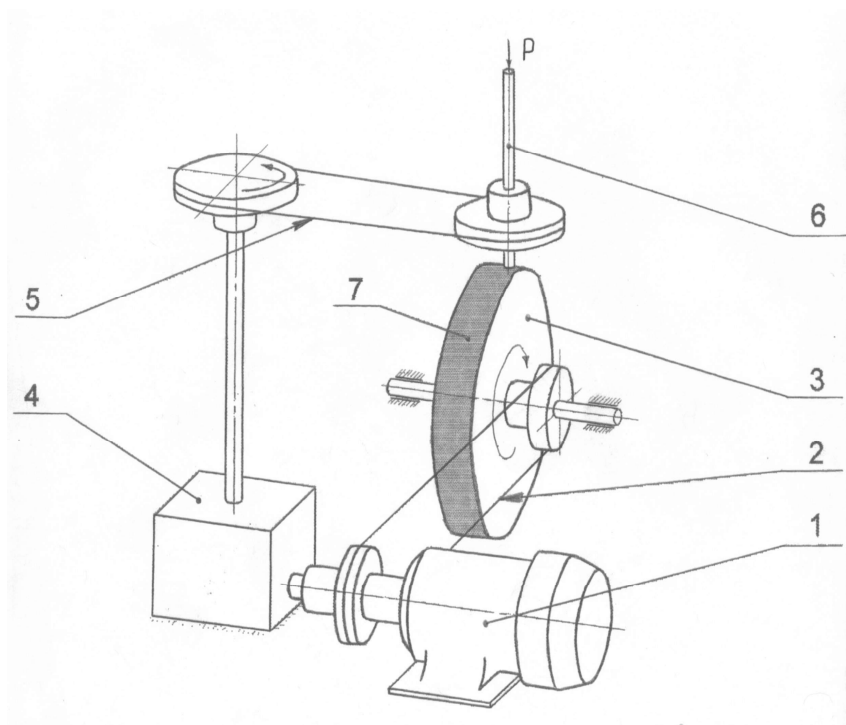


Рис. 2. Схема прибора для контроля режущей способности шлифовальных шкурок на тканевой основе

Электродвигатель (1) передает вращение по двум кинематическим цепям. Первая цепь – через клиноременную передачу (2) на барабан (3). Вторая цепь – через червячный редуктор (4), клиноременную передачу (5) на стержень (6). На барабане закрепляется образец шлифовальной шкурки (7).

5.2. Подготовка и проведение испытаний

1. Закрепить образец шлифовальной шкурки на барабане прибора и шлифуемый стержень в патроне-держателе.
2. Установить режимы испытания, указанные в табл. 3.
3. Стержень в процессе испытания прижимается к образцу шлифовальной шкурки при помощи грузов, а после каждого цикла меняется или охлаждается до комнатной температуры.
4. После осуществления цикла шлифования производится измерение длины сошлифованного участка стержня штангенциркулем с погрешностью 0,05 мм.
5. Режущую способность (Q) определить по формуле (4).
6. По результатам нескольких испытаний построить график зависимости $Q = f(N)$, где N – количество опытов.

Таблица 3

Режимы испытаний

Зернистость	Скорость шлифования, м/с	Частота вращения стержня, мин ⁻¹	Радиальная нагрузка, Н	Продолжительность цикла шлифования, с
4–5	15	36	19,6	60
6–8			29,4	
10–16			39,2	40
20–50			44,1	20
40–25			63,6	10

6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить задание (по усмотрению преподавателя определяется режущая способность либо свободного абразива, либо шлифовальных кругов, либо шлифовальных шкурок).

2. Согласно пп. 3.4, 4.2 и 5.2, в зависимости от задания, провести испытания, в результате которых определить значения режущей способности предложенных абразивных инструментов или материалов.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под режущей способностью абразивных инструментов?

2. Какие параметры оказывают влияние на режущую способность?

2. Назовите основные методы оценки режущих свойств абразивных материалов.

3. Как определяется режущая способность абразивных материалов в условиях реального процесса шлифования?

4. Как производится оценка режущей способности шлифовальных кругов?

5. Как производится оценка режущей способности шлифовальных шкурок на тканевой основе?

6. Опишите схему прибора для определения режущей способности шлифовальных шкурок.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков, А. Н. Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов : монография / А. Н. Коротков. – Кемерово, 2006. – 232 с.

2. Короткова, Л. П. Контроль качества инструментальных материалов : учеб. пособие / Л. П. Короткова, Д. Б. Шатько; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2010. – 163 с.

3. ГОСТ 6456-82. Шкурка шлифовальная бумажная. – Введ. 01.01.1983. – Москва : Изд-во стандартов, 1985. – 13 с.

4. ГОСТ 5009-82. Шкурка шлифовальная тканевая. – Введ. 01.01.1983. – Москва : Изд-во стандартов, 1985. – 9 с.

5. ГОСТ 2424-83. Круги шлифовальные. Технические условия. – Введ. 01.01.1985. – Москва : Изд-во стандартов, 1983. – 48 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

ОЦЕНКА ТВЕРДОСТИ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- ознакомление с понятием твердости абразивных инструментов;
- изучение методик оценки твердости абразивных инструментов;
- изучение критериев выбора твердости абразивных инструментов;
- приобретение навыков измерения твердости абразивных инструментов.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Методы измерения твердости

Твердость абразивных инструментов является важной характеристикой абразивного инструмента. Под твердостью абразивного инструмента понимают свойство связки оказывать сопротивление проникновению в него другого тела (или сопротивляться вырыванию абразивных зерен с поверхности инструмента под влиянием внешних усилий). Установлено семь классов твердости – мягкий, средне-мягкий, средний, средне-твердый, твердый, весьма твердый, чрезвычайно-твердый (табл. 1 приложения).

Степень твердости абразивного круга характеризует прочность удержания зерна в теле круга. Она практически не зависит от твердости абразивного зерна. Чем легче абразивное зерно выкрашивается из инструмента, тем он мягче, и наоборот. Показателем твердости абразивного инструмента является глубина лунки на поверхности круга (при использовании пескоструйного метода измерения твердости по ГОСТ 18118–72) или показания шкалы прибора Роквелла (при использовании метода вдавливания шарика по ГОСТ 19202–73). Первый метод определения твердости применяют для инструментов на всех видах связок,

зернистостью 50 и менее и при высоте круга 8 мм и более, второй – на керамической и бакелитовой связках, зернистостью 12 мм и менее и при высоте круга не более 8 мм. Твердость кругов на вулканитовой связке определяют в соответствии с ГОСТ 21323–75.

В ряде случаев для повышения плотности и твердости кругов последние изготавливают из смеси зерен двух или трех номеров. Этим достигается более плотная укладка зерен при прессовании. Круги чрезвычайно твердые, например идущие для обработки тел качения шарикоподшипников, изготавливают из смеси зерен корундовых и карбидокремниевых материалов.

После изготовления круги проверяют на точность размеров и степень уравнированности. Далее круги, в соответствии со стандартом (ГОСТ 2424-75, ГОСТ 12.2.001-74), испытывают на механическую прочность путем вращения на специальных испытательных станках, а затем проверяют на твердость. Крупнозернистые круги испытывают на пескоструйных приборах мод. 909 и 910 завода «Калибр», мелкозернистые – на твердомерах ТК-2.

В табл. 1, 2, 3 приложения приведены условные обозначения и показатели твердости абразивных кругов.

2.2. Критерии выбора твердости абразивных инструментов

При выборе твердости абразивных инструментов учитывают физико-механические свойства обрабатываемого материала, требования к точности и качеству поверхности. В абразивных инструментах класса А регламентируется равномерность твердости в пределах одной степени твердости, а для класса Б – в пределах двух степеней твердости.

Твердость абразивных инструментов в значительной степени влияет на производительность процесса обработки и качество обработанной детали. При выборе твердости круга необходимо руководствоваться следующими основными положениями:

1. При обработке твердых материалов абразивные зерна быстрее истираются и затупляются; удаление затупившихся зерен легче происходит в сравнительно мягких кругах, поэтому для обработки твердых материалов следует применять мягкие и среднемягкие абразивные инструменты, а для обработки мате-

риалов невысокой твердости – более твердые; исключение составляют медь, алюминий, свинец, нержавеющая и жаропрочная сталь, которые обрабатывают мягким инструментом.

2. С увеличением площади контакта между кругом и деталью давление на единицу площади круга уменьшается и, следовательно, обновление круга затрудняется; в этом случае следует применять более мягкий инструмент.

3. С повышением окружной скорости круга при прочих постоянных условиях следует уменьшать твердость применяемого инструмента; при интенсификации процесса шлифования за счет повышения скорости обрабатываемой детали или поперечной подачи применяют более твердые круги.

4. Для предварительных операций шлифования применяют более твердые круги, чем для чистовых операций.

5. При шлифовании без охлаждения следует использовать менее твердые круги, чем при работе с охлаждением.

6. При шлифовании неровных, прерывистых поверхностей необходимо применять более твердые инструменты, чем при шлифовании ровных поверхностей.

7. На автоматических станках с повышенной жесткостью шпинделя применяют более мягкие круги, чем на станках с ручной подачей.

8. Мелкозернистый инструмент должен иметь относительно меньшую твердость, чем крупнозернистый.

9. При заточке режущих кромок закаленного инструмента, при шлифовании и заточке пластинок из твердых сплавов, при обработке тонких деталей и деталей, плохо отводящих тепло, применяют мягкие шлифовальные круги.

10. При одинаковых условиях шлифования абразивный инструмент на бакелитовой связке должен быть на две степени тверже инструмента на керамической связке.

11. Мягкие круги в среднем экономичнее твердых, так как их реже правят и при их использовании можно вести обработку с более интенсивными режимами, однако твердость их не должна быть столь низкой, при которой круги быстро изнашиваются и теряют форму.

12. Для правки абразивного инструмента, обработки деталей часовых механизмов, шлифования шариков шарикоподшипников применяют наиболее твердые абразивные круги.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя образцы абразивных инструментов различных типоразмеров, структуры, зернистости.

2. Произвести измерение твердости полученных образцов на приборе Роквелла.

3. Полученные результаты свести в таблицу (табл. 4 приложения).

4. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

1. Образцы абразивных инструментов.

2. Прибор Роквелла для измерения твердости.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под твердостью абразивного инструмента?

2. Какие методы используют при определении твердости абразивных инструментов?

3. Какими критериями руководствуются на практике при выборе твердости абразивных инструментов?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короткова, Л. П. Контроль качества материалов (в машиностроительном производстве): учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Конструкт.-технолог. обеспечение машиностроит. пр-в" / Л. П. Короткова, Д. Б. Шатько, Д. М. Дубинкин; ФГБОУ ВПО "Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева". - Кемерово, 2011. - 171 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90705&type=utchposob:common>

2. Магомедов, Ш. Ш. Управление качеством продукции [Электронный ресурс]: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Товароведение и экспертиза товаров

(по областям применения) / Ш. Ш. Магомедов, Г. Е. Беспалова. – М.: Дашков и К*, 2012. - 336 с.

<http://www.biblioclub.ru/book/112236/>

3. Управление качеством продукции машиностроения [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов вузов / под общ. ред. М. М. Кане – М.: Машиностроение, 2010. - 416 с.

<http://www.biblioclub.ru/book/57060/>

4. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / под ред. А. Н. Резникова. – Москва : Машиностроение, 1977. – 304 с.

5. Технология обработки конструкционных материалов / под ред. П. Г. Петрухи. – Москва : Высш. шк., 1991. – 512 с.

6. ГОСТ 18118–79. Инструмент абразивный. Измерение твердости пескоструйным методом. – Москва : Изд-во стандартов, 1979. – 8 с.

7. ГОСТ 19202–80. Инструмент абразивный. Измерение твердости методом вдавливания шарика. – Москва : Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.

8. ГОСТ 21323–75. Инструмент абразивный. Измерение твердости методом вдавливания конуса. – Москва : Изд-во стандартов, 1975. – 7 с.

Приложение
Таблица 1

Условные обозначения и показатель твердости абразивных кругов,
определяемые пескоструйным методом и при давлении воздуха в камере $p = 1,5 \text{ кгс/см}^2$

Твердость кругов	Обозначение степени твердости	Глубина лунки (мм) при зернистости						
		50	40–32	25–16	12–8	6–М40	М28–М20	М14 и менее
Мягкий	МЗ	—	—	—	—	—	—	5,0–4,6
Средне- мягкий	СМ1	—	—	—	—	—	5,05–4,55	4,6–4,2
	СМ2	4,0–3,4	4,9–4,2	5,6–4,9	5,3–4,6	5,1–4,6	4,55–4,1	4,2–3,8
Средний	С1	3,4–2,85	4,2–3,6	4,9–4,3	4,8–4,3	4,6–4,1	4,1–3,6	3,8–3,4
	С2	2,85–2,35	3,6–3,05	4,3–3,7	4,3–3,9	4,1–3,6	3,6–3,2	3,4–3,1
Средне- твердый	СТ1	2,35–2,0	3,05–2,55	3,7–3,15	3,9–3,5	3,6–3,1	3,2–2,9	3,1–2,8
	СТ2	2,0–1,7	2,55–2,2	3,15–2,75	3,5–3,1	3,1–2,8	2,9–2,6	2,8–2,5
	СТ3	1,7–1,45	2,2–1,9	2,75–2,35	3,1–2,8	2,8–2,5	2,6–2,3	2,5–2,2
Твердый	Т1	1,45–1,25	1,9–1,6	2,35–2,1	2,8–2,5	2,5–2,2	2,3–2,05	2,2–2,8
	Т2	1,25–1,1	1,6–1,45	2,1–1,85	2,5–2,2	2,22–,05	2,05–1,9	2,5–2,2
Весьма твердый	ВТ	1,1–0,9	1,45–1,2	1,85–1,6	—	—	—	—
Чрезвычайно твердый	ЧТ	0,9–0,75	1,2–1,1	1,6–1,4	—	—	—	—

Таблица 2

Условные обозначения и показатель твердости абразивных кругов,
определяемые пескоструйным методом и при давлении воздуха в камере $p = 0,5 \text{ кгс/см}^2$

Твердость кругов	Обозначение степени твердости	Глубина лунки (мм) при зернистости					
		50	40–16	12–8	6–М40	М28–М20	М14 и менее
Мягкий	М1	4,3–3,4	5,6–4,6	6,1–5,55	6,1–5,20	4,65–4,05	2,6–2,2
	М2	3,4–2,4	4,6–3,4	5,55–4,85	5,2–4,3	4,65–3,45	2,2–1,8
	М3	2,4–1,55	3,4–2,3	4,85–4,15	4,3–3,7	3,45–2,85	–
Средне- мягкий	СМ1	1,55–1,0	2,3–1,45	4,15–3,35	3,7–3,1	–	–

Таблица 3

Условные обозначения и показатель твердости абразивных кругов, определяемые по методу Роквелла (шкала В)

Степень твердости круга	Обозначение степени твердости	Показатель твердости при зернистости		
		12–8	6–5	4 и менее
Мягкий	M1	6–6	2–10	19–27
	M2	6–27	10–19	27–36
	M3	27–37	19–27	36–45
Средне-мягкий	CM1	4–13	27–36	45–55
	CM2	13–24	36–45	55–65
Средний	C1	24–35	45–55	65–73
	C2	35–44	55–65	73–81
Средне-твердый	CT1	44–54	65–73	81–87
	CT2	54–63	73–82	87–96
	CT3	63–72	82–89	96–102
Твердый	T1	72–80	89–96	102–106
	T2	80–88	96–102	106–110

Примечание. Этот метод применяют при высоте круга не более 8 мм.

Таблица 4

Результаты измерений

Характеристики абразивного инструмента				Показания шкалы прибора Роквелла
Марка абразива	Зернистость	Тип связки	№ структуры	