

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

А. В. МОРОЗОВ
В.Г. ГУСЕВ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНАМ
«ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ АБРАЗИВНОГО
ИНСТРУМЕНТА» И «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ
АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ»**

Владимир 2009

УДК 621.923

ББК 34.637.3

М80

Рецензенты:

Заслуженный изобретатель Российской Федерации,
доктор технических наук, профессор зав. кафедрой менеджмента
Владимирского государственного гуманитарного университета
В. И. Денисенко

Доктор технических наук, профессор
кафедры технологии машиностроения
Владимирского государственного университета
А. В. Белевич

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Морозов, А. В.

М80 Лабораторный практикум по дисциплинам «Прогрессивные конструкции абразивного инструмента» и «Современные процессы абразивной обработки» / А. В. Морозов, В. Г. Гусев ; Владимир. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 84 с.
ISBN 978-5-89368-985-3

Приведены современные конструкции абразивного шлифовального инструмента с дискретной режущей поверхностью, рассмотрены виды неуравновешенностей, корректировка масс нового класса абразивного инструмента, критерии оценки и процессы дискретного шлифования заготовок.

Предназначен для магистрантов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», полезен студентам 4-го и 5-го курсов, обучающимся по специальностям 151001 – технология машиностроения и 150206 – машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов.

Ил. 21. Библиогр.: 10 назв.

УДК 621.923

ББК 34.637.3

ISBN 978-89368-985-3

© Владимирский государственный
университет, 2009

Введение

Финишная обработка металлов и сплавов оказывает большое влияние на качество поверхностного слоя деталей и эксплуатационные свойства. Наиболее распространенный метод окончательной обработки деталей – шлифование, обеспечивающее высокую точность их изготовления.

Шлифование характеризуется большими тепловыделениями в зоне обработки, что вызвано высокими скоростями упругих и пластических деформаций обрабатываемого материала, скоротечностью процесса снятия стружки, а также сравнительно высоким коэффициентом трения инструмента о заготовку.

Интенсивные тепловыделения играют негативную роль, прежде всего, в процессе формирования показателей качества шлифованного поверхностного слоя, характеризующих его физико-механическое состояние.

Процессу шлифования стандартными кругами как технологическому методу с момента его возникновения сопутствуют дефекты в обработанном поверхностном слое деталей (прижоги, растягивающие остаточные напряжения, фазовые и структурные изменения и др.), которые до настоящего времени не устранены при повышенных режимах шлифования, несмотря на эффективное использование смазочно-охлаждающих жидкостей и другие способы интенсификации отвода тепла из зоны резания.

В настоящем лабораторном практикуме поставлена задача изложить наиболее важные положения прогрессивных конструкций абразивного инструмента и современных процессов абразивной обработки, имеющих непосредственное отношение к практической деятельности инженера-технолога. Большое внимание уделено процессу шлифования кругами с дискретной режущей поверхностью. В ходе лабораторных работ освещены сущность процесса, методика расчета геометрических параметров прерывистых кругов, характеристика рабочей поверхности и практический опыт их применения.

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ АБРАЗИВНОГО
ИНСТРУМЕНТА»**

Лабораторная работа № 1

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ,
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАНДАРТНОГО
ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА**

1. Цель работы

Изучение методики экспериментального определения основных показателей, характеризующих эффективность шлифовальных инструментов:

- съема металла;
- расхода абразива;
- коэффициента шлифования.

2. Задание

1. Изучить основные показатели, характеризующие эффективность любой конструкции шлифовального инструмента, используемого для механической обработки заготовок.

2. Изучить методику экспериментального определения съема металла, расхода абразива и коэффициента шлифования.

3. Определить износ шлифовального круга, работающего периферией, и на основании износа оценить погрешности обработанной поверхности, обусловленные износом инструмента.

3. Съем металла, расход абразива и коэффициент шлифования

Конструктивное совершенство шлифовальных абразивных и алмазных кругов определяется рядом показателей, таких как коэффициент шлифования, коэффициент режущей способности, минутный съем металла, расход абразивного материала. Основным из них является коэффициент шлифования, который определяется по формуле

$$K = \frac{Q_M}{Q_A}, \quad (1)$$

где Q_M – объем снятого материала заготовки; Q_A – объем абразива, израсходованного на снятие материала заготовки объемом Q_M .

Объём снятого материала можно найти на основе известных размеров шлифуемой поверхности и снятого припуска

$$Q_M = B \cdot l \cdot Z \cdot N, \quad (2)$$

где B, l – ширина и длина обрабатываемой поверхности заготовки соответственно (см. рисунок, фрагмент «а»); Z – припуск, снимаемый с одной заготовки во время ее шлифования (см. рисунок, фрагмент «б»); N – количество деталей, прошлифованных инструментом за период стойкости инструмента.

Расход абразивного материала за время снятия припуска у всей партии заготовок определим по формуле

$$Q_A = F_k \cdot U, \quad (3)$$

где F_k, U – среднее значение площади режущей периферийной поверхности шлифовального круга и радиальный износ круга соответственно.

Радиальный износ круга U равен уменьшению радиуса шлифовального круга за время шлифования, то есть $U = \Delta R$.

Площадь режущей периферийной поверхности шлифовального круга

$$F_k = \pi \cdot D_k \cdot B_k, \quad (4)$$

где D_k, B_k – диаметр и высота шлифовального круга, используемого в процессе обработки заготовок.

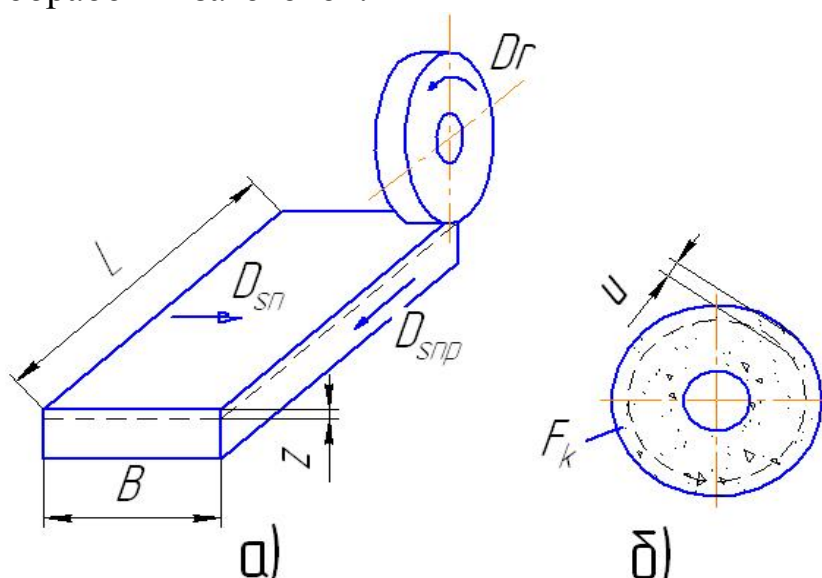


Схема плоского периферийного шлифования заготовки (а) и износ круга, возникающий в результате снятия с заготовки припуска Z (б): D_r, D_{sn}, D_{snp} – рабочие движения, совершаемые кругом и заготовкой

Подставив формулы (2) – (4) в формулу (1), получим выражение для определения коэффициента шлифования

$$K = \frac{B \cdot l \cdot Z \cdot N}{\pi \cdot D_k \cdot U \cdot B_k}. \quad (5)$$

Из выражения (5) получаем математическую зависимость, позволяющую определить величину износа шлифовального круга:

$$U = \frac{B \cdot l \cdot Z \cdot N}{\pi \cdot D_k \cdot B_k \cdot K}. \quad (6)$$

В зависимости от численного значения коэффициента шлифования K различают три режима работы шлифовального круга.

Режим полного самозатачивания, когда $K \leq 1$, характеризуется выкрашиванием зёрен по мере их затупления. Износ абразива сравнительно большой, но нет прижогов. Такой коэффициент K имеют мягкие круги с твёрдостью М1 – М3. Поскольку при режиме полного самозатачивания шлифовальный круг непрерывно обновляет свою режущую поверхность, правку таких кругов не проводят и круг работает до полного своего износа баз правок.

Режим частичного самозатачивания, $K = (1,5 - 3,0)$, при котором незначительная часть затупленных зёрен вырывается из связи, некоторые зерна раскалываются на более мелкие части, а некоторые выдерживают нагрузку, подвергаясь затуплению. Этот режим обеспечивает более экономный расход абразива и более продолжительную работу режущего инструмента. В режиме частичного самозатачивания работают шлифовальные круги твёрдостью СМ1, СМ2, С1.

Режим затупления ($K > 5$). Связка прочно удерживает абразивные зерна в круге. Поэтому зерна не вырываются, а затупляются. Резание затупившимися зёрнами приводит к повышению температуры металла, в результате он расплавляется, наволакивается на абразивные зерна и проникает в поры круга. Этот процесс называется засаливанием шлифовального круга. Засаленный круг резать не может. Чтобы восстановить режущую способность, круги правят, т.е. снимают с круга тонкий слой засаленного абразива.

Для уменьшения погрешностей обработки, вызванных износом инструмента, необходимо применять износостойкие инструментальные материалы, например твёрдые сплавы, минераллокерамику, алмазный абразивный материал, кубический нитрид бора, карбид крем-

ния и другие износостойкие материалы. Чтобы правильно построить технологический процесс шлифования, необходимо, прежде всего, правильно выбрать характеристику шлифовального круга, которая наносится на торец инструмента, например в виде ПП 500*50*305 95А25ПСМ27К5. Названная характеристика означает:

ПП – шлифовальный круг плоского профиля;

500*50*305 – наружный диаметр круга 500 мм, высота 50 мм и диаметр внутреннего отверстия 305 мм соответственно;

95А – материал абразивных зерен, электрокорунд легированный;

25 – номер зернистости круга, характеризует величину (диаметр) абразивного зерна в сотых долях мм;

П – повышенное содержание абразивных зерен основной фракции;

СМ2 – твердость шлифовального круга, среднемягкий круг второй степени;

7 – структура круга;

К5 – керамическая связка № 5.

При выборе шлифовального круга следует иметь в виду, что чем меньше зернистость круга, тем меньше шероховатость обработанной поверхности, и наоборот. Чем выше твердость круга, тем больше вероятность появления прижогов, но меньше износ инструмента. В общем машиностроении чаще всего используются шлифовальные круги зернистостью 40-16, твердостью МЗ-С2.

4. Износ шлифовального круга

Абразивные зерна, участвующие в работе шлифования, при контакте с обрабатываемой поверхностью испытывают периодическое силовое и тепловое воздействия. Результатами этих воздействий являются: а) истирание вершин режущих кромок абразивных зерен, появление на них площадок износа и налипших частичек металла; б) выкрашивание (скалывание) микрочастиц абразивных зерен вследствие ударного характера нагрузки и усталостного разрушения; в) вырывание целых абразивных зерен из связки.

Перечисленные явления наряду с заполнением пор рабочей поверхности круга стружкой вызывают ухудшение режущих свойств абразивного инструмента и его размерный износ.

Размерный износ круга и нарушение его правильной геометрической формы происходят главным образом из-за выкрашивания абразивных зерен и вырывания их из связки. Эти разновидности износа вместе с тем оказывают положительное влияние на процесс шлифования, вызывая самозатачивание круга. Самозатачивание составляет одно из основных отличий абразивного инструмента от лезвийного. 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.

Размерный износ круга, как правило, вызывает нарушение его правильной геометрической формы: появление овальности, отклонение профиля продольного сечения, отклонение от плоскостности в случае обработки торцом круга, появление волнистости на рабочей поверхности и др.

Эти отклонения снижают геометрическую точность обработки и вызывают волнистость шлифованной поверхности. Чтобы восстановить первоначальное состояние круга, удалить с его рабочей поверхности засаленный слой и придать правильную форму, необходима правка круга.

Период работы круга между двумя правками характеризует его стойкость. Период стойкости круга зависит от его размеров и характеристики, материала и конфигурации обрабатываемой детали, режима резания, жесткости и виброустойчивости шлифовального станка, среды, в которой происходит процесс шлифования.

5. Измерение износа шлифовального круга

Для оценки износа кругов обычно используют два показателя: а) среднюю скорость износа, т. е. количество (по объему и массе) изношенного абразивного материала в единицу времени работы круга Q_a ($\text{см}^3/\text{мин}$, $\text{мм}^3/\text{мм}$, $\text{г}/\text{мин}$, $\text{мг}/\text{мин}$) (иногда величину Q_a относят к единице высоты B круга); б) удельный износ, т. е. объемное или массовое ко-

личество изношенного абразива, отнесенное соответственно к единице объема или массе сошлифованного металла q , мм³/мм³, мг/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.

Наиболее распространенным методом является измерение круга до и после шлифования. Измерение может быть выполнено с помощью микрометра (для кругов небольших размеров) или индикатора при измерении от специальной базы. Базой может служить наружная поверхность планшайбы, дополнительное кольцо, установленное на планшайбе вместе с кругом, или наклеенный на торец круга кусочек органического стекла с обточенной наружной поверхностью. Измерения выполняют не менее чем в четырех противоположных точках по окружности круга и в трех точках вдоль образующей. Среднеарифметическое значение из 12 измерений гарантирует погрешность не более $\pm 0,005$ мм для кругов средних зернистостей и структур и $\pm 0,007$ мм для высокопористых и крупнозернистых кругов. Определив величину радиального износа ΔR , можно рассчитать среднюю скорость износа

$$Q_a = \frac{\pi \cdot D \cdot B_k \cdot \Delta R}{\tau}, \quad (7)$$

где D – средний диаметр круга, равный полусумме диаметров до и после шлифования; B_k – высота круга, мм; τ – время шлифования, мин (выбрано достаточно большое для получения заметного радиального износа).

Для более точного измерения износа кругов (особенно алмазных и эльборовых, а также в случаях точного профильного шлифования) может быть использован метод копирования профиля врезанием вращающегося круга в тонкую стальную пластинку. Предварительно на рабочей поверхности круга алмазом протачивают небольшой уступ высотой D . Измерение величины D до и после шлифования позволяет определить радиальный износ круга.

Нестабильность процесса шлифования, вызванная неуравновешенностью и неоднородной структурой круга, а также вибрациями в зоне шлифования, приводит к его неравномерному износу – отклонению от круглости и волнистости рабочей поверхности. Отклонение от круглости и волнистость режущей поверхности инструмента переносят-

ся на деталь, образуя на шлифуемой поверхности волны, значительно меньшие по длине и высоте, чем волны на шлифовальном круге.

Определение отклонения от круглости и волнистости круга производят методом ощупывания его рабочей поверхности при медленном вращении. Консольный тензометрический щуп с радиусным наконечником ($r \geq 25$ мм) и датчиком устанавливают на столе станка; шлифовальному кругу с помощью специального переносного редуктора сообщают медленное вращение ($0,5 - 2,0$ мин⁻¹); перемещения щупа через тензостанцию записываются на фотоленте осциллографа. По такой же схеме можно записать микронеровности на рабочей поверхности круга, установив в щуп наконечник с меньшим радиусом ($r \leq 10$ мкм) и уменьшив скорость относительного перемещения. Высота волнистости на круге обычно не выходит за пределы 50 мкм и зависит от твердости круга, режима и длительности шлифования, а также жесткости технологической системы.

Наиболее важным критерием оценки износа круга является удельный износ. Большие значения удельного износа для каждого обрабатываемого материала заготовки соответствуют более интенсивным режимам шлифования и мягким шлифовальным кругам. Влияние интенсивности режима резания на величины Q_a и q чаще всего выражают в виде степенных зависимостей $Q_a = CQ_M^m$ и $q = CQ_M^{m-1}$ от скорости съема металла Q_M . Показатель степени m и коэффициент C определяют экспериментально. Для абразивных кругов из электрокорунда и карбида кремния $m = 1,6 - 2,0$; в качестве величины C можно в первом приближении принимать меньшие значения удельного износа. Данные величин C , приведенные в табл. 2,74 и 2,75 в справочнике «Абразивная и алмазная обработка материалов» (под ред. А. Н. Резникова), соответствуют принятым скоростям шлифования. Увеличение скорости вращения круга, как правило, приводит к уменьшению удельного износа за исключением некоторых операций заточки твердосплавного инструмента и шлифования жаропрочных сталей и сплавов, где эта закономерность может не иметь места.

При шлифовании быстрорежущих и высоколегированных сталей, а также жаропрочных сплавов кругами из монокорунда удельный износ примерно на 20 – 50 % меньше, чем при использовании электрокорундовых кругов.

6. Содержание работы и методические указания по ее выполнению

1. Изучить теоретические положения работы.
2. Шлифовальный круг проверить визуально на отсутствие сколов, трещин, забоин, проверить его на звук легким постукиванием по подвешенному инструменту деревянным предметом.
3. Обратит внимание на маркировку, нанесенную на торец шлифовального круга, расшифровать ее и занести в отчет по лабораторной работе.
4. Собрать шлифовальный круг с металлическими фланцами, проставив между абразивным материалом инструмента и фланцами картонные прокладки, не допуская какого-либо контакта абразива с металлом. Надежно закрепить круг во фланцах с помощью болтов.
5. Установить собранный, отбалансированный и прошедший испытание на механическую прочность шлифовальный круг на шпиндель станка. Провести правку шлифовального круга и измерить его диаметр в восьми сечениях по окружности и четырех точках по образующей цилиндрической поверхности круга.
6. Прошлифовать заготовки, измерить размеры обрабатываемых деталей до и после шлифования и вычислить объем снятого материала с одной заготовки, а затем и со всех.
7. Измерить размеры шлифовального круга после обработки всех заготовок и рассчитать износ шлифовального круга.
8. Рассчитать численные значения удельного съема, расхода абразива и коэффициента шлифования, а также величину износа шлифовального круга.
9. Сделать вывод о том, в каком режиме работал шлифовальный инструмент и об эффективности конструкции применяемого шлифовального круга.

7. Средства, используемые при выполнении лабораторной работы

1. Дисковое балансировочное приспособление.
2. Комплект балансировочных сухарей и балансировочная оправка.
3. Металлические фланцы для закрепления шлифовального круга.
4. Шлифовальный круг стандартной конструкции.
5. Индикатор с ценой деления 0,002 мм.
6. Измерительная оправка.
7. Микрометр с диапазоном измеряемых размеров 0 – 25 мм и ценой деления 0,01 мм.

8. Оформление отчета и сдача зачета по лабораторной работе

После выполнения лабораторной работы студент оформляет отчет, в котором приводятся кратко теоретические положения, схема шлифования заготовки, правки шлифовального круга, режим обработки заготовок, данные, полученные после измерений, а также результаты обработки экспериментов.

Зачет по лабораторной работе проставляет преподаватель на основании правильных ответов студента (магистранта) на заданные вопросы. Вопросы могут касаться как теоретических аспектов темы, методики выполнения работы, вывода математических моделей инструмента, обработки экспериментальных данных, методики измерений износа и других размеров, так и физической сущности процессов.

Лабораторная работа № 2

ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С ЛАЗЕРНОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

1. Цель работы

Изучение конструкции шлифовального инструмента с лазерной дискретизацией режущей поверхности и методики экспериментального определения основных показателей, характеризующих эффективность этого дискретного шлифовального круга.

2. Задание

1. Изучить методику формирования прерывающихся участков на режущей поверхности инструмента, основные показатели, характеризующие его эффективность, и математические модели, описывающие дискретную режущую поверхность, выполненную с использованием лазерного излучения.

2. Изучить методику экспериментального определения съема металла, расхода абразива и коэффициента шлифования для круга с лазерной дискретизацией режущей поверхности.

3. Определить износ названного дискретного шлифовального круга, работающего периферией.

4. Сравнить результаты по съему металла, расходу абразива и коэффициенту шлифования, полученные в настоящей работе, с аналогичными данными для сплошного шлифовального круга и сделать выводы об эффективности двух сравниваемых конструкций шлифовального инструмента.

3. Конструкция шлифовального круга с лазерной дискретизацией режущей поверхности

Дискретные шлифовальные круги по сравнению с обычными стандартными кругами со сплошной режущей поверхностью характеризуются рядом достоинств, основными из которых являются уменьшение тепловыделений в зоне резания, повышение режущей способности и стойкости шлифовального инструмента; улучшение качественных показателей обработанного поверхностного слоя деталей, характеризующих его физико-механическое состояние; экономия абразивного материала и др.

Наряду с этими преимуществами этот класс шлифовальных инструментов имеет и недостатки: ударный характер работы инструмента, повышенный уровень вибрации технологической системы станок – приспособление – инструмент – заготовка и более высокие геометрические погрешности обработанных поверхностей (повышенная шероховатость, волнистость).

Уменьшение протяженностей участков прерывания и участков резания позволяет уменьшить время упругого восстановления и упругой деформации шпиндельного узла шлифовального станка, а следовательно, снизить уровень вибрации элементов технологической системы.

Шлифовальный круг с дискретной режущей поверхностью состоит из абразивной основы 1 (рис. 1), на цилиндрической поверхности 2 которой выжжены с помощью лазерного луча радиальные отверстия 3 диаметром $2r$. Отверстия расположены на цилиндрической режущей поверхности в виде чередующихся длинных 4 и коротких строк 5 (рис. 2), параллельных оси вращения инструмента.

Отверстия в соседних строках смещены в осевом направлении на половину шага T_{oc} (см. рис. 2), что обеспечивает шахматный порядок и наиболее близкое расположение друг к другу отверстий короткой и длинной строк, т.е. малую длину режущих и прерывающих участков режущей поверхности.

Выжженные отверстия имеют глубину (длину) $l_0 = 0,1D$ (D – диаметр режущей поверхности инструмента), равную толщине рабочего абразивного слоя, изнашиваемого в течение всего ресурса работы круга.

Уровень вибрации технологической системы зависит от протяженности участка прерывания, т.е. протяженности воздушного промежутка между режущими элементами (например между соседними сегментами сборных абразивных кругов). С увеличением этой протяженности уровень вибрации возрастает. Отмеченная закономерность справедлива также и для шлифовальных инструментов с дискретизацией режущей поверхности в виде коротких и длинных строк отверстий.

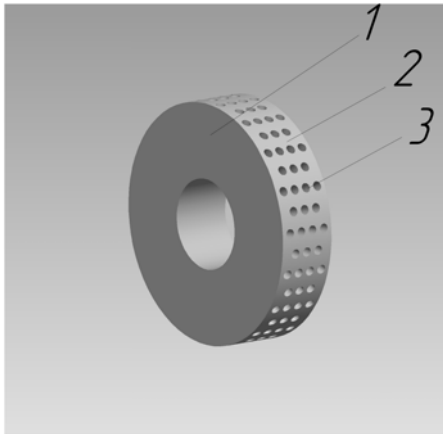


Рис. 1. Шлифовальный круг с лазерной дискретизацией

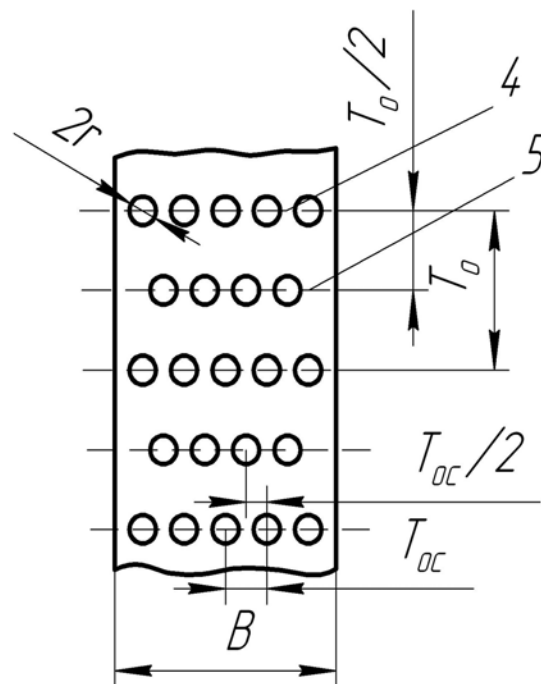


Рис. 2. Расположение отверстий в осевом направлении

Поэтому для уменьшения уровня вибрации, вызываемой дискретностью режущей поверхности инструмента, необходимо уменьшать протяженность участков прерывания, т. е. выполнять их как можно меньше. Уменьшение длины участка прерывания до единиц миллиметров в дискретных сегментных и цельных пресованных кругах с выступами и впадинами невозможно ввиду возникновения малых размеров сегментов и выступов. Сегменты толщиной, измеряемой единицами миллиметров, во-первых, не обладают достаточной механической прочностью, разрушаются под действием силы резания и, во-вторых, значительно усложняют конструкцию инструмента и его сборку.

Выполнение прерывающих и режущих участков с малой протяженностью путем нанесения отверстий в абразивном или алмазном инструменте традиционными методами механической обработки затруднительно (при обработке абразива режущий инструмент интенсивно изнашивается и выходит из строя), поэтому для этих целей в предлагаемом инструменте использован лазерный луч.

Число отверстий n_{∂} в длинной строке равно ближайшему меньшему целому числу отношения

$$n_{\partial} = \frac{B}{(3-4)r}, \quad (1)$$

где B – высота дискретного шлифовального инструмента.

Число строк n_0 по окружности режущей поверхности равно меньшему целому числу отношения

$$n_0 = \frac{\pi D}{T_0}, \quad (2)$$

где T_0 – окружной шаг соседних строк отверстий (см. рис. 2).

Расчет по приведенным зависимостям числа отверстий, расположенных в строках и по окружности, позволяет разместить на режущей поверхности инструмента наибольшее количество отверстий, а следовательно, увеличить время дискретного шлифования взамен сплошного в течение каждого оборота инструмента, что приводит к снижению тепловыделений в зоне обработки и повышению качества обработанного поверхностного слоя деталей.

Поскольку на режущую поверхность инструмента нанесено большое число радиальных отверстий, частота внешнего динамического воздействия (силы резания) значительно увеличивается. В процессе дискретного шлифования предложенным кругом может возникнуть резонанс. Собственная частота колебаний шпиндельного узла с установленным инструментом равна, кратна или близка к частоте изменения силы резания.

Безрезонансный режим работы дискретного инструмента обеспечивается соблюдением условия

$$T_0 > \frac{\omega D}{\sqrt{c/m}}, \quad (3)$$

где T_0 – окружной шаг отверстий; ω – угловая скорость вращения инструмента; c , m – коэффициент жесткости и масса шпиндельного узла с установленным инструментом соответственно.

Соблюдение неравенства $3r < T_{oc} < 4r$ обеспечивает перекрытие отверстий короткой и длинной строк в окружном направлении и позволяет устранить сплошные кольцевые режущие участки между соседними отверстиями строк, приводящие к недопустимому сплошному шлифованию. Указанное перекрытие позволяет осуществить прерывистое шлифование вместо сплошного, что приводит к снижению температуры в зоне резания, а следовательно, повышению качества поверхностного слоя обработанных деталей.

С увеличением радиуса r число отверстий в длинной строке n_{∂} уменьшается, при этом уменьшается также суммарное число отверстий n_{Σ} , размещенных на всей режущей поверхности. Число отверстий n_{Σ} изменяется по кривой второго порядка, расположенной на различном уровне относительно горизонтальной оси в зависимости от численных значений высоты круга B , наружного диаметра D (рис. 3). Уменьшение n_{∂} , n_0 , n_{Σ} объясняется тем, что с ростом радиуса r увеличивается площадь, занимаемая каждым выжженным отверстием, в то время как площадь режущей поверхности шлифовального круга при неизменных его габаритных размерах остается постоянной. Число отверстий n_{Σ} для различных диаметров инструмента можно определить на основании формул, представленных на графике.

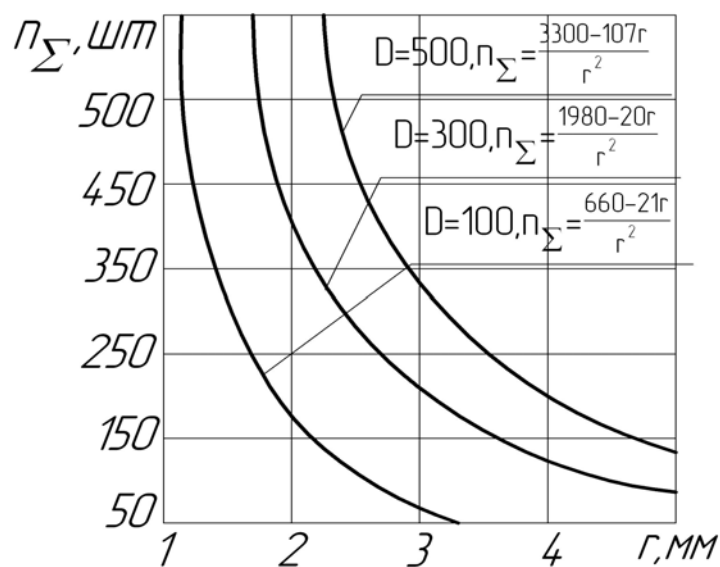


Рис. 3. Влияние радиуса выжженных отверстий на количество отверстий, расположенных на режущей поверхности круга

С увеличением высоты B и диаметра режущей поверхности D дискретного шлифовального круга суммарное число отверстий n_{Σ} увеличивается по линейной зависимости, что объясняется ростом площади

режущей поверхности инструмента при увеличении габаритных его размеров. Увеличение осевого $T_{ос}$, окружного T_0 и углового шагов при возрастании радиуса r объясняется увеличением межосевого расстояния соседних выжженных отверстий и уменьшением их числа.

Характерной особенностью дискретных шлифовальных кругов, кроме всего сказанного выше, является то, что в процессе работы этими инструментами возникают меньшие численные значения составляющих силы резания.

На рис. 4 представлены схемы режущих поверхностей дискретных шлифовальных кругов в виде: параллельных оси круга выступов и впадин; наклонных к оси круга выступов и впадин; параллельных строк отверстий, выжженных лазерным лучом; параллельных строк отверстий, смещенных друг относительно друга в осевом направлении.

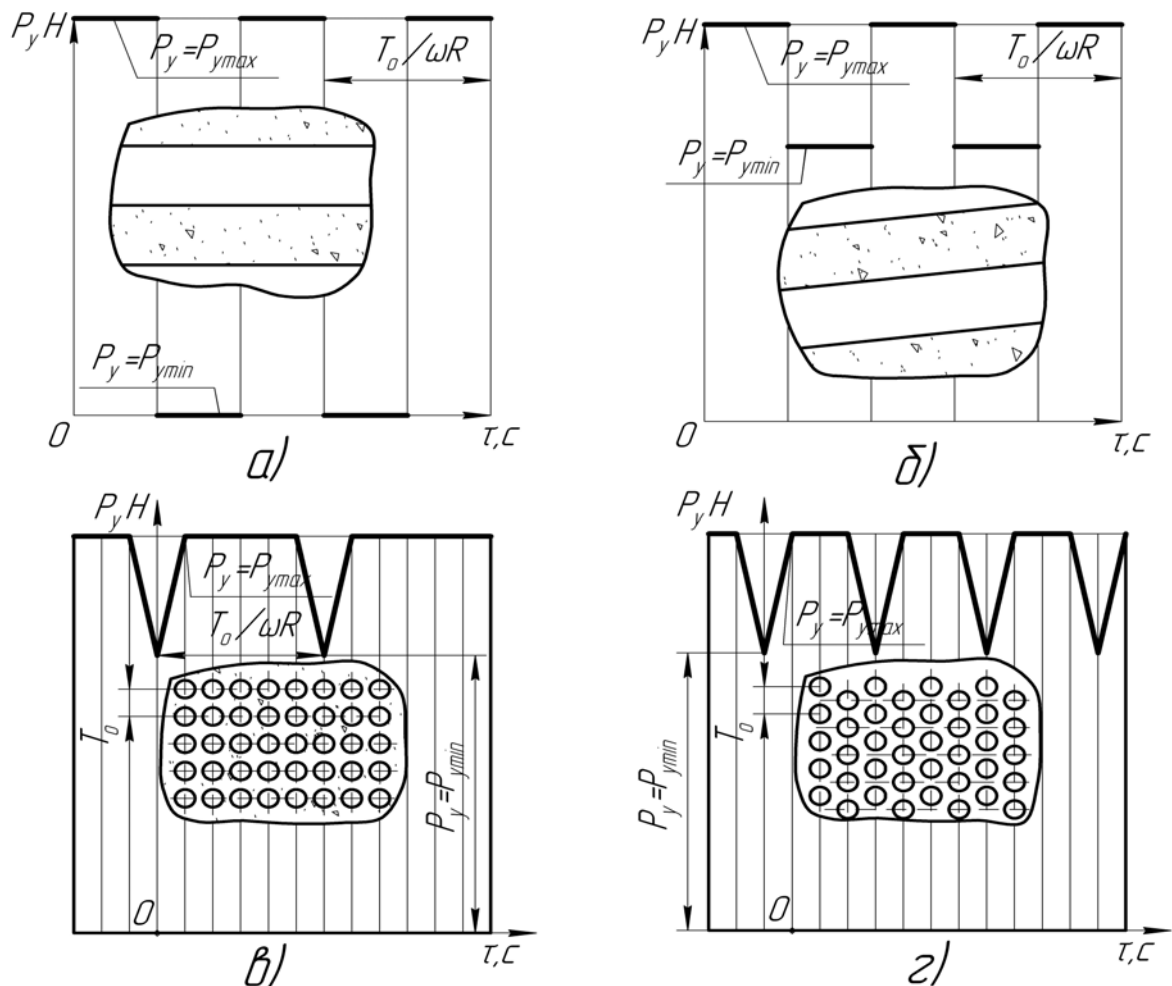


Рис. 4. Изменение радиальной составляющей силы резания P_y при обработке дискретными кругами различных конструкций: *а* – с параллельными абразивными выступами (сегментами); *б* – с наклонными абразивными выступами (сегментами); *в* – с отверстиями без осевого смещения смежных строк; *г* – с отверстиями с осевым смещением смежных строк

Каждой представленной схеме дискретной режущей поверхности шлифовальных кругов свойственна своя индивидуальная динамика процесса резания и отдыха, выходные параметры обработанной поверхности и т. д.

Для режущей поверхности, представленной в виде параллельных выступов (см. рис. 4, *а*), радиальная составляющая силы резания P_y с течением времени шлифования изменяется скачкообразно от максимального $P_y = P_{y\max}$ до минимального значения $P_y = P_{y\min} = 0$. Значение $P_{y\max}$ соответствует моменту времени, когда абразивный выступ контактирует с обрабатываемой поверхностью заготовки, а значение $P_{y\min} = 0$ – когда процесс резания отсутствует и напротив обрабатываемой заготовки расположена впадина. Время одного цикла резания – отдыха

$$\tau = T_0 / \omega R, \quad (4)$$

где T_0 – окружной шаг выступов; ω – угловая скорость инструмента; R – радиус режущей поверхности шлифовального круга.

Для режущей поверхности, представленной в виде наклонных выступов (см. рис. 4, *б*), радиальная составляющая силы резания изменяется в течение каждого цикла обработки от $P_y = P_{y\max}$ до $P_y = P_{y\min} > 0$. Иными словами, радиальная составляющая силы резания при второй схеме не принимает нулевых значений, что объясняется наличием перекрытия соседних выступов.

При реализации третьей схемы режущей поверхности (см. рис. 4, *в*), сформированной в виде параллельных строк отверстий, изменение силы P_y происходит в меньшем диапазоне, чем в первом случае (см. рис. 4, *а*) и в течение большего промежутка времени, чем во втором случае (см. рис. 4, *б*). Для четвертой схемы, при которой режущая поверхность сформирована строками отверстий, смещенных в осевом направлении, изменение численного значения силы P_y происходит так же, как и в третьем случае, но частота изменения P_y в два раза выше, чем при третьей схеме.

Естественно, что результаты шлифования зависят от внешних возмущающих факторов, среди которых основным является сила ре-

зания. В этой связи съём металла, расход абразива, коэффициент шлифования будут для приведенных четырех схем существенно отличаться друг от друга.

4. Съём металла, расход абразива и коэффициент шлифования для круга с лазерной дискретизацией режущей поверхности

Конструктивное совершенство шлифовальных абразивных и алмазных кругов определяется рядом показателей, таких как коэффициент шлифования, коэффициент режущей способности, минутный съём металла, расход абразивного материала. Основным из них является коэффициент шлифования, который определяется по формуле

$$K = \frac{Q_M}{Q_a}, \quad (5)$$

где Q_M – объем снятого материала заготовки; Q_a – объем абразива, израсходованного на снятие материала заготовки объемом Q_M .

Объём снятого материала можно найти на основе известных размеров шлифуемой поверхности и снятого припуска

$$Q_M = B \cdot l \cdot Z \cdot N, \quad (6)$$

где B, l – ширина и длина обрабатываемой поверхности заготовки соответственно (см. фрагмент «а» рисунка лаб. работы № 1); Z – припуск, снимаемый с одной заготовки во время ее шлифования (см. фрагмент «б» рисунка лаб. работы № 1); N – количество деталей, прошлифованных инструментом за период стойкости инструмента.

Расход абразивного материала за время снятия припуска со всей партии заготовок определим по формуле

$$Q_a = F_k U - F_{омв} U = F_k U - \pi r^2 n_{\Sigma} U, \quad (7)$$

где F_k – среднее значение площади режущей периферийной поверхности сплошного шлифовального круга; U – радиальный износ дискретного круга; $F_{омв}$ – площадь отверстий, расположенных на режущей поверхности инструмента; r – радиус отверстия; n_{Σ} – суммарное число отверстий.

Радиальный износ U дискретного круга равен уменьшению радиуса шлифовального круга за время шлифования, т. е. $U = \Delta R$.

Площадь режущей периферийной поверхности сплошного шлифовального круга

$$F_k = \pi D_k B_k, \quad (8)$$

где D_k , B_k – диаметр и высота сплошного шлифовального круга соответственно.

Подставив формулы (6) – (8) в формулу (5), получим выражение для определения коэффициента шлифования

$$K = \frac{BIZN}{F_k U - \pi r^2 n_\Sigma U}, \quad (9)$$

где Z – припуск, снимаемый с одной заготовки; N – количество прошлифованных заготовок.

Из выражения (9) получаем математическую зависимость (10), позволяющую определить величину износа U шлифовального круга с лазерной дискретизацией режущей поверхности.

$$U = \frac{BIZN}{K(F_k - \pi r^2 n_\Sigma)}. \quad (10)$$

Дискретный шлифовальный круг для обработки одного и того же материала заготовки выбирают на 1 - 2 степени тверже, поэтому его износ значительно меньше по сравнению со сплошным шлифовальным кругом. В этой связи знаменатель в выражении (9) для дискретного круга меньше, а коэффициент шлифования больше, чем у сплошного шлифовального круга. Чем выше твердость шлифовального инструмента, тем меньше износ, тем больше коэффициент шлифования и объем металла, снимаемого кругом за каждый единичный объем израсходованного абразивного материала. Дискретные шлифовальные инструменты, в том числе и круги с лазерной дискретизацией режущей поверхности, характеризуются образованием в процессе шлифования так называемой фронтальной поверхности, на которой вскрывается (обнажается) большое количество дополнительных режущих зерен. После того как фронтальная поверхность у инструмента образовалась, дискретный шлифовальный круг сохраняет продолжительное время свою режущую способность.

Меньший износ инструмента приводит и к меньшим погрешностям обработки за исключением микрогеометрии обработанной по-

верхности. Чтобы построить эффективный технологический процесс дискретного шлифования, необходимо, прежде всего, выбрать характеристику шлифовального круга, например в виде ПП 500*50*305 95А25ПСМ27К5. Не следует забывать, что твердость дискретного шлифовального круга выбирается на одну-две степени выше, чем твердость сплошного круга. Характеристика абразивного материала для дискретного шлифовального круга обозначается так же, как и для сплошного круга:

ПП - шлифовальный круг плоского профиля;

500*50*305 – наружный диаметр круга, высота и диаметр внутреннего отверстия соответственно, мм;

95А – материал абразивных зерен, электрокорунд легированный;

25 – номер зернистости круга характеризует величину (диаметр) абразивного зерна в сотых долях миллиметрах;

П – повышенное содержание абразивных зерен основной фракции;

СМ2 – твердость шлифовального круга, среднемягкий круг второй степени;

7 – структура круга;

К5 – керамическая связка № 5.

При выборе шлифовального круга следует иметь в виду, что чем меньше зернистость круга, тем лучше шероховатость обработанной поверхности, и наоборот. Чем выше твердость круга, тем больше вероятность появления прижогов, но меньше износ инструмента. В общем машиностроении чаще всего используются дискретные шлифовальные круги зернистостью 40-12, твердостью СМ-СЗ.

5. Содержание работы и методические указания по ее выполнению

1. Изучить теоретические положения работы.

2. Шлифовальный круг с лазерной дискретизацией режущей поверхности проверить визуально на отсутствие сколов, трещин, забоин, проверить его на звук легким постукиванием по подвешенному инструменту деревянным предметом.

3. Обратит внимание на маркировку, нанесенную на торец шлифовального круга, расшифровать ее и занести в отчет по лабораторной работе.

4. Собрать шлифовальный круг с металлическими фланцами, проставив между абразивным материалом инструмента и фланцами картонные прокладки, не допуская контакта абразива с металлом. Надежно закрепить круг во фланцах с помощью болтов.

5. Установить собранный, сбалансированный и прошедший испытание на механическую прочность шлифовальный круг на шпиндель станка. Провести правку шлифовального круга и измерить его диаметр в восьми сечениях по окружности и четырех точках по образующей цилиндрической поверхности круга.

6. Прошлифовать заготовки, измерить размеры обрабатываемых деталей до и после шлифования и вычислить объем снятого материала с одной заготовки, а затем и со всех.

7. Измерить размеры дискретного шлифовального круга после обработки всех заготовок и рассчитать износ инструмента.

8. Отдельно измерить износ дискретного инструмента в области выжженных отверстий и построить схему фронтальной поверхности.

9. Пункт 8 повторить несколько раз после шлифования в течение 5 - 6 мин.

10. Рассчитать численные значения удельного съема, расхода абразива и коэффициента шлифования.

11. Построить гистограмму коэффициента шлифования в зависимости от режима шлифования для дискретного и сплошного абразивного инструмента.

12. Сделать вывод о том, в каком режиме работал дискретный инструмент и об эффективности конструкции применяемого дискретного шлифовального круга по сравнению со сплошным кругом.

6. Средства, используемые при выполнении лабораторной работы

1. Дисковое балансировочное приспособление.
2. Комплект балансировочных сухарей, балансировочная оправка.
3. Металлические фланцы для закрепления шлифовального круга.
4. Шлифовальный круг с лазерной дискретизацией режущей поверхности.
5. Индикатор с ценой деления 0,002 мм.
6. Измерительная оправка.
7. Микрометр с диапазоном измеряемых размеров 0 – 25 мм и ценой деления 0,01 мм.

7. Оформление отчета и сдача зачета по лабораторной работе

После выполнения лабораторной работы студент оформляет отчет, в котором приводятся кратко теоретические положения, схема и режимы шлифования заготовки кругом с лазерной дискретизацией режущей поверхности. Приводится схема дискретного шлифовального круга, результаты измерений его размеров и формы режущей поверхности, а также данные, полученные в результате измерений и обработки экспериментов.

Зачет по лабораторной работе проставляет преподаватель на основании правильных ответов студента (магистранта) на заданные вопросы. Вопросы могут касаться как теоретических аспектов темы, методики выполнения работы, вывода математических моделей параметров, характеризующих эффективность применяемого инструмента, обработки экспериментальных данных, методики измерений износа и размеров инструмента, так и физической сущности процессов шлифования и формирования фронтальной поверхности.

Лабораторная работа № 3

АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ ВЫСТУПАМИ И ВПАДИНАМИ, ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

1. Цель работы

Изучение конструкции шлифовального инструмента с чередующимися выступами, впадинами и методики экспериментального определения основных показателей, характеризующих его эффективность.

2. Задание

1. Изучить основные показатели, характеризующие эффективность шлифовального инструмента с чередующимися выступами и впадинами.

2. Изучить методику экспериментального определения съема металла, расхода абразива и коэффициента шлифования для инструмента с чередующимися выступами и впадинами.

3. Определить износ шлифовального круга с чередующимися выступами и впадинами.

4. Измерить износ абразивных выступов и построить сформировавшуюся фронтальную поверхность в течение отдельных промежутков времени.

5. Сравнить численные значения съема металла, расхода абразива и коэффициента шлифования для абразивных кругов различных конструкций и на основании этого сделать вывод об эффективности применяемой конструкции кругов по сравнению с другими конструктивными вариантами инструмента.

3. Конструкции дискретных шлифовальных кругов с чередующимися выступами и впадинами

Цельные прерывистые абразивные круги, работающие периферией круга, вследствие наличия впадин на рабочей поверхности позволяют периодически прерывать процесс резания во времени, что дает возможность обрабатываемой заготовке остывать в промежутках времени между соседними резами.

Шлифовальный круг имеет основную абразивную массу 1 (рис. 1), выступы 2 и впадины 3. Протяженность выступов и впадин можно изменять, что позволяет в определенных пределах регулировать температуру обрабатываемой заготовки 4.

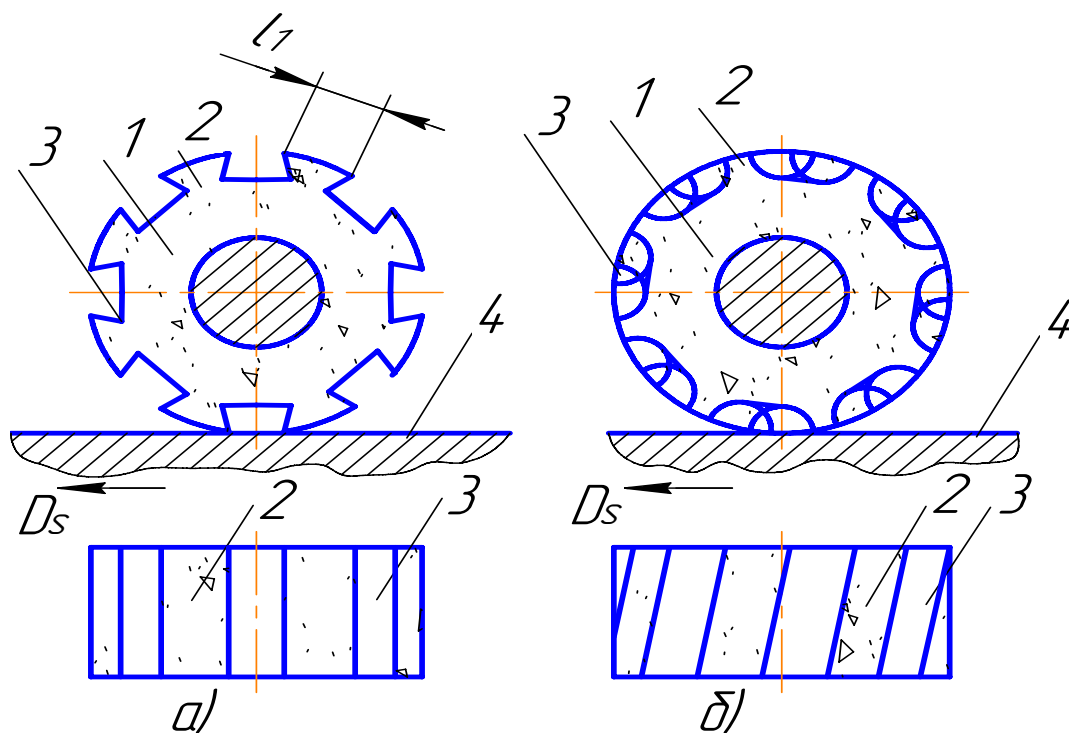


Рис. 1. Цельные прерывистые абразивные круги с прямыми (а) и косыми выступами (б)

Шлифовальный круг с чередующимися выступами, между которыми имеются воздушные промежутки, может быть выполнен в виде не только цельного инструмента, но и сборной конструкции (рис. 2).

Дискретную (прерывистую) режущую поверхность можно получить, собрав в одном корпусе 1 абразивные сегменты 2, отстоящие друг от друга на заданном расстоянии l .

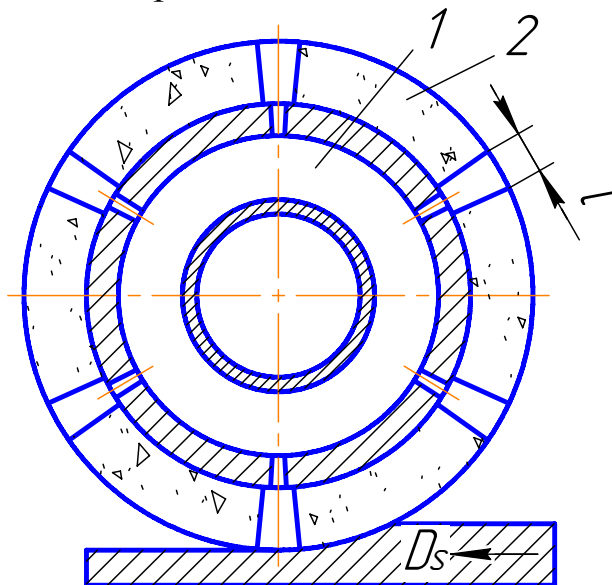


Рис. 2. Сборный шлифовальный круг с дискретной режущей поверхностью, работающий периферией

После сборки инструмента образуется дискретная режущая поверхность и появляется возможность регулирования теплового режима при шлифовании.

4. Съем металла, расход абразива и коэффициент шлифования для дискретного абразивного круга с чередующимися выступами и впадинами

Для шлифовальных кругов с чередующимися выступами и впадинами съем металла в единицу времени определяется так же, как и для других конструктивных вариантов инструмента.

Определение расхода абразивного материала и коэффициента шлифования для кругов с чередующимися выступами и впадинами принципиально отличается от аналогичного определения этих величин для других конструктивных вариантов инструментов.

Расход абразивного материала для кругов с чередующимися выступами и впадинами следует определять по формуле

$$Q_a = (\pi D - na)UB = bnUB, \quad (1)$$

где D – диаметр режущей поверхности шлифовального круга с чередующимися выступами и впадинами; n – число абразивных выступов в инструменте; U – износ шлифовального круга, измеренный в радиальном направлении; B – высота шлифовального круга с чередующимися выступами и впадинами; a , b – протяженность (длина) впадины и режущего абразивного выступа соответственно.

Коэффициент шлифования

$$K = \frac{B_1 L Z N}{bnUB}, \quad (2)$$

где B_1 , L – ширина и длина обрабатываемой поверхности заготовки соответственно; Z – припуск, снимаемый с одной заготовки за время ее шлифования; N – количество деталей, проточенных инструментом за период стойкости инструмента.

Радиальный износ круга U равен уменьшению радиуса шлифовального круга за время шлифования, т. е. $U = \Delta R$.

Площадь режущей периферийной поверхности шлифовального круга с чередующимися выступами и впадинами

$$F_k = (\pi D - na)B, \quad (3)$$

где D , B – диаметр и высота шлифовального круга, используемого в процессе обработки заготовок.

Из выражения (2) получаем математическую зависимость, позволяющую определить величину износа шлифовального круга

$$U = \frac{B_1 L Z N}{KbnB}. \quad (4)$$

Чтобы правильно построить технологический процесс шлифования, необходимо, прежде всего, выбрать характеристику шлифовального круга, которая нанесена на торец инструмента, а для шлифовальных инструментов малого диаметра маркировка наносится на коробку, в которую круги упакованы.

При выборе шлифовального круга с чередующимися выступами и впадинами следует иметь в виду, что чем меньше зернистость круга, тем лучше шероховатость обработанной поверхности, и наоборот. Чем выше твердость круга, тем больше вероятность появления прижогов, но меньше износ инструмента. В общем машиностроении используются шлифовальные круги с чередующимися выступами и впадинами зернистостью 40-12, твердостью СМ2–С1.

5. Износ дискретного абразивного круга с чередующимися выступами и впадинами

Абразивные зерна, участвующие в работе шлифования, при контакте с обрабатываемой поверхностью испытывают периодическое силовое и тепловое воздействия. Результатом этих воздействий являются: а) истирание вершин режущих кромок абразивных зерен, появление на них площадок износа и налипших частичек металла; б) выкрашивание (скалывание) микрочастиц абразивных зерен вследствие ударного характера нагрузки и усталостного разрушения; в) вырывание целых абразивных зерен из связки.

Перечисленные явления наряду с заполнением пор рабочей поверхности круга стружкой вызывают ухудшение режущих свойств абразивного инструмента и его размерный износ.

Размерный износ круга и нарушение его правильной геометрической формы происходят главным образом из-за выкрашивания абразивных зерен и вырывания их из связки.

Размерный износ сплошных шлифовальных кругов, как правило, вызывает нарушение его правильной геометрической формы: появление овальности, отклонение профиля продольного сечения, отклонение от плоскостности в случае обработки торцом круга, появление волнистости рабочей поверхности и др. Эти отклонения снижают геометрическую точность обработки и вызывают волнистость шлифованной поверхности.

Характер износа дискретных шлифовальных кругов, выполненных в виде чередующихся выступов и впадин, принципиально отличается от износа стандартных шлифовальных кругов. Основное отличие состоит в том, что при шлифовании кругами с чередующимися выступами и впадинами при входе режущего выступа в контакт с материалом заготовки происходит удар, под действием которого, с одной стороны, элементы технологической системы приходят в колебательное движение, а с другой стороны, на поверхности выступа формируется так называемая фронтальная (барьерная) поверхность.

На этой поверхности абразивные режущие зерна расположены на различных радиусах, что приводит к увеличению общего числа зерен, участвующих в процессе снятия припуска, уменьшая нагрузку на каждое режущее абразивное зерно. Благодаря фронтальной поверхности дискретный шлифовальный круг сохраняет в течение продолжительного времени свою режущую способность без правки. Этот уста-

новленный экспериментально факт приводит к увеличению периода стойкости дискретных шлифовальных кругов и увеличению коэффициента шлифования, являющегося одним из основных показателей любого шлифовального инструмента.

6. Содержание работы и методические указания по ее выполнению

1. Изучить теоретические положения работы.
2. Шлифовальный круг с чередующимися выступами и впадинами проверить визуально на отсутствие сколов, трещин, забоин, проверить его на звук легким постукиванием по подвешенному инструменту деревянным предметом.
3. Обратит внимание на маркировку, нанесенную на торец шлифовального круга с чередующимися выступами и впадинами, расшифровать ее и занести в отчет по лабораторной работе.
4. Собрать названный шлифовальный круг с металлическими фланцами, проставив между абразивным материалом инструмента и фланцами картонные прокладки. Надежно закрепить круг во фланцах с помощью болтов.
5. Установить собранный, отбалансированный и прошедший испытание на механическую прочность шлифовальный круг с чередующимися выступами и впадинами на шпиндель станка. Провести правку инструмента и измерить его диаметр в восьми сечениях по окружности и четырех точках по образующей цилиндрической поверхности круга.
6. Прошлифовать заготовки, измерить размеры обрабатываемых деталей до и после шлифования и вычислить по приведенным формулам объем снятого материала с одной заготовки, а затем и со всех.
7. Измерить размеры чередующихся выступов в радиальном направлении после обработки всех заготовок и рассчитать радиальный износ.
8. Рассчитать численные значения удельного съема, расхода абразива и коэффициента шлифования.
9. Сравнить результаты расчета, полученные для шлифовального круга с чередующимися выступами и впадинами, с аналогичными показателями сплошного круга.
10. На основании сравнения сделать вывод о том, в каком режиме работал шлифовальный инструмент с чередующимися выступами и впадинами и о его эффективности по сравнению со стандартным шлифовальным кругом.

7. Средства, используемые при выполнении лабораторной работы

1. Шлифовальный круг с чередующимися выступами и впадинами.
2. Дисковое балансировочное приспособление.
3. Комплект балансировочных сухарей, балансировочная оправка.
4. Металлические фланцы для закрепления шлифовального круга.
5. Индикатор с ценой деления 0,001 или 0,002 мм.
6. Измерительная оправка.
7. Микрометр с диапазоном измеряемых размеров 0 – 25 мм и ценой деления 0,01 мм.

8. Оформление отчета и сдача зачета по лабораторной работе

После выполнения лабораторной работы студент оформляет отчет, в котором приводятся кратко теоретические положения, схема шлифования заготовки, режимы правки шлифовального круга и обработки заготовок, данные, полученные после измерений износа дискретного инструмента с чередующимися выступами и впадинами, а также результаты обработки экспериментальных данных.

Зачет по лабораторной работе проставляет преподаватель на основании правильных ответов студента (магистранта) на заданные вопросы.

Вопросы могут касаться теоретических аспектов темы, методики выполнения работы, вывода математических формул для расчета основных показателей инструмента с чередующимися выступами и впадинами, обработки экспериментальных данных, методики измерений износа и других размеров, а также механизма формирования фронтальной поверхности на абразивных выступах.

Лабораторная работа № 4

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ДИСКРЕТНЫХ СБОРНЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ И КРУГОВ С ЛАЗЕРНОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

1. Цель работы

Изучить критерии, по которым можно оценивать любой шлифовальный инструмент, применяемый на операции сплошного или дискретного шлифования деталей, а также изучить методику расчета критериев.

2. Задание

1. Изучить основные показатели, характеризующие эффективность любой конструкции шлифовального инструмента, используемого для механической обработки заготовок.

2. Изучить методику расчета и экспериментального определения скважности единичных резцов.

3. Определить изменение протяженности (длины) линии контакта дискретного шлифовального круга с обрабатываемой заготовкой в функции угла поворота инструмента вокруг своей оси.

3. Теоретические положения

В настоящее время разработано большое количество конструкций дискретных шлифовальных кругов (кругов с прерывистой режущей поверхностью), работающих как периферией, так и торцом круга, что объясняется неоспоримыми преимуществами этого класса инструмента перед стандартными шлифовальными кругами, имеющими сплошную режущую поверхность.

Каждый дискретный круг выполняет в той или иной степени конкретную технологическую задачу, при этом выбор конструктивной схемы дискретного шлифовального инструмента основывается на личном опыте инженера, проектирующего шлифовальную операцию. Принимаемое при этом решение нередко является субъективным и неоптимальным, что негативно отражается на эффективности процесса дискретного шлифования и на конечных технологических показателях качества обработанного поверхностного слоя деталей.

Такая ситуация обусловлена в определенной степени отсутствием критериев оценки дискретных шлифовальных кругов, с помощью которых возможна объективная оценка эффективности процессов дискретного шлифования и обоснованный выбор конструкции инструмента еще на стадии проектирования финишной технологической операции.

Выбор инструмента на основании разработанных критериев позволит в наибольшей степени реализовать преимущества дискретного шлифования.

Известен ряд критериев оценки дискретных шлифовальных кругов, часть из которых была отсеяна по результатам проведенных многочисленных планируемых многофакторных экспериментов и после-

дующих производственных испытаний инструментов в условиях массового производства колец подшипников, металлорежущих лезвийных инструментов и других ответственных деталей.

Наиболее важными критериями являются:

1) изменение протяженности (длины) линии контакта дискретного шлифовального круга с обрабатываемой заготовкой в функции угла поворота инструмента вокруг своей оси;

2) обеспечение условий дискретного резания в продольном и поперечном сечениях круга;

3) выполнение режущих и прерывающих участков с малой протяженностью в пределах окружного шага, с которым режущие участки (абразивные выступы, сегменты) расположены в круге;

4) скважность единичных резов;

5) механическая прочность инструмента.

На основании этих критериев можно прогнозировать степень снижения температуры в зоне резания, уровень вибрации элементов технологической системы и геометрические погрешности деталей, возникающие вследствие дискретности процесса шлифования.

Критерии характеризуют динамику процессов шлифования, оказывают доминирующее влияние на выходные качественные параметры шлифованных поверхностей, производительность обработки и в конечном счете на технологическую себестоимость выполняемых операций.

Дадим определение вновь введенным понятиям, таким как протяженность (длина) линии контакта инструмента и заготовки, условие дискретного резания и скважность единичных резов. Протяженность линии контакта – это суммарная длина контакта дискретного шлифовального круга с заготовкой, измеренная вдоль оси вращения инструмента при шлифовании периферией круга или в направлении, перпендикулярном оси вращения инструмента при торцовом шлифовании, без учета воздушных промежутков между режущими и давящими абразивными зернами. Для разных схем дискретизации режущей поверхности протяженность линии контакта является переменной величиной, таковой она является и для конкретной схемы в функции угла поворота шлифовального круга.

Условие дискретного резания – это условие, при котором обрабатываемая заготовка контактирует со шлифовальным кругом в осе-

вом направлении протяженностью $0 \leq l_k \leq B$, а в окружном направлении, когда непрерывный контакт происходит в пределах дуги $l_k < T_0 = \frac{2\pi R}{n}$ (B – высота круга; T_0 – окружной шаг; R – радиус режущей поверхности круга; n – число режущих выступов в инструменте).

Единичным назовём рез, который рассматривается в пределах окружного шага T_0 и который совершает инструмент от начала до окончания контакта одного режущего участка с заготовкой.

Скважность единичных резов при дискретном шлифовании представляет собой отношение времени поворота круга на окружной шаг T_0 ко времени поворота на центральный угол, соответствующий дуге окружности режущего участка, т.е.

$$q = \frac{T_0}{\omega R} / \frac{l_p}{\omega R} = \frac{T_0}{l_p}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения дискретного шлифовального круга; l_p – длина дуги режущего участка, рассматриваемого в пределах окружного шага T_0 .

Для обеспечения условий дискретного резания необходимо создать промежутки времени, в течение которых заготовка не обрабатывается, а охлаждается до наступления следующего единичного реза либо подвергается обработке с переменной длиной линии контакта, смещающейся в осевом направлении.

Наличие дискретного резания является необходимым условием снижения температуры в зоне шлифования, при этом степень снижения температуры непосредственно зависит от названных критериев.

Дискретность процесса резания при шлифовании создавали варьированием численных значений радиальной составляющей силы резания от максимума до нуля. Изменением числа абразивных сегментов (режущих участков) в инструменте при постоянном диаметре режущей поверхности обеспечивали различную протяженность участков резания и прерывания, а скважность единичных резов – изменением длины дуги прерывающих и режущих участков при неизменном окружном шаге T_0 . Скважность для процесса шлифования сплошными кругами равна единице, а для дискретного шлифования $q > 1$, так как при дискретном резании из-за наличия участков прерывания длина дуги режущего участка l_p всегда меньше шага T_0 .

Рассмотрим влияние каждого критерия на показатели процесса дискретного шлифования. Изменение длины линии контакта дискретного шлифовального круга с обрабатываемой заготовкой в осевом направлении в функции угла поворота круга вызывает изменение составляющих силы и крутящего момента резания. Варьирование координаты точки приложения и численного значения радиальной составляющей силы резания приводит к изменению величины упругих деформаций элементов технологической системы станок – приспособление – инструмент – заготовка в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности, а следовательно, к образованию геометрических погрешностей шлифованных поверхностей.

Изменение численного значения крутящего момента резания вызывает крутильные колебания шпиндельного узла с установленным на нем дискретным шлифовальным кругом, что отражается на увеличении шероховатости и волнистости обработанной поверхности детали и появлении волн на режущей поверхности самого инструмента. Происходит сложный процесс пространственного наложения волн режущей поверхности дискретного круга на волнистую обрабатываемую поверхность заготовки, что приводит, как правило, к ухудшению геометрии шлифованных поверхностей.

В течение каждого оборота дискретного шлифовального инструмента длина линии контакта изменяется от минимального до максимального значения столько раз, сколько режущих участков размещено по окружности рабочей поверхности круга. Частота таких изменений зависит от рабочей частоты вращения круга, числа участков резания в круге, и она всегда больше рабочей частоты вращения круга при дискретном шлифовании.

Изменение скважности единичных резов q от 2 до 1,1 вызывает успокоение технологической системы, поскольку высокочастотная вибрация шпинделя с инструментом при $q = 1,1$ существенно меньше, чем при $q = 2,0$, и вибрационные картины дискретного и сплошного шлифования незначительно отличаются друг от друга.

С одной стороны, чем больше скважность единичных резов, тем меньше протяженность режущего участка и больше длина прерывающего участка, рассматриваемых в пределах окружного шага T_0 , а следовательно, меньше время единичного реза и тепловыделения в зоне обработки. С другой стороны, с увеличением скважности еди-

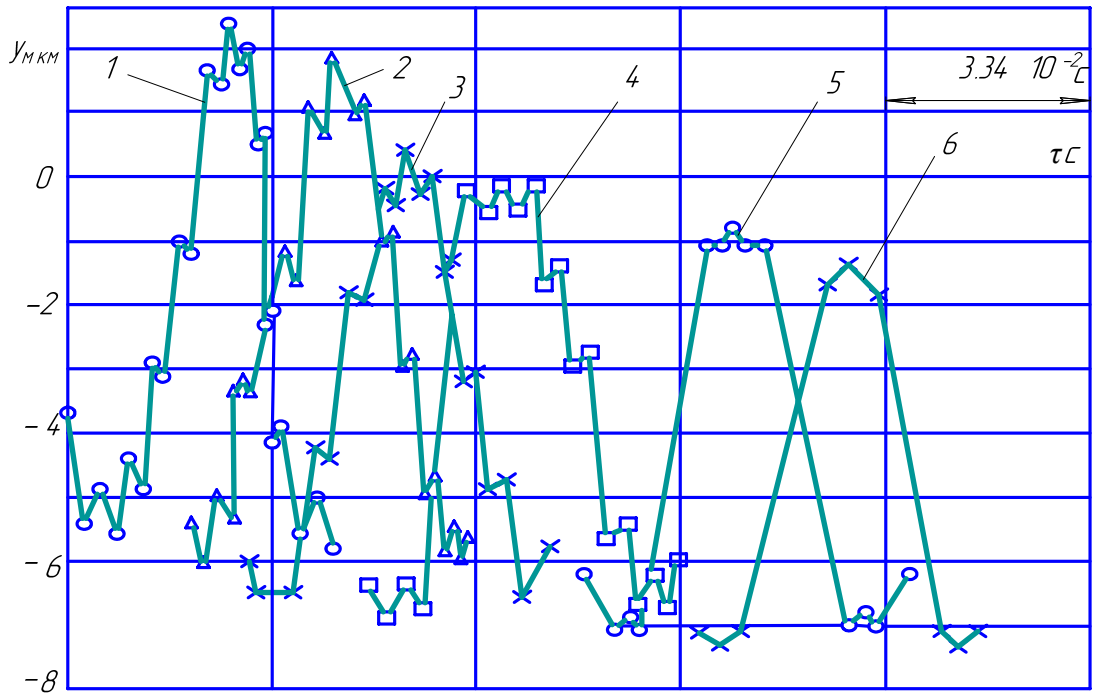
ничных резов увеличиваются время отдыха шпиндельного узла шлифовального станка, время его упругого восстановления, что приводит к возрастанию уровня вибрации элементов технологической системы, которая отрицательно отражается на геометрических показателях точности шлифованных поверхностей. При черновых режимах дискретного шлифования скважность следует увеличивать, однако, как показали производственные испытания, скважность $q > 2,0$ назначать не следует во избежание жестких ударов сегментов о заготовку.

Исследование движения оси шпинделя шлифовального станка с установленным неуравновешенным дискретным кругом показало, что траектория оси в поперечной плоскости симметрии инструмента представляет собой искаженные эллипсы 1 - 5 (см. рисунок, фрагмент «б») с экстремумами (всплесками) виброперемещений оси шпинделя в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности (см. рисунок, фрагмент «а»). Всплески располагаются симметрично относительно эллиптической траектории, а их число равно числу абразивных сегментов в инструменте, при этом максимальные значения виброперемещений соответствуют процессу резания, минимальные – отсутствию резания.

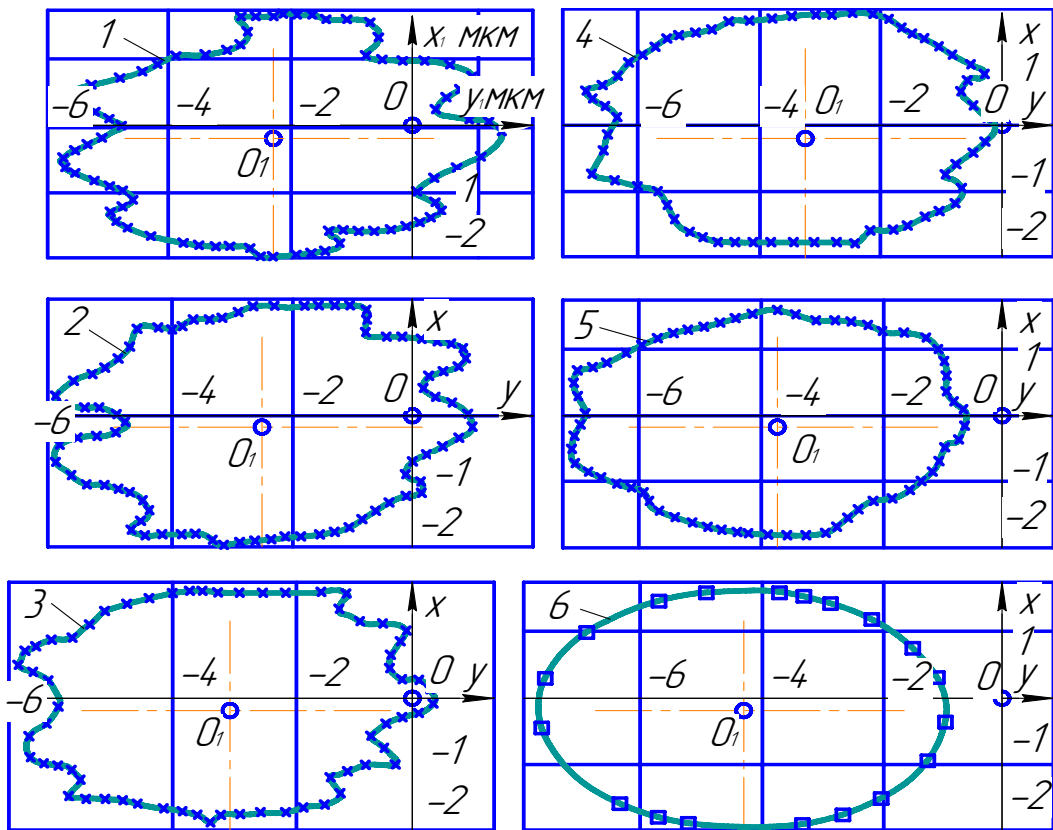
При шлифовании сплошным неуравновешенным кругом траектория движения оси шпинделя представляется в виде эллипса б, на котором отсутствуют упомянутые всплески высокочастотной вибрации шпинделя с дискретным кругом, что свидетельствует о более спокойном протекании процесса сплошного шлифования по сравнению с дискретным шлифованием.

Размах виброперемещений оси шпинделя относительно устойчивой эллиптической траектории не зависит от численных значений неуравновешенной центробежной силы, обусловленной дисбалансами круга, поскольку он определяется условиями прерывания процесса резания, а не главным вектором дисбалансов шпиндельного узла с инструментом. Наряду с успокоением технологической системы при уменьшении q увеличивается площадь режущей поверхности дискретного шлифовального круга, что приводит к увеличению усредненных сил резания.

Возрастание последних вызывает смещение кривых 1 - 5 в отрицательном направлении оси y (см. рисунок, фрагмент «а»). О росте сил резания свидетельствует также смещение центра O_1 эллипсов влево от начала координат O по мере уменьшения скважности единичных резов (см. рисунок, фрагмент «б»).



a)



б)

Виброперемещения (а) и траектория движения оси шпинделя шлифовального станка (б) с установленным дискретным кругом при изменении протяженностей режущего и прерывающего участков: 1. $q=2,0$; 2. $q=1,67$; 3. $q=1,43$; 4. $q=1,20$; 5. $q=1,11$; 6. $q=1$ при сплошном шлифовании

Таким образом, скважность единичных резов оказывает доминирующее воздействие на динамику дискретного шлифования и интенсивность тепловыделений в зоне резания.

Однако для изменения динамики процесса дискретного торцового шлифования особую важность представляет критерий малой протяженности режущих и прерывающих участков вследствие того, что уменьшение скважности q вызывает увеличение силы резания. В этой связи уменьшение размаха виброперемещений оси шпинделя при дискретном шлифовании целесообразнее осуществлять изменением протяженности режущих и прерывающих участков в пределах окружного шага T_0 .

Выполнение режущих и прерывающих участков малой протяженности в пределах шага T_0 при постоянном численном значении скважности q приводит к уменьшению времени единичного реза и отдыха, к повышению частоты внешнего динамического воздействия на инерционную технологическую систему. При контакте инструмента с заготовкой возникает сила резания, которая упруго деформирует шпиндель с кругом, а при отсутствии резания шпиндель упруго восстанавливается. Чем больше время упругого восстановления, тем больше уровень вибрации технологической системы, и наоборот.

В этой связи для снижения уровня высокочастотной вибрации (вибрации, вызванной дискретностью процесса резания) время отдыха следует уменьшать. Время единичного реза также следует уменьшать, это позволит уменьшить тепловыделения в обрабатываемые заготовки. Снижение уровня вибрации и тепловыделений в обрабатываемые заготовки приводит к повышению не только геометрической точности шлифованных поверхностей, но и показателей качества, характеризующих физико-механическое состояние поверхностного слоя деталей.

Важным критерием оценки дискретных шлифовальных кругов является их механическая прочность. При высокой механической прочности дискретные круги способны воспринимать интенсивную внешнюю нагрузку в процессе шлифования без разрушения наиболее слабых элементов круга – режущих участков. Достаточная механическая прочность инструмента обеспечивается расчетом напряжений в опасных сечениях режущих участков, сравнением их с допускаемыми напряжениями абразивного материала с учетом коэффициента запаса прочности, равного 2,25, не менее.

Большинство известных дискретных шлифовальных кругов не позволяют создавать режущие и прерывающие участки малой протяженности (2 - 5 мм), что связано со значительным уменьшением площади несущих сечений, снижением их механической прочности и невозможностью использования инструмента по этой причине в процессе обработки. Применение лазерного луча для дискретизации режущей поверхности шлифовальных кругов позволяет создавать малые протяженности при сохранении достаточной механической прочности инструмента.

Уменьшение протяженности режущих и прерывающих участков приводит к существенному снижению уровня высокочастотной вибрации оси шпинделя, что объясняется уменьшением времени $\tau_p = \tau_e = \pi / \omega n$, в течение которого происходят единичный рез и последующее упругое восстановление оси шпинделя при отсутствии процесса резания.

Снижение уровня высокочастотной вибрации, обусловленной дискретностью процесса резания, возможно также изменением угловой скорости вращения инструмента, увеличение которой при неизменных протяженностях режущих, прерывающих участков и окружного шага приводит к уменьшению времени упругой деформации и упругого восстановления шпинделя с инструментом. Однако увеличение угловой скорости вращения дискретного шлифовального круга (увеличение скорости резания) приводит к возрастанию внешней динамической нагрузки на инструмент, что требует разработки высокопрочных шлифовальных кругов, способных воспринимать значительные разрывные инерционные центробежные силы.

Кроме этого шлифование на высоких скоростях резания требует решения вопроса высокоточной балансировки инструмента без снятия его со шпинделя шлифовального станка и интенсификации отвода тепла, образующегося в зоне резания.

4. Содержание работы и методические указания по ее выполнению

1. Изучить теоретические положения работы.
2. Шлифовальный круг проверить визуально на отсутствие сколов, трещин, забоин, проверить его на звук легким постукиванием по подвешенному инструменту деревянным предметом.

3. Обратит внимание на маркировку, нанесенную на торец шлифовального круга, расшифровать ее и занести в отчет по лабораторной работе.

4. Собрать шлифовальный круг с металлическими фланцами, проставив между абразивным материалом инструмента и фланцами картонные прокладки, не допуская какого-либо контакта абразива с металлом. Надежно закрепить круг во фланцах с помощью болтов.

5. Установить собранный и отбалансированный шлифовальный круг, прошедший испытание на механическую прочность, на шпиндель станка. Провести правку шлифовального круга и измерить его диаметр минимум в восьми сечениях по окружности и четырех точках по образующей цилиндрической поверхности круга.

6. Измерить параметры дискретной режущей поверхности шлифовального инструмента с различными схемами дискретизации.

7. Рассчитать численные значения выбранных критериев оценки шлифовальных кругов.

8. Пршлифовать заготовки, измерить геометрические характеристики обработанных поверхностей деталей.

9. Построить графики зависимостей шероховатости, волнистости и отклонения от плоскостности шлифованных поверхностей, шлифованных кругами с различными схемами дискретизации режущей поверхности инструмента.

10. Сформулировать выводы о влиянии того или иного критерия на полученные результаты процесса дискретного шлифования.

5. Средства, используемые при выполнении лабораторной работы

1. Измерительная оправка.

2. Шлифовальные круги с различными схемами дискретизации режущей поверхности.

3. Металлические фланцы для закрепления шлифовального круга.

4. Индикатор с ценой деления 0,002 мм.

5. Дисковое балансировочное приспособление.

6. Комплект балансировочных сухарей.

7. Микрометр с диапазоном измеряемых размеров 0 – 25 мм и ценой деления 0,01 мм.

6. Оформление отчета и сдача зачета по лабораторной работе

После выполнения лабораторной работы студент оформляет отчет, в котором приводятся кратко теоретические положения, конструкции дискретных шлифовальных кругов, схема шлифования заготовки, правки шлифовального круга, режим обработки заготовок, данные, полученные после измерений, а также результаты обработки экспериментальных данных.

Зачет по лабораторной работе проставляет преподаватель на основании правильных ответов студента (магистранта) на заданные вопросы. Вопросы могут касаться как теоретических аспектов темы, методики выполнения работы, схем дискретных шлифовальных кругов, процесса дискретизации режущей поверхности, обработки экспериментальных данных, методики измерений геометрии обработанных деталей, износа, а также физической сущности процессов, протекающих при дискретном шлифовании заготовок.

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ»**

Лабораторная работа № 5

**НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЬ И КОРРЕКТИРОВКА МАСС
ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ**

1. Цель работы

Изучение способов статической корректировки масс шлифовальных кругов и причин возникновения неуравновешенности. Приобретение практических знаний и навыков корректировки масс шлифовальных кругов.

2. Задание

1. Изучить причины возникновения дисбалансов шлифовальных кругов и виды их неуравновешенностей.

2. Изучить стенды (приспособления) для статической балансировки шлифовальных кругов.

3. Практически освоить методику статической корректировки масс шлифовальных кругов на дисковом балансировочном стенде.

4. Освоить методику теоретического расчета величины и углового положения корректирующих масс, используемых при балансировке инструмента.

5. Практически отбалансировать инструмент на дисковом приспособлении и зафиксировать при известных значениях корректирующих масс их угловые положения относительно фланцев шлифовального круга.

6. Сравнить расчетные значения углов с полученными в процессе проведения эксперимента, определить сходимость теории и практики.

3. Причины возникновения дисбалансов шлифовальных кругов

Шлифовальные круги являются пористыми абразивными инструментами, размеры пор могут изменяться от единиц микрометров до десятых долей миллиметра и более для обычных шлифовальных кру-

гов, а для высокопористых и крупнопористых инструментов – до нескольких единиц миллиметров. Поры шлифовального круга образуются в результате выхода газов в процессе термообработки круга при высокой температуре (1900° С и более). Поры распределены по объему инструмента неравномерно, что приводит к возникновению неуравновешенных масс в инструменте.

В процессе шлифования используют смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ), которая впитывается кругом под действием капиллярных сил, и в порах появляется смазочно-охлаждающая жидкость, также неравномерно распределенная по объему, как и поры круга.

Кроме того, шлифовальный инструмент в процессе обработки заготовок изнашивается неравномерно, а снимаемая стружка внедряется под действием силы резания в поры, что также является причиной появления дисбалансов инструмента. Эти, а также ряд других причин приводят к тому, что шлифовальный круг теряет свое уравновешенное состояние в процессе эксплуатации, поэтому его необходимо балансировать многократно, если требования к качеству шлифованных деталей достаточно высокие.

4. Основные понятия и определения в области балансировки шлифовальных кругов. Классы неуравновешенности

Состояние шлифовального круга, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах шпинделя станка и его изгиб, называется **неуравновешенностью круга**. Неуравновешенной точечной массой круга называют условную массу, радиус-вектор (эксцентриситет) которой относительно оси посадочного отверстия равен радиусу наружной поверхности (периферии). В зависимости от допустимых неуравновешенных масс для шлифовальных кругов на керамической, бакелитовой, вулканитовой и специальных органических связках установлено четыре класса неуравновешенности шлифовальных кругов, обозначаемых цифрами 1, 2, 3 и 4 по ГОСТ 3060-75.

При обозначении характеристики шлифовальных кругов после класса точности круга указывают класс неуравновешенности; например, обозначение 35 м/с А1 кл. соответствует кругу с рабочей скоростью 35 м/с, класс точности А, первого класса неуравновешенности. При маркировке круга указание «м/с» и классы «кл.» могут опускаться, например, допускается обозначение типа 35 А1.

Дисбаланс – векторная величина, равная произведению неуравновешенной массы на её эксцентриситет. Вектор дисбаланса перпендикулярен оси ротора, проходит через центр неуравновешенной массы и вращается вместе с ротором. Его направление совпадает с направлением эксцентриситета неуравновешенной массы.

Значение дисбаланса – числовое значение, равное произведению неуравновешенной массы на модуль её эксцентриситета.

Угол дисбаланса – угол, определяющий положение вектора дисбаланса в системе координат, связанной с осью ротора.

Корректирующая масса – масса, используемая для уменьшения дисбалансов ротора. Она может добавляться или удаляться из тела ротора, а также перемещаться по нему.

Угол коррекции – угол, определяющий положение корректирующей массы в системе координат, связанной с осью ротора.

Корректировка масс ротора – процесс изменения или перемещения корректирующих масс для уменьшения дисбалансов ротора.

Плоскость коррекции – плоскость, перпендикулярная оси ротора, в которой расположен центр корректирующей массы.

Главный вектор дисбалансов ротора – вектор, перпендикулярный оси ротора, проходящий через центр масс и равный произведению массы ротора на её эксцентриситет.

Главный вектор дисбалансов D_{cm} ротора равен сумме всех векторов элементарных дисбалансов ротора, расположенных в различных плоскостях, перпендикулярных оси ротора.

5. Виды неуравновешенности шлифовальных кругов

Неуравновешенность ротора – состояние ротора, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опоры ротора и его изгиб. Известны три вида неуравновешенности шлифовальных кругов: статическая, моментная и динамическая.

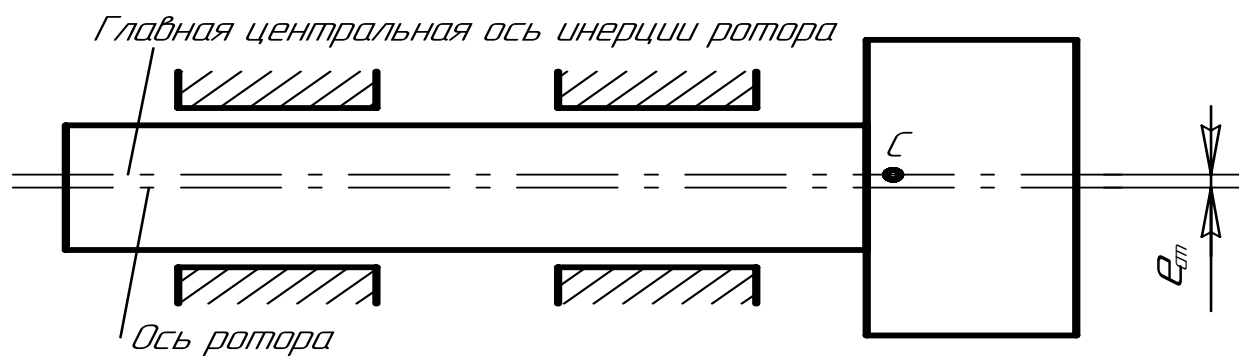
Статическая неуравновешенность шлифовального круга, при которой его ось вращения и главная центральная ось инерции параллельны. Главная центральная ось инерции шлифовального круга – это такая ось, относительно которой все статические и центробежные моменты инерции равны нулю.

Статическая неуравновешенность (рис. 1, а) полностью определяется главным вектором дисбалансов D_{cm} или эксцентриситетом e_{cm} центра массы и определяется по формуле $D_{cm} = M \cdot e_{cm} = m\rho$, где M – масса ротора; $m\rho$ – неуравновешанная масса и радиус ее центра тяжести соответственно.

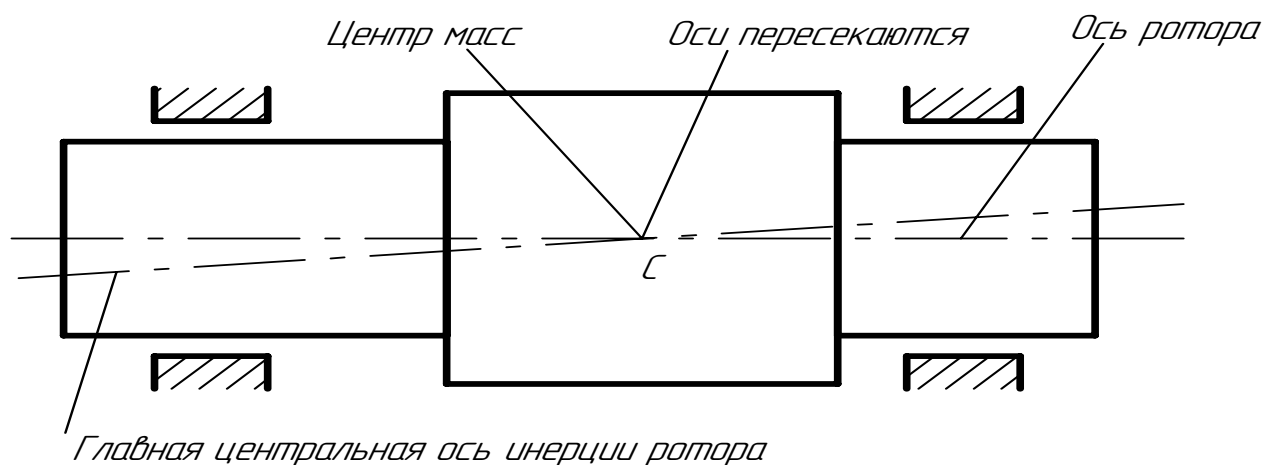
Моментная неуравновешенность, при которой ось вращения и главная центральная ось инерции шлифовального круга пересекаются в центре масс ротора (рис. 1, б). Моментная неуравновешенность полностью определяется главным моментом дисбалансов M_D или двумя равными по значению антипараллельными векторами дисбалансов, лежащими в двух произвольных плоскостях, перпендикулярных оси вращения шлифовального круга.

Динамическая неуравновешенность, при которой ось вращения шлифовального круга и его главная центральная ось инерции пересекаются не в центре масс или перекрещиваются (рис. 1, в). Динамическая неуравновешенность состоит из совокупности статической и моментной неуравновешенностей. Она полностью определяется главным вектором D_{cm} и главным моментом M_D дисбалансов ротора или двумя векторами дисбалансов, в общем случае разных по значению и непараллельных, лежащих в двух произвольных плоскостях, перпендикулярных оси ротора («крест дисбалансов»). Неуравновешенность шлифовального круга – это состояние шлифовального круга и ничего более, а дисбаланс – это мера неуравновешенности. Эти два понятия нельзя отождествлять и следует четко их различать.

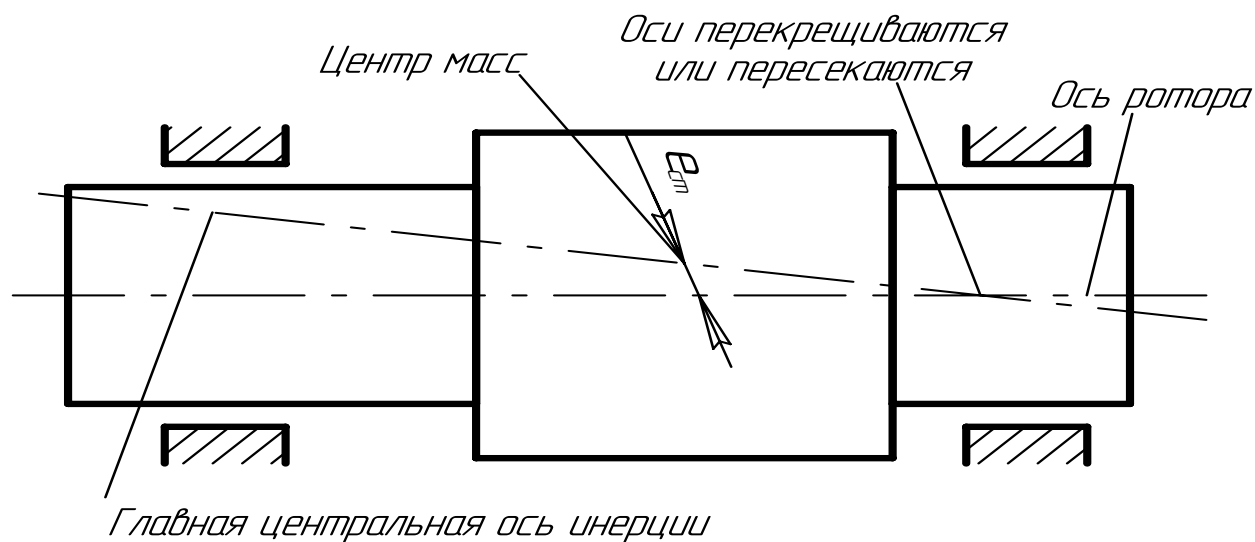
Дисбаланс шлифовального круга или любого ротора (ротор – это любое вращающееся твердое тело) – это произведение неуравновешенной массы на радиус ее центра тяжести. Радиус центра тяжести – это расстояние, на котором отстоит центр тяжести от оси вращения. Шлифовальный круг характеризуется элементарными дисбалансами, которые возникают от разных причин, например от неравномерной пропитки пор шлифовального круга смазочно-охлаждающей жидкостью, из-за неравномерного износа при работе круга и т. д. Элементарные дисбалансы складываются векторно и образуют главный вектор дисбалансов шлифовального круга, который обозначается D_{cm} . Он вычисляется по формуле $D_{cm} = m\rho$.



а)



б)



в)

Рис.1. Шлифовальные круги, имеющие вид неуравновешенности:
 а – статическую; б – моментную; в – динамическую

Аналогично в шлифовальном круге могут возникать и элементарные моменты дисбалансов в виде пары антипараллельных дисбалансов. Момент пары векторов дисбалансов равен произведению дисбаланса на плечо. Элементарные дисбалансы также складываются векторно и образуют главный момент дисбалансов, который обозначается M_D и который вычисляется по формуле $M_D = m\rho h$, где m, ρ, h – неуравновешенная масса, радиус центра тяжести и плечо пары векторов-дисбалансов соответственно.

Как следует из формул, единицами измерений главного вектора дисбалансов D_{cm} являются грамм на миллиметр, килограмм на сантиметр, килограмм на метр и так далее, а единицами измерений главного момента дисбалансов M_D – грамм на миллиметр квадратный, килограмм на сантиметр квадратный, килограмм на метр квадратный и т. д. Единицы измерения главного вектора дисбалансов – грамм на миллиметр, килограмм на миллиметр, килограмм на сантиметр и другие производные от них единицы.

Угол β главного вектора дисбалансов D_{cm} ротора (рис. 2) определяет положение центра масс ротора в системе координат, связанной с осью ротора.

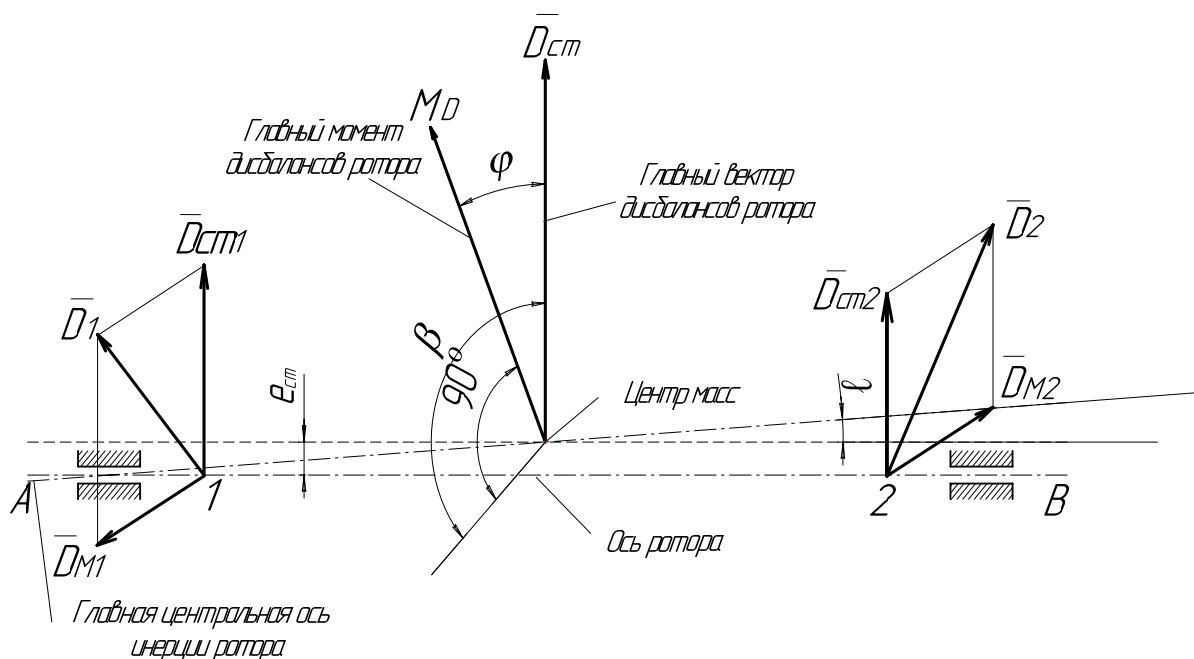


Рис. 2. Главный вектор D_{cm} и главный момент M_D дисбалансов ротора

Главный момент дисбалансов M_D равен геометрической сумме моментов всех дисбалансов ротора относительно его центра масс.

Главный момент дисбалансов перпендикулярен главной центральной оси инерции и оси ротора и вращается вместе с ротором. Он полностью определяется моментом пары равных по значению антипараллельных дисбалансов, расположенных в двух произвольных плоскостях, перпендикулярных оси ротора.

Модуль главного момента дисбалансов равен произведению одного из дисбалансов $D = mr$, указанной выше пары на плечо h этой пары, т. е. $M_D = m r h$. Единицы измерения главного момента дисбалансов – грамм на миллиметр квадратный, килограмм на метр квадратный и другие производные от них единицы.

Балансировка ротора – процесс определения углов дисбалансов ротора и уменьшение их корректировкой масс. Операции определения и уменьшения дисбалансов можно выполнять одновременно или последовательно.

Статическая балансировка, при которой определяется и уменьшается главный вектор дисбалансов ротора, характеризующий его статическую неуравновешенность. Статическую балансировку проводят в одной плоскости коррекции; определенную для этой плоскости корректирующую массу иногда удобно разносить в несколько параллельных плоскостей.

Моментная балансировка, при которой определяется и уменьшается главный момент дисбалансов ротора, характеризующий его моментную неуравновешенность. Моментную балансировку проводят не менее чем в двух плоскостях коррекции.

Динамическая балансировка, при которой определяются и уменьшаются дисбалансы ротора, характеризующие его динамическую неуравновешенность. Динамическую балансировку жесткого ротора достаточно проводить в двух плоскостях коррекции. При динамической балансировке уменьшаются моментная и статическая неуравновешенности ротора одновременно.

Как главный вектор D_{cm} , так и главный момент дисбалансов M_D шлифовального круга оказывают отрицательное влияние на качество шлифованных поверхностей, на вибрацию станка и преждевременный выход его из строя и др. Поэтому с дисбалансами шлифовальных кругов необходимо бороться и прежде всего тщательной их балансировкой как перед процессом шлифования, перед установкой круга на станок, так и в процессе шлифования.

6. Балансировка кругов перед установкой на шпиндель шлифовального станка

Под установкой шлифовального круга на станок понимаются действия, в результате которых круг в состоянии поставки оказывается закрепленным на шпинделе и подготовленным к выполнению заданной технологической операции. Эти действия состоят из собственно сборочных переходов и балансировки. Характер сборочных переходов определяется типом и размерами круга и вариантом его крепления на станке.

Круги диаметром до 100 мм закрепляются на шпинделе болтом или гайкой, перемещающимися по резьбовой части шпинделя (или оправки). Круги этого размера имеют высоту не более диаметра, и для них основной составляющей является главный вектор дисбалансов. Круги диаметром до 500 мм, высотой менее 50 – 60 мм закрепляют на шпинделе станка с использованием гайки 1 и фланцев 2 (рис. 3). Между фланцем и кругом устанавливают прокладки 3 из неметаллического материала, например картона. Однако таким способом рекомендуется крепить круги с отверстием до 32 мм.

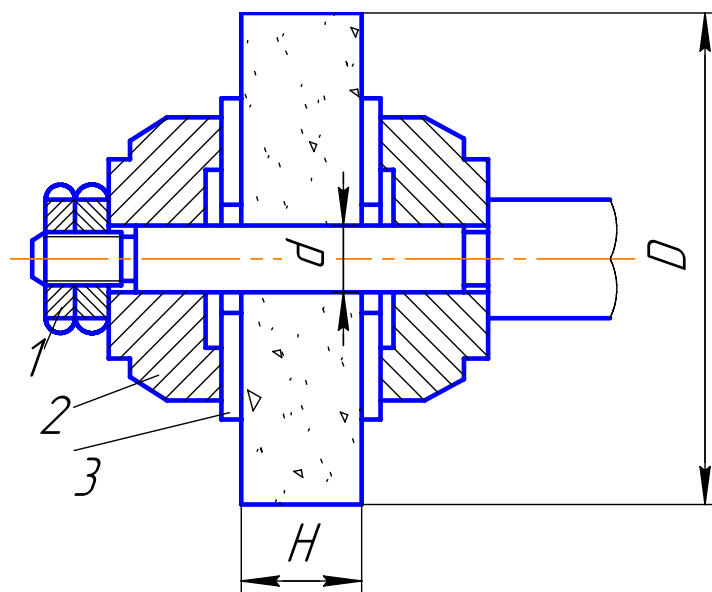


Рис. 3. Крепление шлифовального круга фланцами

При увеличении диаметра отверстия круга, что характерно для большинства абразивных кругов значительных размеров, применяется крепление круга на переходных фланцах гайками, а при значительных диаметрах посадочного отверстия (51 мм и более) фланцы стягивают не

гайкой, а шестью-двенадцатью винтами, расположенными по окружности. В подобных конструкциях во фланце предусматривается кольцевая канавка для размещения корректирующих масс, позволяющих компенсировать главный вектор дисбалансов. Аналогично можно крепить кольцевые круги диаметром D до 600 – 700 мм и высотой 0,25 – 0,50 от диаметра. Для широких шлифовальных кругов, состоящих из наборов кругов (например 150+200 мм), необходимо компенсировать не только главный вектор, но и главный момент дисбалансов.

Крепление шлифовального круга на шпинделе с использованием переходных фланцев предусматривает возможность балансировки круга в сборе с этими фланцами, так как сам процесс сборки узла может вызвать появление дисбалансов.

Дисбалансы шлифовального круга, собранного с фланцами, определяются конструктивным и технологическим дисбалансами фланцев, дисбалансов самого круга и их взаимного углового расположения. При весьма благоприятных условиях сумма указанных векторов может быть близкой к нулю или очень малой, обеспечивая необходимый уровень сбалансированности узла. Однако подобные ситуации редко возникают сами по себе. Чтобы шлифовальный круг или другой какой-либо ротор был сбалансированным с высокой точностью, необходимо провести специальный процесс балансировки, который также называется корректировкой масс.

Процесс балансировки можно проводить в две операции: балансировка вне станка и балансировка на станке после установки круга на шпиндель. Рассмотрим процесс балансировки вне станка.

Статическая неуравновешенность может быть обнаружена на устройствах, фиксирующих действие на круг силы тяжести или центробежной силы от неуравновешенной массы. В последнем случае процесс называют статической балансировкой в динамическом режиме. Моментная и динамическая неуравновешенности обнаруживаются в результате действия на ротор центробежных неуравновешенных сил, возникающих в круге, приводимом во вращение или колебательное движение относительно оси вращения. В этом случае балансировку называют динамической. Выбор способа балансировки осуществляется с учетом существующей практики. Следует отметить, что балансировка без изменения массы чаще всего находит применение для шлифовальных кругов.

Горизонтальные параллели 1 (рис. 4, а) могут использоваться для балансировки кругов любой массы. Балансируемый круг устанавливается на оправку 2 (рис. 4, б) и прокатывают по двум горизонтальным параллельным скалкам, ножам и др. Под действием силы тяжести шлифовальный круг остановится, когда «тяжелое» место круга займет нижнее положение. Прикрепляя в верхней части круга пробный груз, добиваются безразличного углового положения ротора на параллелях (рис. 4, в). Пробный груз может быть в виде как «навески» специальной массы на основе пластилина или воска, так и специальных гирь или грузов определенной массы. В первом случае «навеску» взвешивают, во втором – массу пробного груза определяют по гирям.

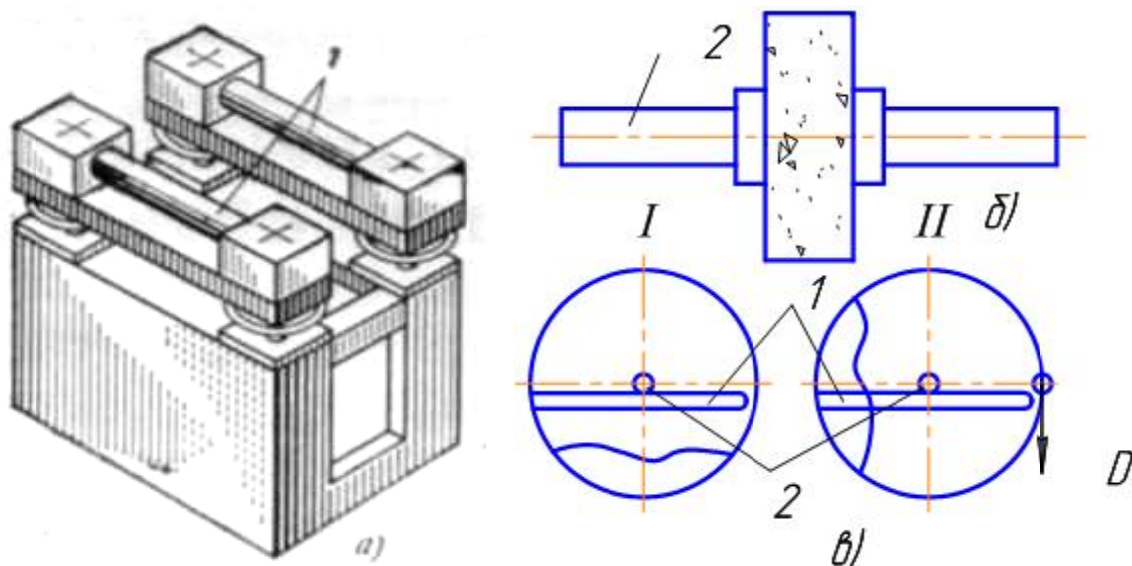


Рис. 4. Статическая балансировка на горизонтальных параллелях:
 а – общий вид станда; б – шлифовальный круг на балансировочной оправке; в – схема балансировки на параллелях 1

Мерой статического дисбаланса по ГОСТ 3060–55 служит масса груза, которая, будучи сосредоточена в точке периферии круга, противоположной его центру тяжести, перемещает центр тяжести на ось вращения круга.

Посадочное место оправки и опорные шейки должны быть концентричны, а допускаемое отклонение формы не должно превышать 0,01 мм. Опорные шейки должны иметь одинаковый диаметр, их необходимо тщательно шлифовать после закалки. Длина параллелей должна позволять кругу с оправкой делать 2 – 3 оборота.

На подобных стендах можно повысить точность балансировки путем использования вибрации или воздушной подушки (рис. 5) между контактными площадками стенда и балансировочной оправкой. Оправку 1 с шлифовальным кругом 2 устанавливают на опоры 3, в результате чего между цилиндрическими шейками оправки и опорами образуются кольцевые зазоры 4. По отверстиям 5, выполненным в опорах 3, подают сжатый воздух под определенным давлением. Воздух поступает в зазоры 4 и создает давление на шейки оправки, обеспечивая подъемную силу, под действием которой оправка с шлифовальным кругом всплывает. Нарушается контакт оправки с опорами балансирующего стенда, при этом чувствительность стенда резко возрастает, так как уменьшается тормозной момент трения при повороте оправки (трение качения заменяется трением между слоями воздуха). Стенды с аэростатическими опорами позволяют измерять величину неуравновешенной массы и балансировать круги с весьма высокой точностью.

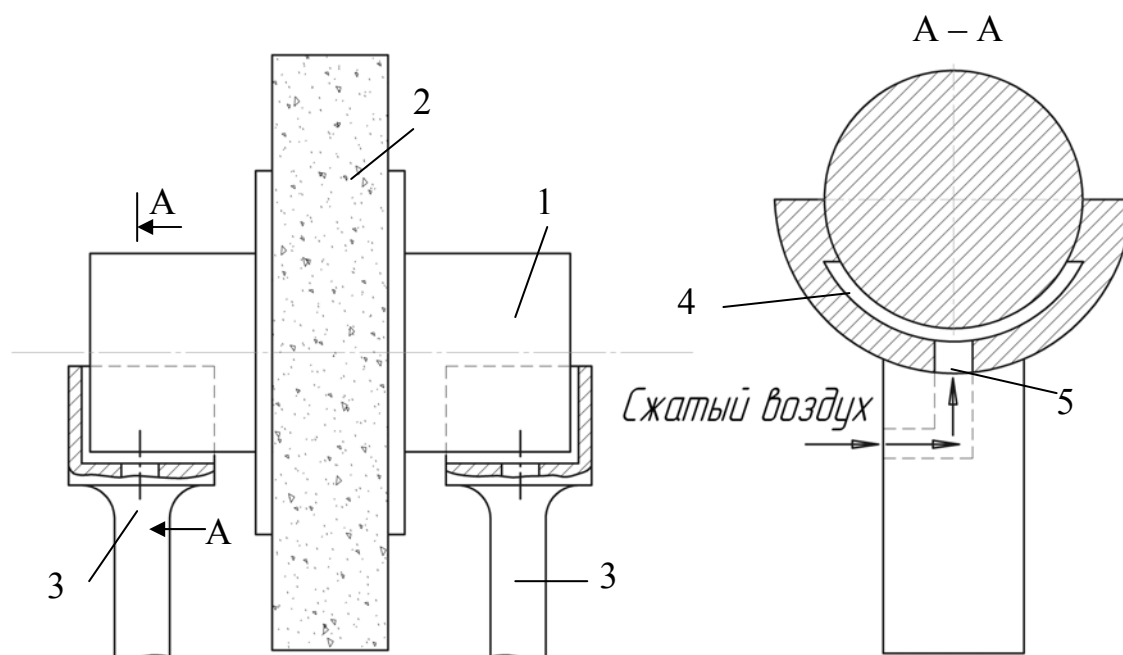


Рис. 5. Схема балансирующего стенда с аэростатическими опорами

Схема стенда с аэростатическими опорами предназначена для балансировки кругов диаметром до 1200 мм, а давление сжатого воздуха составляет $P = 0,2 - 0,4$ МПа, которое может без затруднений создать любой компрессор, используемый в цехе.

Точность балансировки определяется величиной дисбаланса, который остается после выполнения корректировки масс шлифовального круга.

Для балансировки деталей типа дисков и, в частности, шлифовальных кругов вне станка можно использовать балансировочные весы (рис. 6), однако они более сложны в наладке. Шлифовальный круг с фланцами и корректирующими массами (три сухаря), раздвинутыми в нейтральное положение под углом 120° устанавливают на специальную оправку, а затем на специальные опоры в рамке весов. Качание рамки позволяет найти дисбаланс круга при изменении углового положения круга на 90° . На балансировочных весах достигается точность балансировки до 5 мкм по эксцентриситету.

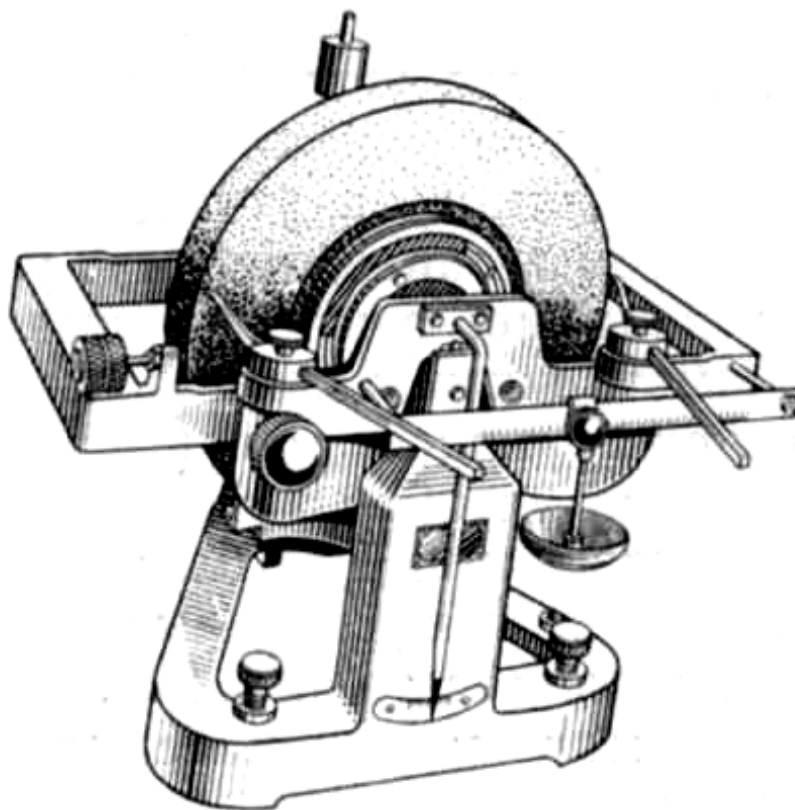


Рис. 6. Весы для статической балансировки кругов

Дисковые устройства (стенды) также позволяют измерять дисбаланс с большей точностью по сравнению со стендами с параллельными скалками, так как при их использовании также возникает меньший тормозной момент между оправкой и дисками (рис. 7), установлен-

ными на подшипниках качения. Замена трения скольжения на трение качения увеличивает чувствительность стенда к величине дисбалансов, а следовательно, повышает точность балансировки.

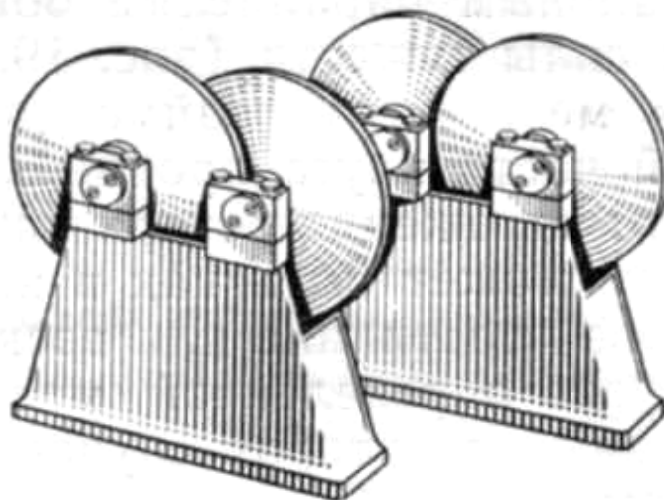


Рис. 7. Дискový балансировочный стенд

Рассматриваемые стенды могут иметь диски с консольным креплением оси и с двухсторонним расположением дисков.

7. Балансировка шлифовальных кругов, установленных на шпинделе шлифовального станка

Шлифовальные круги теряют свое уравновешенное состояние в процессе шлифования, что требует неоднократного повторения операции балансировки. Снятие шлифовального круга со станка для повторной балансировки приводит к значительной потере производительности обработки, и поэтому учеными разработаны управляемые балансирующие устройства (УБУ), которые встраиваются в шпиндельные узлы шлифовального станка и позволяют в течение примерно одной минуты выполнить корректировку масс шлифовального круга без снятия его со шпинделя.

Наиболее эффективна балансировка шлифовальных кругов устройствами, встраиваемыми в быстровращающийся шпиндельный узел шлифовального станка, которая обеспечивает процесс корректировки масс без снятия шлифовального круга со станка с высокой производительностью, точностью в полуавтоматическом или автоматическом режимах. Такие устройства получили название управляемых балансирующих устройств (УБУ) или автоматических балансирующих устройств (АБУ).

Названные устройства позволяют проводить высокоточную балансировку без снятия шлифовального круга в течение 50 – 80 с непосредственно в процессе непрерывающегося шлифования деталей либо на холостом ходу станка.

Управляемое балансирующее устройство (рис. 8, а) состоит из коробки скоростей 5, содержащей два вала на подшипниках, зубчатые колеса $Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7$ и две электромагнитные муфты ЭМ₁, ЭМ₂; гайки 6 крепления шлифовального круга (ШК), алюминиевого диска 7 с электромагнитом 4; корректирующих масс, изготовленных в виде колец 9, 10, сидящих на фланце 1 круга, паразитной шестерни Z_{II} и зубчатых колес Z_1, Z_8 , расположенных на гайке 6 крепления круга.

Зубчатое колесо Z_2 находится в зацеплении с шестерней Z_1 , жестко закрепленной на гайке 6, а шестерня Z_7 через паразитную шестерню Z_{II} – в зацеплении с зубчатым колесом Z_8 , жестко связанным с алюминиевым диском 7, свободно сидящим на гайке 6.

В диске 7 находятся палец 3 и плунжер 8. Плунжер 8 (рис. 8, б) встроенного в алюминиевый диск 7 электромагнита 4 соединен коромыслом 2 на оси 11 с пальцем 3, поджатым пружиной и также встроенным в тело диска.

Центр масс C_i (рис. 8, в) каждого из колец 9, 10 смещён относительно геометрического центра O , благодаря чему создается дисбаланс колец с целью балансировки шлифовального круга.

Смещение центра масс относительно геометрического центра получено высверливанием большого количества отверстий на одной половине кольца.

Количество высверливаемых отверстий определяется по дисбалансу, достаточному для компенсации наибольшего дисбаланса шлифовального круга, т.е. определяется требуемой емкостью устройства.

Момент трения в соединении кольцо – фланец 1 шлифовального круга обеспечивает неподвижное положение колец относительно круга в период пуска, работы и останова станка и в то же время позволяет повернуть их в процессе балансировки.

Момент трения создается прижатием колец к торцам фланца шлифовального круга. Коромысло 2 при включении электромагнита 4 может качаться вокруг оси 11, в результате чего обеспечивается поочередный вход и выход из отверстия колец пальца 3 и плунжера 8 электромагнита. Такое поступательное движение пальца 3 и плунжера 8 позволяет захватывать первое или второе кольца 9, 10 и поворачи-

вать их поочередно вокруг оси вращения шлифовального круга при включении одной из электромагнитных муфт ЭМ₁ или ЭМ₂.

Подвод питания к электромагниту осуществляется посредством контактного кольца и щётки.

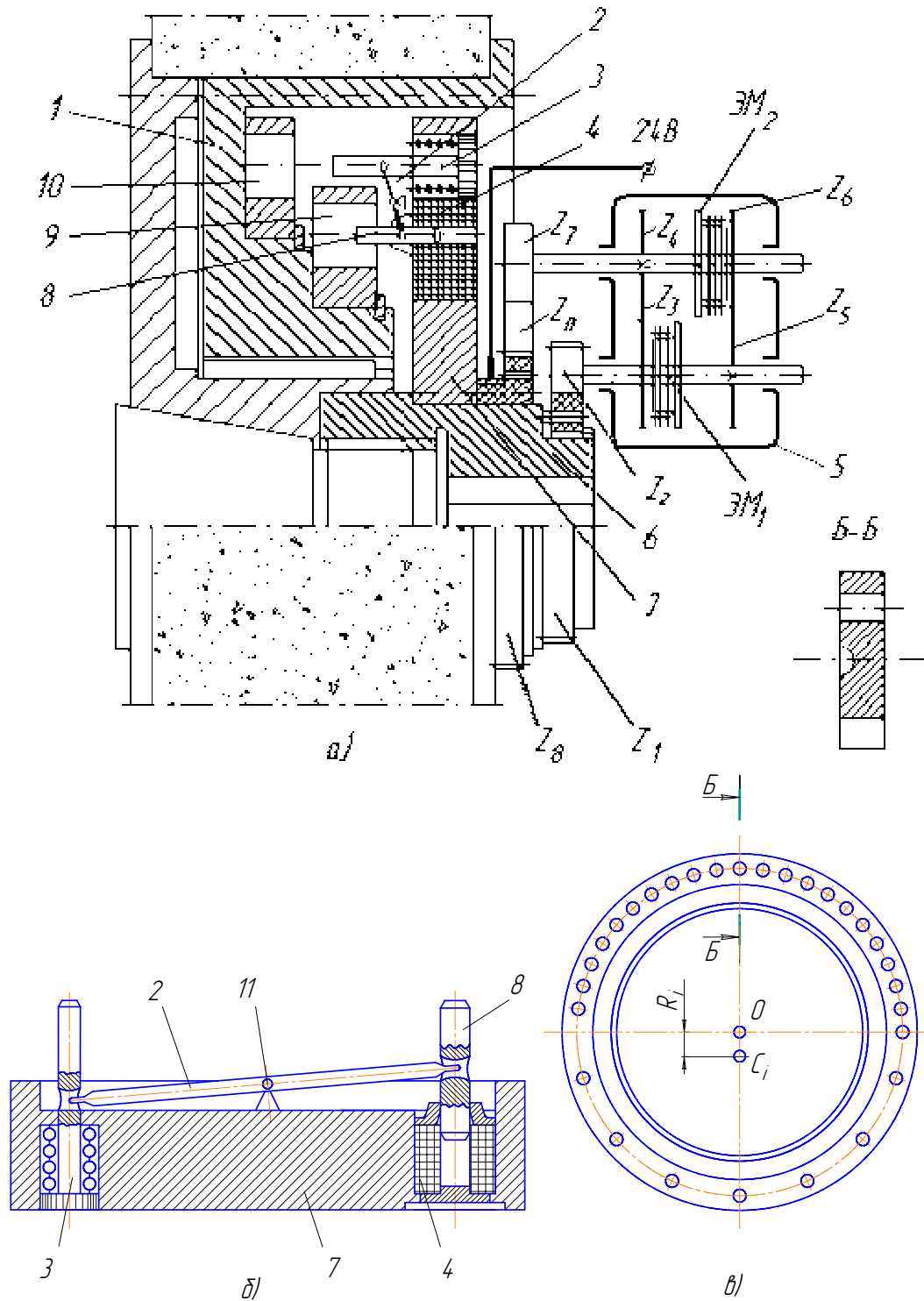


Рис. 8. Управляемое балансирующее устройство (МВТУ им. Н. Э. Баумана):
а – кинематическая схема; *б* – расположение электромагнита и пальца в алюминиевом диске; *в* – корректирующая масса, выполненная в виде кольца

Число зубьев зубчатых колес рассчитано таким образом, что передаточные отношения кинематических цепей $Z_1 - Z_2 - Z_3 - Z_4 - Z_7 - Z_8$ и $Z_1 - Z_2 - Z_5 - Z_6 - Z_7 - Z_8$ соответственно равны

$$i_1 = \frac{Z_1}{Z_2} \frac{Z_3}{Z_4} \frac{Z_7}{Z_8} = 1,005,$$

$$i_2 = \frac{Z_7}{Z_2} \frac{Z_5}{Z_6} \frac{Z_1}{Z_8} = 0,995.$$

Это означает, что при включении электромагнитной муфты ЭМ₁ зубчатое колесо Z_8 , а вместе с ним и алюминиевый диск 7 обгонят вращающийся шлифовальный круг на пять оборотов за каждую тысячу оборотов круга.

Сообщение алюминиевому диску 7 дополнительной положительной или отрицательной скорости позволяет осуществлять реверсивный поворот корректирующих масс. Зацепление колец производится включением и выключением электромагнита 4.

Достоинства этого УБУ – отсутствие каких-либо электродвигателей для относительного поворота корректирующих масс, небольшое количество элементов устройства, вращающихся вместе с шлифовальным кругом, высокая точность балансировки.

Время корректировки массы шлифовального круга не превышает одной - двух минут при любом угловом положении корректирующих масс относительно шпинделя.

8. Содержание работы и методические указания по ее выполнению

1. Изучить теоретические положения работы.
2. Шлифовальный круг проверить визуально на отсутствие сколов, трещин, забоин, проверить его на звук легким постукиванием по подвешенному инструменту деревянным предметом.
3. Обратит внимание на маркировку, нанесенную на торец шлифовального круга, расшифровать ее и занести в отчет по лабораторной работе.
4. Собрать шлифовальный круг с металлическими фланцами, проставив между абразивным материалом инструмента и фланцами картонные прокладки, не допуская какого-либо контакта абразива с металлом. Надежно закрепить круг во фланцах с помощью болтов.
5. Установить собранный круг на балансировочную оправку и закрепить его без зазора на ней, используя шайбу и гайку, навинченную на оправку.

6. Взвесить каждый из балансировочных сухарей и установить их в кольцевую балансировочную канавку во фланце под углом 120° друг к другу. Круг с оправкой установить на дисковый балансировочный стенд. Подождать, пока круг не прекратит колебательные движения на стенде.

7. Измерить диаметр балансировочной канавки во фланце и смещать балансировочные сухари по канавке в сторону «легкой» половины инструмента до тех пор, пока шлифовальный круг не будет занимать безразличное положение на дисковом приспособлении. В этом случае шлифовальный круг сбалансирован.

8. Внести в инструмент неуравновешенную массу, например из пластилина, прикрепив ее к шлифовальному кругу на определенном радиусе. Численное значение неуравновешенной массы m определить расчетом, исходя из заданного преподавателем главного вектора дисбалансов D_{cm} и измеренного радиуса ρ балансировочной канавки.

9. Выполнить корректировку масс шлифовального круга установкой или снятием с фланца балансировочных сухарей и раздвижением сухарей относительно вертикальной оси симметрии шлифовального круга.

10. Для приобретения навыка по корректировке масс инструмента п. 9 повторить несколько раз, после чего неуравновешенную пластилиновую массу с круга снять и вновь его отбалансировать.

11. Измерить углы между балансировочными сухарями и сравнить их с расчетными значениями. Определить погрешность расчета и эксперимента.

12. Предложить технологические решения по повышению точности балансировки шлифовальных кругов.

9. Средства, используемые при выполнении лабораторной работы

1. Дисковое балансировочное приспособление.
2. Комплект балансировочных сухарей.
3. Металлические фланцы для закрепления шлифовального круга.
4. Шлифовальный круг.
5. Угломер и штангенциркуль.
6. Балансировочная оправка.

10. Оформление отчета и сдача зачета по лабораторной работе

После выполнения лабораторной работы студент оформляет отчет, в котором приводятся кратко теоретические положения, сборочный чертеж дискового балансировочного станда, описание его в статике и в работе, а также чертежи балансировочной оправки и шлифовального круга в сборе с фланцами. В отчете следует привести схему статической балансировки круга с описанием методики корректировки масс инструмента и расчетами углов установки корректирующих масс и их потребного количества.

Зачет по лабораторной работе проставляет преподаватель на основании правильных ответов студента (магистранта) на заданные вопросы. Вопросы могут касаться как теоретических аспектов темы, методики выполнения работы, демонстрации приобретенного навыка балансировки инструмента, так и умения выполнять необходимые расчеты и объяснять физическую сущность геометрического сложения векторов дисбалансов, определяющих уравновешенное состояние шлифовального круга.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСБАЛАНСОВ ДИСКРЕТНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ГЕОМЕТРИЮ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

1. Цель работы

Изучение влияния дисбалансов дискретных шлифовальных кругов на геометрические показатели качества обработанной поверхности и механизма ее формирования.

2. Задание

1. Изучить механизм влияния дисбалансов шлифовальных кругов на шероховатость обработанной поверхности при плоском шлифовании периферией инструмента.

2. По заданной рабочим чертежом детали шероховатости поверхности установить максимально предельное значение главного вектора дисбалансов шлифовального круга для шпиндельного узла плоскошлифовального станка 3Г71.

3. Установить режимы плоского шлифования, обеспечивающие при наличии дисбаланса круга требуемую шероховатость поверхности.

3. Общие положения

Улучшение качества выпускаемой продукции, которая должна соответствовать передовым достижениям мировой науки и техники, является одной из основных задач промышленности. Эта задача может решаться главным образом путем совершенствования существующих технологических процессов, особенно путем совершенствования абразивной обработки и, в частности, шлифования, поскольку шлифование как метод конечной обработки позволяет получать высокую точность размеров, формы, малую шероховатость и волнистость поверхностей, являющихся важнейшими характеристиками качества обработки.

Абразивная обработка, в частности шлифование, характеризуется высокой точностью размеров, геометрической формы, низкой шероховатостью и волнистостью обработанных изделий, вследствие чего шлифование находит широкое применение в технологии производства подшипников, станков, машин.

Технология шлифования абразивными кругами со сплошной режущей поверхностью непрерывно совершенствуется в направлении создания шлифовального оборудования с высоким динамическим качеством, абразивного инструмента с высокими режущей способностью, стойкостью и другими свойствами новых составов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), оптимизации циклов и режимов резания и др.

Вместе с тем технология шлифования характеризуется интенсивным тепловыделением, в зоне резания, приводящим к появлению на высоких режимах обработки прижогов поверхностного слоя, снижению микротвердости, изменению исходной структуры металла, что резко снижает качество и эксплуатационную надежность машин и оборудования.

Не найдено пока кардинальных средств борьбы с прижогами, которые позволили бы настолько расширить границы режимов бесприжогового шлифования, что в назначении режимов резания лимитирующим фактором стал бы не прижог, а какой-либо другой качест-

венный показатель, например шероховатость, волнистость или макрогеометрия. На сегодняшний день прижоги в поверхностном слое справедливо относят к наиболее распространенным и сложным "болезням" абразивной обработки металлов и сплавов. Следует отметить, что эта проблема нашла своего полного решения и в настоящее время.

Обеспечение высокой точности и качества поверхностей при шлифовании неразрывно связано также с изучением колебаний технологической системы станок – приспособление – инструмент – деталь, выявлением доминирующих факторов процесса и эффективным их управлением.

Одним из таких факторов, определяющих уровень вибрации технологической системы при шлифовании, является неуравновешенность шпиндельного узла и, прежде всего, шлифовального круга.

Известно, что вибрация технологической системы оказывает большое влияние на качество поверхностного слоя (знак, величину и глубину распространения остаточных напряжений, шероховатость, микротвердость, волнистость) и точность формы шлифованных поверхностей.

Установлено, что доля погрешности, вносимой неуравновешенностью круга, например, при бесцентровом шлифовании, может достигать 70 % в общем балансе погрешности обработки.

Созданы шлифовальные станки, работающие на скоростях резания свыше 100 м/с и сошлифовывающие до 100 кг металла в час. Такие станки обеспечивают высокую производительность и снижение стоимости обработки. В ряде случаев эти станки допускают обработку литых, штампованных заготовок без предварительной обработки лезвийным инструментом.

По оценке специалистов, в ближайшее время в отечественном машиностроении на скоростях резания 60 – 80 м/с должно работать 10 – 20 % шлифовальных станков. Высокие скорости шлифования предъявляют жесткие требования к балансировке шлифовальных кругов, поскольку даже незначительная неуравновешенная масса может быть источником большой центробежной силы, действующей на шпиндель и повышающей уровень вибрации технологической системы.

Если для шлифовальных кругов со сплошной режущей поверхностью влияние дисбалансов на геометрические показатели обрабо-

танной поверхности изучено достаточно подробно, то применительно к дискретным шлифовальным кругам исследования в этом направлении только проводятся.

Для борьбы с термическими дефектами в поверхностном слое деталей разработаны шлифовальные круги с дискретной режущей поверхностью, которые значительно расширяют режимы бездефектного шлифования например, круги с лазерной дискретизацией режущей поверхности. Применительно к этому классу режущего инструмента не исследовано влияние дисбалансов на микрогеометрию обработанной поверхности.

4. Содержание работы и методические указания по ее выполнению

1. Изучить теоретические положения работы.
2. Шлифовальный круг проверить визуально на отсутствие сколов, трещин, забоин, проверить его на звук легким постукиванием по подвешенному инструменту деревянным предметом.
3. Обратить внимание на маркировку, нанесенную на торец шлифовального круга, расшифровать ее и занести в отчет по лабораторной работе.
4. Собрать шлифовальный круг с металлическими фланцами, проставив между абразивным материалом инструмента и фланцами картонные прокладки, не допуская какого-либо контакта абразива с металлом. Надежно закрепить круг во фланцах с помощью болтов.
5. Установить собранный круг на балансировочную оправку и закрепить его без зазора на оправке, используя шайбу и гайку, навинченную на оправку.
6. Отбалансировать дискретный шлифовальный круг с максимальной возможной точностью на дисковом балансировочном стенде.
7. Надежно закрепить дискретный шлифовальный круг на шпинделе плоскошлифовального станка 3Г71.
8. Внести в инструмент неуравновешенную массу, надежно прикрепив ее к шлифовальному кругу.
9. Назначить режим плоского шлифования и обработать первую заготовку.
10. Изменить неуравновешенную массу, внесенную в инструмент, и прошлифовать вторую заготовку.
11. Повторить п. 9 дважды.

12. Измерить шероховатость поверхности четырех обработанных деталей по всем стандартным показателям.

13. Построить графики зависимостей параметров шероховатости от главного вектора и главного момента дисбалансов дискретного шлифовального круга с лазерной дискретизацией режущей поверхности.

14. Объяснить механизм влияния дисбалансов дискретного шлифовального круга на параметры шероховатости обработанной поверхности.

5. Средства, используемые при выполнении лабораторной работы

1. Шлифовальный круг с лазерной дискретизацией режущей поверхности.

2. Дисковое балансировочное приспособление.

3. Комплект балансировочных сухарей.

4. Металлические фланцы для закрепления шлифовального круга.

5. Балансировочная оправка.

6. Плоскошлифовальный станок модели ЗГ71.

7. Профилометр для измерения шероховатости обработанной поверхности.

8. Персональный компьютер, соединенный с профилометром и обрабатывающий результаты измерений параметров шероховатости обработанной поверхности.

6. Оформление отчета и сдача зачета по лабораторной работе

После выполнения лабораторной работы студент оформляет отчет, в котором приводятся кратко общие положения, методика проведения работы, схема внесения в дискретный шлифовальный круг главного вектора и главного момента дисбалансов. Зачет по лабораторной работе проставляет преподаватель на основании правильных ответов студента (магистранта) на заданные вопросы. Вопросы могут касаться как теоретических аспектов темы, методики выполнения лабораторной работы, выполнения необходимых расчетов, так и объяснения механизма влияния дисбалансов дискретного шлифовального круга на показатели шероховатости обработанной поверхности.

Лабораторная работа № 7

АЛМАЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И СПОСОБЫ ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

1. Цель работы

Изучение способов правки сплошных и дискретных шлифовальных кругов и применяемых конструкций алмазных правящих инструментов.

2. Задание

1. Изучить применяемые в промышленности конструкции алмазных инструментов для правки сплошных и дискретных шлифовальных кругов.

2. Изучить способы правки сплошных и дискретных шлифовальных кругов, используемые при выполнении финишных абразивных технологических операций в различных отраслях промышленного производства.

3. Назначить режимы черновой и чистовой правки сплошных и дискретных шлифовальных кругов.

4. Освоить методику наладки плоскошлифовального станка на заданный режим правки сплошных и дискретных шлифовальных кругов.

5. Практически освоить приемы выполнения черновой и чистовой правки сплошных и дискретных шлифовальных кругов на плоскошлифовальном станке.

3. Понятие правки и ее назначение

В процессе шлифования металлов и сплавов абразивные и алмазные круги изнашиваются, режущие зерна затупляются, увеличиваются силы резания-трения, возрастает температура в зоне обработки, тончайший слой обрабатываемого металла расплавляется, налипает на зерна и проникает в поры шлифовального круга.

На рабочей поверхности инструмента появляется тонкий блестящий слой металла, который препятствует процессу резания абразивными зернами. Происходит трение металла по металлу, приводящее к недопустимым термическим дефектам обработанных деталей.

Процесс появления на режущей поверхности слоя металла называется засаливанием шлифовального круга. Засаленный шлифоваль-

ный инструмент резать не может, при этом попытка станочника продолжить процесс шлифования путем дополнительного прижатия круга к заготовке приводит к разрыву шлифовального инструмента, что опасно для жизни и чревато поломкой станка.

Чтобы восстановить режущую способность шлифовального круга, его подвергают правке, не снимая его со шпинделя станка, при этом круг вращается с такой же частотой, как и при шлифовании, а правящий инструмент перемещается параллельно оси круга со скоростью продольной подачи правки.

Иными словами, процесс правки проводится так же, как и обычное обтачивание цилиндрических, конических или других по форме поверхностей. Обычно проводится два прохода черновой правки и один или два прохода чистовой.

4. Конструкции правящего инструмента

Поскольку абразивные зерна шлифовальных кругов имеют высокую твердость, для проведения качественной правки используют в основном алмазные правящие инструменты.

Многообразие форм деталей, обрабатываемых шлифованием, широкий диапазон технических требований, предъявляемых к обрабатываемым поверхностям, характер производства и различные размеры и характеристики абразивных кругов, подвергаемых правке, определяют широкую номенклатуру применяемых в настоящее время алмазных правящих инструментов.

За последние годы конструктивным изменениям и усовершенствованию подверглись в основном многокристальные правящие инструменты.

По расположению алмазов в алмазоносной вставке многокристальные инструменты делятся на импрегнированные, в которых алмазы мелких размеров расположены без точной ориентации, и инструменты, в которых алмазы сравнительно крупных размеров расположены в определенном порядке.

5. Алмазные карандаши

Алмазные карандаши являются наиболее распространенным видом правящего инструмента в отечественной промышленности. Они имеют ряд преимуществ перед однокристальными инструментами:

а) стоимость карандашей ниже, так как мелкие алмазы дешевле крупных;

б) алмазы в карандашах не подлежат перешлифовке или перестановке, и поэтому потери времени на замену карандашей минимальны;

в) рабочая нагрузка при правке карандашами типов С и Н распределяется между многими алмазами, съем абразива происходит быстрее, а опасность разрушения алмазов значительно уменьшается; это позволяет сократить время правки, так как при правке такими карандашами поперечные подачи можно увеличить без опасения разрушить алмазы.

Алмазы в карандашах могут располагаться по-разному (рис. 1): слоями (тип С), в линию по оси инструмента (тип Ц), неориентированно (тип Н), на фасонной поверхности (тип СФ), на равном расстоянии друг от друга (тип НГ).

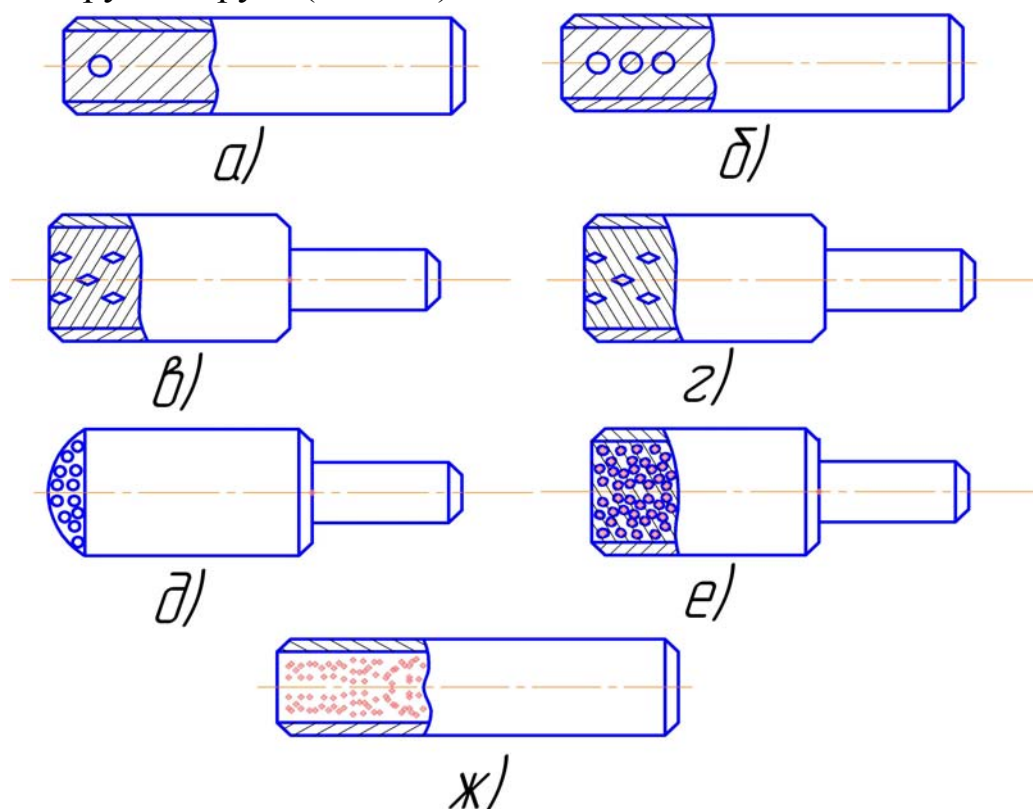


Рис. 1. Алмазные правящие карандаши: а – с одним алмазом марки Ц6; б – с несколькими алмазами, расположенными вдоль оси инструмента, марки Ц1–Ц5; в – с алмазами, расположенными слоями, перекрывающимися друг друга, тип С4; г – с алмазами, расположенными слоями, марок С1–С3, С5; д – с алмазами, расположенными на сферической поверхности, марки СФ; е – с гранулированными алмазами марки ПГ; ж – с неориентированным расположением алмазов типа Н1–Н7

Карандаши с алмазами, расположенными слоями, используются обычно для правки больших шлифовальных кругов при круглом наружном, бесцентровом и плоском шлифовании. Алмазы в карандашах типа С могут быть расположены с перекрытием слоев, т. е. таким образом, чтобы по мере износа одного слоя алмазов вступали в работу алмазы последующего слоя. Карандаши типа Ц используются для правки кругов при внутреннем шлифовании. Карандаши типа Н изготавливаются из мелких алмазов-порошков зернистостью 63/50–400/315 и предназначены для таких операций, как правка фасонных кругов с острым профилем (например односточных кругов при резьбошлифовании), тонких кругов на вулканитовой связке, кругов для заточки пил и весьма мелкозернистых кругов для прецизионного шлифования.

Шлифовальные круги указанных типов следовало бы править лишь очень острым правящим инструментом, способным работать с минимальным усилием прижима к поверхности выправляемого круга. Однако инструмент с острой вершиной имел бы значительно меньшую стойкость по сравнению с карандашами типа Н, с помощью которых можно успешно достигнуть ту же цель.

В отличие от карандашей типа С в карандашах типа СФ алмазы расположены в один слой на сферической поверхности. Вершины алмазов выступают над уровнем связки на определенную величину, благодаря чему при правке карандашами типа СФ достигается более открытая структура рабочей поверхности круга, стойкость которого возрастает.

Карандаши типа СФ так же, как и монокристалльные инструменты, должны быть наклонены под углом 15° к поверхности круга с тем, чтобы по мере износа одного участка сферы путем поворота вводить в работу другие неизношенные участки.

Карандаши гранулированные типа НГ изготавливаются из алмазов средних размеров. Благодаря специальным технологическим приемам расстояния между алмазами получаются одинаковыми, заранее заданными. Эти карандаши так же, как и карандаши типа С, предназначены для правки крупногабаритных кругов, но из-за меньшей стоимости алмазов дают больший экономический эффект.

Правку карандашами типа НГ можно произвести с меньшими затратами времени, так как глубина правки может быть увеличена до 25 % без увеличения удельного расхода алмазов.

Одним из направлений повышения работоспособности алмазных правящих карандашей является предварительная металлизация

алмазного сырья. Применение алмазов с покрытием, образующим сплошную прочно соединенную с поверхностью кристалла пленку, способствует более прочному закреплению алмазных зерен в связке, снижает разрушение и выкрашивание алмазов в процессе работы.

В настоящее время алмазы с покрытием положительно зарекомендовали себя в правящих карандашах типа С, износостойкость которых по сравнению с аналогичным инструментом из обычных алмазов возрастает в 1,2 – 1,4 раза. Использование правящих карандашей из алмазов с покрытием увеличивает возможности проведения правки при больших скоростях и подачах. Наряду с природными алмазами нашли применение и синтетические алмазы. Лучшим сырьем из всей гаммы синтетических поликристаллических алмазов в настоящее время является материал СВ.

6. Алмазные гребенки и бруски

Алмазные гребенки являются эффективными инструментами для профильной правки шлифовальных кругов по копиру. В большинстве случаев ими можно заменить дорогостоящие однокристалльные инструменты из ограненных алмазов. Рабочая часть гребенки состоит из алмазных столбиков, расположенных в один ряд в прямоугольной металлической вставке параллельно оси инструмента.

Ограничительным фактором использования гребенок является радиус перехода профиля детали; он должен быть не менее 0,5 мм. Строгое расположение алмазных столбиков определенных размеров в одной плоскости обеспечивает срок службы инструмента, в 2 раза и более превышающий срок службы алмазных резцов с учетом их трехкратного восстановления. Эти инструменты менее чувствительны к ударным нагрузкам, возникающим вследствие менее точной формы шлифовальных кругов.

Стойкость комплекта алмазных брусков (рис. 2 - 4) более чем в 30 раз превышает стойкость безалмазного инструмента. Ранее на плоскошлифовальных станках с вертикальным шпинделем и круглым столом, работающих торцом сегментного абразивного круга, использовались безалмазные правящие инструменты. Однако для процесса шлифования торцом круга при увеличении скорости резания до 60 м/с безалмазные инструменты оказались непригодными из-за низкой их стойкости и невысокой точности формы шлифовального круга, получаемой после правки.

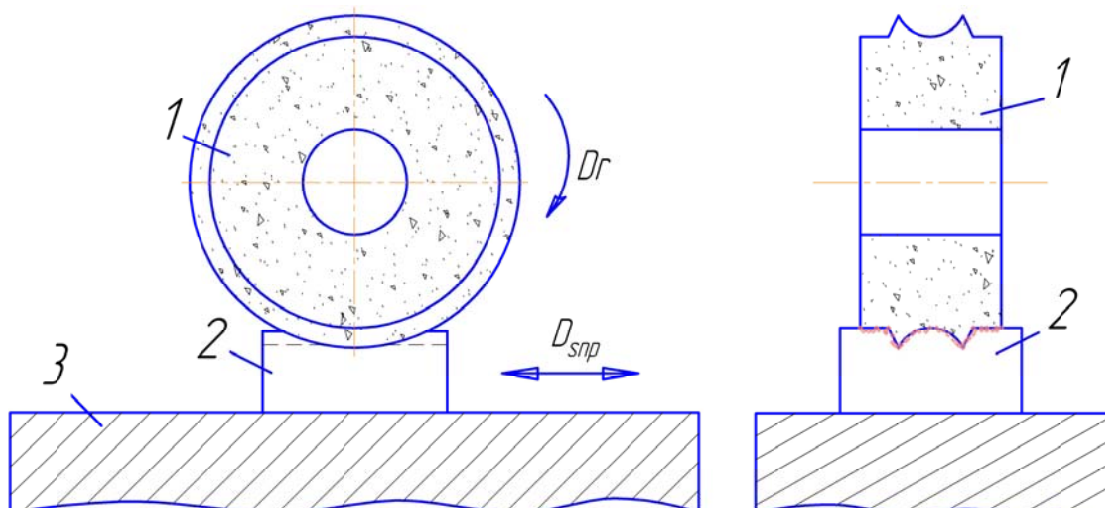


Рис. 2. Схема правки круга алмазным фасонным бруском:
1 – шлифовальный круг; 2 – алмазный фасонный брусок; 3 – стол станка

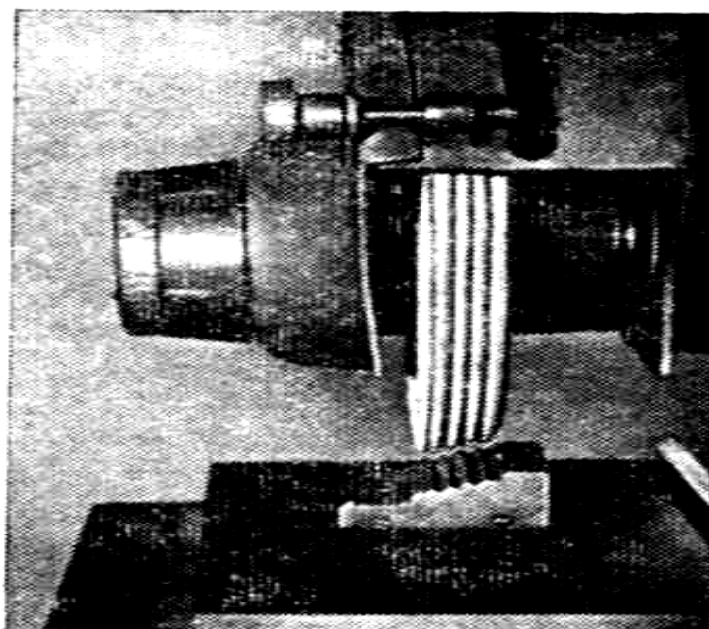


Рис. 3. Алмазный фасонный брусок, установленный на плоскошлифовальном станке 3Г71

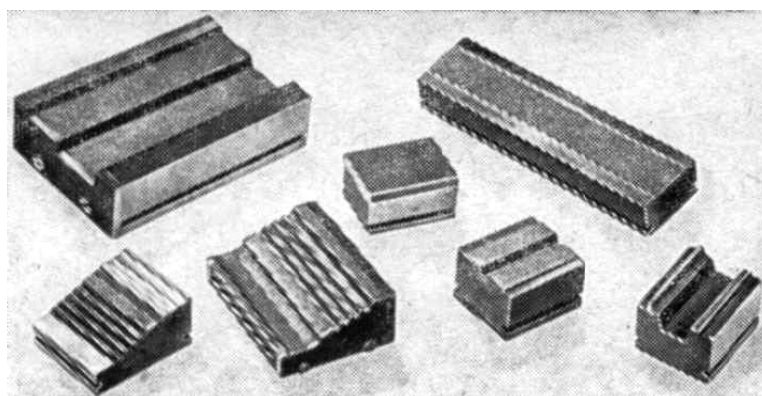


Рис. 4. Геометрия алмазных фасонных брусков

Для правки сегментных кругов, работающих на повышенных скоростях, были разработаны специальные алмазные бруски с размерами $50 \times 20 \times 35$ мм из крупных алмазов массой 0,05 – 0,1 карата и определены оптимальные подачи: поперечная – 0,04 мм/ход, продольная – 0,8 м/мин.

Алмазным фасонным бруском можно спрофилировать шлифовальный круг на плоскошлифовальном станке путем перемещения бруска в плоскости, перпендикулярной оси круга (см. рис. 3).

Шероховатость обрабатываемой поверхности зависит от характеристики алмазного бруска, режимов правки и точности установки бруска на столе станка. При выборе оптимальных условий шлифования и правки достигается шероховатость поверхности, соответствующая $R_a = 0,63$ мкм. Максимальная точность профиля, обеспечиваемая при правке круга брусками, 0,015 – 0,020 мм.

7. Правка шлифовальных кругов алмазными роликами

Алмазные ролики имеют неоспоримые преимущества перед всеми другими правящими инструментами при использовании их в массовом и крупносерийном производстве. Правка кругов алмазными роликами производится при рабочей скорости шлифовального круга, при этом ролик сообщают принудительное вращение. Для полного использования преимуществ правки алмазными роликами станок должен быть снабжен специальным правящим приспособлением, но в некоторых случаях ролики можно устанавливать в центрах между передней и задней бабками круглошлифовального станка. Основные требования, предъявляемые к правящим приспособлениям, сводятся к следующему:

а) жесткость шпинделя должна быть не менее 100 Н/мкм; бие – не более 0,002 мм; б) должна быть надежная защита от попадания абразива и СОЖ; в) конструкцией должен быть предусмотрен следующий цикл правки: быстрый подвод ролика, подача на врезание, выхаживание и быстрый отвод ролика; г) должна быть предусмотрена подача СОЖ в зону правки с производительностью 40 – 60 л/мин на каждый сантиметр ширины контакта при давлении 40 Н/см².

При соблюдении требуемых условий эксплуатации прецизионных алмазных роликов достигается точность геометрической формы $\pm 0,005$ мм, допуск на угол $\pm 10'$, шероховатость поверхности $R_a = 0,40$ мкм.

Основными схемами при правке кругов роликами являются профильная правка по копиру; правка методом врезания.

Правка круга алмазными роликами прямого профиля по копиру (рис. 5, *a*) используется, как правило, на операциях шлифования деталей несложной конфигурации. Диаметр обкатного ролика, перемещающегося по копиру, должен быть равен диаметру алмазного ролика. Однако применение этой схемы имеет ограничение по конфигурации детали – шлифуемая поверхность должна быть только вогнутой. Правка роликом прямого профиля по копиру используется при шлифовании шатунных и коренных шеек коленчатых валов, при этом достигается шероховатость обрабатываемой поверхности $R_a = 0,80$ мкм. Для достижения меньшей шероховатости поверхности в механизме правки предусмотрено устройство, исключаящее вращение ролика вокруг своей оси во время чистового (обратного) хода. Благодаря этому достигается шероховатость обрабатываемой поверхности $R_a = 0,63 - 0,32$ мкм.

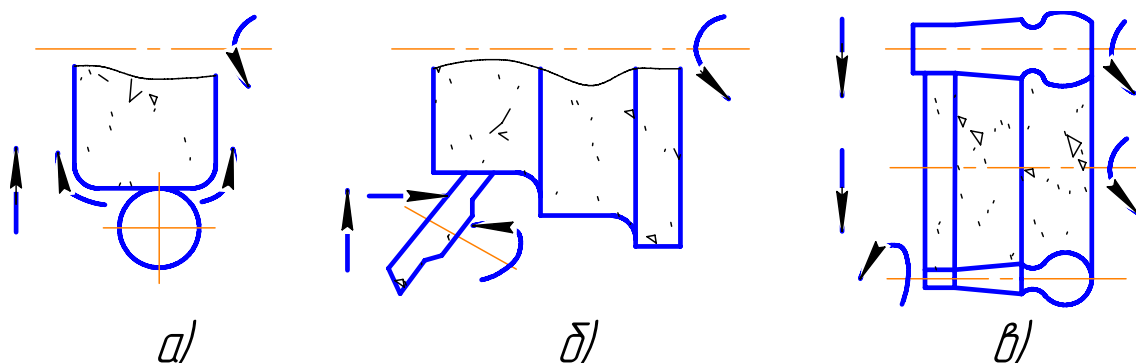


Рис. 5. Схемы правки шлифовальных кругов алмазными роликами:
a – по копиру роликом прямого профиля; *б* – по копиру роликом фасонного профиля; *в* – врезанием фасонным роликом

Метод правки фасонным роликом по копиру (рис. 5, *б*) применяется при обработке деталей с более широким диапазоном конфигураций, допускает профильную правку последовательно нескольких кругов, стоящих друг от друга на небольшом расстоянии (до 6 мм). Ось ролика в зависимости от требуемого профиля круга параллельна оси шлифовального круга либо наклонена к ней под некоторым углом.

Профиль опорного щупа, перемещающегося по копиру, соответствует профилю алмазного ролика и не связан с его диаметром. В автомобильной промышленности данный метод применяется на опера-

ции одновременного шлифования пяти коренных шеек и места под уплотнительное кольцо коленчатого вала на шести круговых станках фирмы „Landis” (Англия). Правка кругов осуществляется последовательно одним фасонным роликом по копиру. С целью достижения меньшей шероховатости обрабатываемой поверхности вращение алмазного ролика при его обратном (чистовом) ходе исключается.

Правка кругов врезанием фасонными роликами (рис. 5, в) наиболее распространена и характеризуется высокой производительностью. Врезанием ролика можно обрабатывать поверхности шлифовального инструмента любой формы. Применение алмазных роликов сокращает вспомогательное время на правки круга в 5 раз и более по сравнению с правкой по копиру однокристалльным инструментом, создает более благоприятные условия для полной автоматизации процесса шлифования. Как правило, время правки круга врезанием алмазным роликом составляет 3 – 5 с, и поэтому оно легко перекрывается временем, затрачиваемым на снятие обработанной детали, подачу и установку новой заготовки. При правке методом врезания профиль ролика в разрезе соответствует профилю круга.

Диаметры ролика и детали могут быть различными. Форма и конструкция алмазных роликов, работающих методом врезания, определяются общими правилами техники шлифования. Например, при правке торцовых поверхностей круга (так же, как и при шлифовании деталей) торцовая поверхность ролика должна иметь поднутрение. Алмазный ролик при этом меньше сглаживает боковые поверхности шлифовального круга, и качество шлифованных деталей повышается.

В качестве критериев выбора характеристики алмазных роликов следует также принять форму профиля круга и положение правящего ролика по отношению к направлению подачи на врезание. Если угол между направлением подачи и поверхностью ролика меньше 30° , то концентрация алмазов на поверхности должна быть уменьшена с целью улучшения режущих свойств соответствующей поверхности шлифовального круга и устранения возможных прижогов на обработанной поверхности.

Представляет значительный интерес выбор оптимального метода правки алмазными роликами и сравнение его с другими известными методами профильной правки. Прежде всего, следует отметить, что роликами можно получить такой сложный профиль круга, кото-

рый практически невозможно достичь никакими другими методами правки. В качестве примера можно привести операции шлифования канавок прямоугольной формы. Получение такого профиля круга однокристалльным правящим инструментом типа резца или иглы весьма затруднительно или практически невозможно. При шлифовании сложных профилей типа трапецеидально-гребенчатого с небольшими боковыми углами резьбового профиля с шагом менее 2 мм метод правки роликами может оказаться единственно возможным.

При правке сравнительно несложных профилей может использоваться как копирный метод правки однокристалльным инструментом, так и метод правки роликами. Выбор того или иного метода определяется требованиями к шероховатости поверхности обработанной детали, точности, а также программой выпуска деталей.

При обработке профильных деталей в мелкосерийном производстве правку круга следует производить однокристалльным инструментом по копиру, так как применение фасонных роликов в этом случае экономически нецелесообразно. Шероховатости обрабатываемой поверхности $R_a = 0,16$ мкм и менее можно достигнуть только при правке круга однокристалльным инструментом по копиру. Профильную правку кругов большой ширины (200 мм и более) на бесцентровошлифовальных станках также следует производить однокристалльными инструментами по копиру, так как изготовление и сборка блоков роликов шириной 200 мм и более затруднительны.

Широкое внедрение алмазных правящих роликов связано с проблемой повышения точности их изготовления. Если точность обработки при правке круга однокристалльным инструментом зависит в основном от точности копирного устройства, то применение роликов зависит от точности их профиля. Поле допуска на профиль алмазного ролика включает собственно допуск на изготовление и поле допуска на износ. Общее поле допуска на изготовление ролика, работающего методом врезания, не должно превышать $2/3$ поля допуска изделия. Это означает, что при обработке деталей 6-го качества точности допуски на размеры профиля ролика должны быть меньше, чем по 4 – 5-му качествам точности.

Повышение требований к точности изготовления ролика вызывает соответствующее увеличение его стоимости. Срок службы алмазного ролика зависит от жесткости станка, характеристики и разме-

ров шлифовального круга, материала обрабатываемого изделия, пуска под обработку, требуемой точности изделия и качества обрабатываемой поверхности, охлаждения при правке, отношения скоростей ролика и круга, подачи на глубину, расположения, качества и зернистости алмазов и т. д. Но бесспорные преимущества метода правки роликами перед копирным методом (кроме тех случаев, о которых упоминалось выше) дают основание утверждать, что области применения его будут быстро расширяться.

Правка кругов алмазными роликами позволяет осуществлять производительное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов, значительно улучшить качество и стабильность геометрических параметров деталей и не имеет ограничений по скорости резания.

8. Содержание работы и методические указания по ее выполнению

1. Изучить общие положения работы.
2. Собрать сплошной шлифовальный круг с металлическими фланцами, проставив между абразивным материалом инструмента и фланцами картонные прокладки, не допуская какого-либо контакта абразива с металлом. Надежно закрепить круг во фланцах с помощью болтов.
3. Закрепить шлифовальный круг на шпинделе плоскошлифовального станка ЗГ71.
4. Закрепить алмазный карандаш в приспособлении и установить приспособление на магнитном столе станка.
5. Установить режим правки абразивного круга на плоскошлифовальном станке и провести несколько проходов правки шлифовального круга на черновом и чистовом режимах.
6. Визуально проверить алмазные зерна правящего карандаша и режущие участки дискретного шлифовального круга на наличие сколов, выкрашивания и вырывания абразивных зерен инструмента.
7. Прошлифовать заготовки проправленным на различных режимах кругом, измерить шероховатость обработанных поверхностей и сравнить ее при различных режимах правки инструмента.
8. Сделать вывод о влиянии режима правки шлифовальных кругов на геометрию обработанных поверхностей.

9. Средства, используемые при выполнении лабораторной работы

1. Сплошной шлифовальный круг.
2. Алмазный правящий карандаш типа С.
3. Стальные заготовки типа пластин.
4. Металлические фланцы для закрепления шлифовального круга.
5. Плоскошлифовальный станок модели ЗГ71.
6. Приспособление для закрепления алмазного карандаша на столе станка.
7. Профилометр для измерения шероховатости шлифованной поверхности.

10. Оформление отчета и сдача зачета по лабораторной работе

После выполнения лабораторной работы студент оформляет отчет, в котором приводятся кратко теоретические положения, описываются различные способы правки шлифовальных кругов с указанием рабочих движений исполнительных органов плоскошлифовального станка. Следует привести режимы черновой и чистовой правок и шероховатость поверхностей, шлифованных кругом, после черновой и чистовой правки, сделать заключение о степени влияния режимов правки алмазными карандашами на геометрию обработанных поверхностей.

Зачет по лабораторной работе проставляет преподаватель на основании правильных ответов студента (магистранта) на заданные вопросы. Вопросы могут касаться как теоретических аспектов темы, методики выполнения работы, демонстрации приобретенного навыка правки шлифовального инструмента, так и умения выполнять необходимые приемы, связанные с установлением требуемого режима правки шлифовального круга.

Лабораторная работа № 8

ИЗНОС АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРАВКАХ СПЛОШНОГО И ДИСКРЕТНОГО ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

1. Цель работы

Исследование износа алмазного инструмента в процессе правки сплошных и дискретных шлифовальных кругов и сравнительный анализ расхода правящего инструмента.

2. Задание

1. Изучить износ алмазного инструмента при правке сплошных и дискретных шлифовальных кругов.
2. Назначить режимы черновой и чистовой правки сплошных и дискретных шлифовальных кругов.
3. Изучить методику измерения износа алмазного инструмента.
4. Построить графики зависимостей износа алмазного карандаша от длины пути, проходимого им в абразиве шлифовального круга.
5. Выполнить сравнительный анализ износов алмазного правящего карандаша после правки сплошного и дискретного шлифовальных кругов.

3. Общие положения

Режущие зерна абразивных кругов в процессе шлифования металлов и сплавов затупляются, поры забиваются металлической стружкой и отходами шлифования (засаливание), в результате инструмент теряет прежнюю режущую способность и геометрическую форму. Для восстановления режущей способности и правильной геометрической формы осуществляют правку абразивного круга, заключающуюся в снятии тонкого слоя абразива, потерявшего способность резания. Для этой цели используют алмазные карандаши различных типов и другие средства.

Периодическая правка абразивных кругов приводит к удлинению цикла обработки изделия, а также к расходу дорогостоящего алмазного инструмента в результате его износа при правках. Вновь создаваемые прогрессивные технологические методы и режущие инструменты наряду с улучшением качества, повышением производительности обработки должны обеспечивать малый износ алмазного правящего инструмента, поскольку расход его непосредственно влияет на себестоимость изделия.

Сборные прерывистые абразивные круги (дискретные шлифовальные круги, имеющие ряд преимуществ перед сплошными стандартными абразивными кругами), также следует оценивать по производительности, качеству обработанной поверхности и расходу правящего инструмента. С этой целью необходимо исследовать износ алмазных зерен карандаша после многократных правок сплошных абразивных кругов, сборных прерывистых абразивных кругов. Для каждой глубины резания выполняют несколько проходов правки с попе-

речной подачей стола с установленным на нем алмазным карандашом. Количество проходов правки определяется исходя из того, чтобы получить износ, который можно было бы зарегистрировать на приборе с ценой деления 1 мкм. Частота вращения абразивного круга, установленного на шпинделе плоскошлифовального станка, при правках составляет 2880 мин^{-1} .

Шлифовальный круг с лазерной дискретизацией режущей поверхности имеет режущую цилиндрическую поверхность, на которой выполнено большое число радиальных отверстий. Из-за наличия отверстий создаются воздушные промежутки, которые уменьшают площадь, занятую абразивными зернами и связкой. После проведения нескольких проходов правки алмазный инструмент нагревается. Чтобы повышение температуры алмазного карандаша не сказывалось на увеличении износа, карандаш охлаждают на воздухе до температуры окружающей среды. При этом погрешности эксперимента, вызванные тепловым полем, исключаются. Алмазный карандаш имеет слоистое расположение зерен, поэтому следует измерять износ каждого алмазного зерна, расположенного в слое.

Для исключения дополнительных погрешностей алмазный карандаш устанавливают при каждой новой правке в одном и том же угловом положении относительно приспособления путем совмещения рисок, нанесенных на алмазном карандаше и приспособлении для его закрепления.

Как показывают эксперименты, в процессе правок дискретных абразивных кругов вследствие ударного характера работы абразивных зерен и зерен алмазного карандаша никаких сколов, разрушений как абразивных сегментов, так и зерен правящего инструмента не наблюдается. С увеличением глубины резания при правках температура алмазного карандаша может повышаться, причем после правки сплошного абразивного круга с глубиной 0,020 мм температура карандаша может достигать $70 - 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как после правки дискретного абразивного круга с такой же глубиной следует ожидать меньшую температуру нагрева. При правках на глубине 0,005; 0,010; 0,015 мм также может наблюдаться повышение температуры карандаша, однако она должна быть ниже, чем после правки на глубине 0,020 мм. Тело алмазного карандаша после правки дискретного абразивного круга должно иметь более низкую температуру потому, что карандаш остывает между двумя соседними резами благодаря нали-

цию воздушного промежутка, обусловленного радиальными отверстиями, выжженными лазерным лучом. После правки сплошного круга износ составил 7,0 мкм и 2,2 – 2,8 мкм после правки дискретного абразивного круга. Столь существенная разница в абсолютном износе алмазных зерен объясняется, в первую очередь, тем, что при правках сплошного абразивного круга алмазные зерна находятся в материале абразива больше времени, чем при правках дискретного шлифовального круга из-за воздушных промежутков.

Ударный характер работы алмазных зерен правящего инструмента не сказывается на увеличении их износа вследствие сравнительно малых припусков абразива, снимаемого за каждый проход правки. Абсолютный износ алмазных зерен при правках кругов обеих конструкций имеет большой разброс при небольших глубинах резания, и по мере увеличения глубины резания разброс значений износа отдельных зерен наряду с общим возрастанием уменьшается.

Наиболее близкие друг другу значения износов алмазных зерен получены при правках на глубине 0,020 мм. Такая картина износа может быть объяснена тем, что при малых глубинах резания различные зерна снимают припуски разной величины: так, одни зерна находятся все время в абразивном материале, другие, наиболее удаленные от оси вращения круга, в меньшей степени участвуют в работе и подвергаются в большей степени давлению со стороны абразивных зерен круга. С увеличением глубины резания условия работы всех алмазных зерен примерно выравниваются (все зерна снимают абразив), в результате чего абсолютные значения их износа становятся примерно равными.

Суммарный износ, полученный сложением абсолютных износов каждого из алмазных зерен после правки кругов, также зависит от глубины резания, причем он более существенно возрастает при правках сплошного абразивного круга.

Наибольшая экономия алмазных зерен будет получена, если правку дискретного круга выполнять с глубиной резания 0,020 мм. Такой слой абразива снимается при черновых проходах правки, после которых можно рекомендовать чистовые проходы с глубиной резания 0,005 мм. При этих условиях можно ожидать уменьшения износа, следовательно, уменьшения расхода алмазного правящего инструмента в два раза и более.

Для построения графиков износа алмазных зерен в зависимости от относительного пути карандаша необходимо определить износ ка-

ждого абразивного зерна, приходящийся на единицу пути. Время рабочего хода алмазного зерна определяется по формуле

$$t_1 = \frac{B}{S}, \quad (1)$$

где B – высота абразивного круга; S – поперечная подача карандаша относительно круга.

Длина пути, проходимого алмазным карандашом относительно вращающегося круга за один рабочий ход, составит

$$L = \frac{\pi(D_1 + D_2)}{2} n t_1, \quad (2)$$

где D_1, D_2 – наружный диаметр абразивного круга до правки и после выполнения выбранного числа проходов правки соответственно; n – частота вращения абразивного круга при правке; t_1 – время, необходимое для выполнения одного рабочего хода правки.

Износ алмазных зерен, приходящийся на единицу длины:

$$u_0 = \frac{u}{LK}, \quad (3)$$

где u – износ, характерный для рассматриваемого алмазного зерна за K проходов правки.

Износ зерен за любой интересующий промежуток пути карандаша в абразиве составит

$$u_i = u_0 L K. \quad (4)$$

Используя формулы (1) – (4), можно определить износ алмазных зерен после прохождения ими произвольного пути в абразивном материале. Как следует из формул, износ алмазных зерен является абразивным. Линейная закономерность износа алмазных зерен справедлива как для дискретного абразивного круга, так и для сплошного круга, однако большая интенсивность износа характерна для сплошного круга. Износ алмазных зерен в зависимости от пути носит характер, свойственный прохождению зоны приработки и наступлению нормального износа, т. е. в начале работы алмазные зерна изнашиваются интенсивнее. После этого наступает этап нормального износа со значительно меньшей скоростью износа. Приведенные результаты получены для сегментных шлифовальных кругов, и они могут быть использованы для ориентировочной сравнительной оценки износа правящего инструмента при правках шлифовальных кругов различных конструкций.

4. Содержание работы и методические указания по ее выполнению

1. Изучить общие положения работы.
2. Собрать поочередно сплошной и дискретный шлифовальные круги с металлическими фланцами, не допуская контакта абразива с металлом. Надежно закрепить круг во фланцах с помощью болтов.
3. Установить поочередно сплошной и дискретный собранные шлифовальные круги на балансировочную оправку и провести процесс статической балансировки перед установкой инструмента на шпиндель плоскошлифовального станка.
4. Поочередно надежно закрепить сплошной и дискретный шлифовальные круги на шпинделе плоскошлифовального станка 3Г71.
5. Установить алмазный карандаш на магнитном столе станка.
6. Отработать установку заданного режима правки на плоскошлифовальном станке и провести по 20 проходов правки поочередно сплошного и дискретного шлифовальных кругов на черновом и чистовом режиме.
7. Измерить уменьшение размеров алмазных зерен и определить величину износа каждого зерна.
8. Построить графики зависимостей износа алмазного карандаша в функции пути, проходимого алмазным карандашом в абразивном материале для сплошного и дискретного кругов.
9. Вывести формулы, связывающие износ с длиной пути алмазного инструмента в материале шлифовального круга для обеих конструкций.
10. По результатам исследований сделать вывод об интенсивности износа алмазного правящего инструмента при правках сплошного и дискретного шлифовальных кругов.

5. Средства, используемые при выполнении лабораторной работы

1. Сплошной шлифовальный круг и круг с лазерной дискретизацией режущей поверхности, которые имеют одинаковые характеристики абразивного материала.
2. Индикатор с ценой деления 1 мкм.
3. Металлические фланцы для крепления шлифовального круга.
4. Плоскошлифовальный станок модели 3Г71.
5. Алмазный правящий карандаш типа С.
6. Приспособление для установки и закрепления алмазного карандаша.

6. Оформление отчета и сдача зачета по лабораторной работе

После выполнения лабораторной работы магистрант оформляет отчет, в котором приводятся кратко теоретические положения, касающиеся износа алмазного карандаша, схема правки сплошного и дискретного шлифовальных кругов, расчет пути, проходимого алмазными зернами карандаша в абразивном материале кругов, методику измерения износа, а также графики и математические формулы, полученные в процессе проведения экспериментальных исследований.

Зачет по лабораторной работе проставляет преподаватель на основании правильных ответов магистранта на заданные вопросы. Вопросы могут касаться теоретических аспектов темы, методики выполнения работы, необходимых расчетов, вывода формул, графиков зависимостей износа от времени правки инструмента, длины пути, проходимого карандашом в абразивном материале.

Заключение

Основным недостатком процесса шлифования стандартными кругами со сплошной режущей поверхностью являются интенсивные тепловыделения в обрабатываемые заготовки, которые вызваны высокими скоростями резания и скоростями упругих и пластических деформаций обрабатываемого металла. Эти тепловыделения резко снижают качественные показатели поверхностного слоя детали. В последнее время для борьбы с отрицательным влиянием тепла разработан ряд направлений совершенствования процесса шлифования и конструкций инструмента. В последнее время ведущее место занимают процессы дискретного шлифования дискретных шлифовальных инструментов.

В настоящем лабораторном практикуме изложены основные показатели, характеризующие эффективность стандартного шлифовального инструмента, шлифовального инструмента с лазерной дискретизацией режущей поверхности, а также критерии оценки дискретных шлифовальных кругов, исследование влияния дисбалансов дискретного шлифовального круга.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев, В. Г.* Анализ схем дискретизации режущей поверхности шлифовальных кругов / В. Г. Гусев, А.В. Морозов // Сб. ст. Всерос. совещ. зав. каф. материаловедения и технологии конструкц. материалов. Проблемы качества технологической подготовки. – Волгоград : Волж. ин-т строит. и техн., 2007. – С. 91 - 94. – ISBN 978-5-98276-182-8.

2. *Гусев, В. Г.* Критерии сравнительной оценки дискретных шлифовальных кругов. / В. Г. Гусев, А. В. Морозов // Сб. ст. Всерос. совещ. зав. каф. материаловедения и технологии конструкц. материалов. Проблемы качества технологической подготовки. – Волгоград : Волж. ин-т строит. и техн., 2007. – С. 88 - 91. – ISBN 978-5-98276-182-8.

3. *Гусев, В. Г.* Разрывные и рабочие скорости шлифовальных кругов с лазерной дискретизацией режущей поверхности / В. Г. Гусев [и др.] // Изв. Тул. гос. ун-та. В 2 ч. Сер. Инструментальные и метрологические системы. – Тула: Тул. гос. ун-т, 2004. – Ч. 2. – С. 79 - 83. – ISBN 5-7679-0585-1.

4. *Гусев, В. Г.* Формирование поверхности в процессе плоского шлифования кругом с лазерной дискретизацией режущей поверхности / В. Г. Гусев, А. В. Морозов, П. С. Швагирев // Материалы Всерос. науч.-техн. конф. „Теплофизика технологических процессов”. – Рыбинск : РГАТА, 2006. – С. 24 - 26. – ISBN 5-88435-180-1.

5. *Гусев, В. Г.* Технология плоского дискретного шлифования : учеб. пособие / В. Г. Гусев, В. В. Морозов. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. - 344 с. – ISBN 978-5-89368-825-2.

6. *Попов, С. А.* Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С. А. Попов, Н. П. Малевский, Л. М. Терещенко. – М. : Машиностроение, 1977. - 264 с.

7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. - 694 с.

8. *Степанов, Ю. С.* Дискретное внутреннее шлифование / Ю. С. Степанов, В. Г. Гусев, Б. И. Афанасьев. – М. : Машиностроение, 2004. - 190 с.

9. *Якимов, А. В.* Оптимизация процессов шлифования / А. В. Якимов. – М. : Машиностроение, 1975. - 176 с.

10. *Якимов, А. В.* Прерывистое шлифование / А. В. Якимов. – Киев-Одесса : Вища шк., 1986. - 176 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Лабораторные работы по дисциплине «Прогрессивные конструкции абразивного инструмента».....	4
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАНДАРТНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА.....	4
Лабораторная работа № 2. ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С ЛАЗЕРНОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ..	12
Лабораторная работа № 3. АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ ВЫСТУПАМИ И ВПАДИНАМИ, ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	23
Лабораторная работа № 4. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ДИСКРЕТНЫХ СБОРНЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ И КРУГОВ С ЛАЗЕРНОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ...	29
Лабораторные работы по дисциплине «Современные процессы абразивной обработки».....	40
Лабораторная работа № 5. НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЬ И КОРРЕКТИРОВКА МАСС ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ.....	40
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСБАЛАНСОВ ДИСКРЕТНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ГЕОМЕТРИЮ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ	57
Лабораторная работа № 7. АЛМАЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И СПОСОБЫ ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ.....	62
Лабораторная работа № 8. ИЗНОС АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРАВКАХ СПЛОШНОГО И ДИСКРЕТНОГО ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ.....	73
Заключение.....	80
Список рекомендуемой литературы.....	81

Учебное издание

МОРОЗОВ Алексей Валентинович
ГУСЕВ Владимир Григорьевич

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНАМ «ПРОГРЕССИВНЫЕ
КОНСТРУКЦИИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА» И «СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОЦЕССЫ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ»

Подписано в печать 30.04.09
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 4,88. Тираж 100 экз.
Заказ
Издательство
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.