

Электронный архив УГЛТУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н.В. Куцубина

А.А. Санников

В.А. Ягуткин

**ШЛИФОВАНИЕ ВАЛОВ
В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебное пособие

Екатеринбург

2016

УДК 676.056.23/27

ББК 34.6

К 95

РЕЦЕНЗЕНТЫ

Н.Н. Кокушин, доктор техн. наук, заведующий кафедрой деталей машин, профессор ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»;

А.П. Руденко, доктор техн. наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева»

Куцубина, Н.В.

К95 **Шлифование валов в ремонтном производстве целлюлозно-бумажных предприятий:** учебное пособие / Н.В. Куцубина, А.А. Санников, В.А. Ягуткин / Под ред. А.А. Санникова. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 82 с.

ISBN 978-5-94984-603-2

Учебное пособие предназначено для студентов, магистрантов и аспирантов направления «Технологические машины и оборудование», изучающих дисциплины «Технология машиностроения», «Ремонт, монтаж и техническая эксплуатация технологических машин», «Контроль и диагностика в машиностроении».

Пособие может быть полезно для инженерно-технических работников механических служб предприятий ЦБП и для станочников шлифовальных участков ремонтно-механических служб.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

УДК 676.056.23/27

ББК 34.6

ISBN 978-5-94984-603-2

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2016

© Куцубина Н.В., Санников А.А., Ягуткин В.А., 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Принятые сокращения и термины	5
1. Валы и цилиндры бумагоделательных и отделочных машин ...	6
2. Вальцешлифовальные станки. Принцип действия. Конструкция	8
3. Диагностика и виброзащита вальцешлифовальных станков.....	21
4. Методы и средства измерения и контроля технического состояния поверхности валов	44
5. Технологический процесс шлифования валов бумагоделатель- ных и отделочных машин	59
6. Техника безопасности труда при шлифовании валов и цилиндров. Организационные работы	72
Выводы и заключение	80
Библиографический список	81

Настоящее учебное пособие является обобщением работы, выполненной по заказу АО «Соликамскбумпром» по теме «Диагностирование технического состояния шлифовальных станков» и в соответствии с направлением госбюджетной работы «Методы безопасной и эффективной эксплуатации на основе комплексной диагностики сложных технических систем целлюлозно-бумажных производств».

К валам и цилиндрам бумагоделательных и отделочных машин (БМ и ОМ) предъявляются высокие требования точности и качества рабочих поверхностей [1-3]. Для обеспечения этих требований поверхности валов периодически перешлифовываются на вальцешлифовальных станках, которых нет, и не может быть в лабораториях университета. Организация базовой кафедры университета в АО «Соликамскбумпром» дает возможность изучения конструкции станков, их технической эксплуатации и технологического процесса шлифования валов непосредственно на предприятии на выездных занятиях и в период производственных практик.

Учебное пособие предназначено для изучения соответствующих разделов дисциплин:

- технология машиностроения;
- монтаж, ремонт и техническая эксплуатация оборудования ЦБП;
- контроль и диагностика в машиностроении.

Учебное пособие, на наш взгляд, будет полезно инженерно-техническим работникам шлифовальных участков предприятий.

Разделы 1–3, 6 учебного пособия подготовлены доцентом, к.т.н. Н.В. Куцубиной и профессором, д.т.н. А.А. Санниковым, в подготовке раздела 6 принимал участие С.А. Мещеряков, начальник шлифовального участка Краснокамской бумфабрики «Гознак». Разделы 4, 5 подготовлены доцентом, к.т.н. В.А. Ягуткиным. Экспериментальные исследования вибрации станков произвел к.т.н. С.Н. Исаков. В оформлении работы принимал участие студент А.А. Агарков.

БМ – бумагоделательная машина;
ОМ – отделочная машина;
ТС – техническое состояние;
АО СБП – АО «Соликамскбумпром»;
ШС – шлифовальный станок.

Нецилиндричность – отклонение поверхности вала от цилиндрической формы, например конусность, бомбировка.

Некруглость – отклонение поверхности вала от окружности в сечении, перпендикулярном оси, например овальность, волнистость, огранка.

Огранка (barring) – местные, нерегулярные отклонения поверхности вала от окружности в сечении, перпендикулярном оси. Заметим, что в литературе понятие «barring» включают также местные отклонения твердости поверхности, а также модулей упругости и сдвига при контактных деформациях валов.

1. ВАЛЫ И ЦИЛИНДРЫ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ И ОТДЕЛОЧНЫХ МАШИН

Основными конструктивными и технологическими элементами БМ и ОМ являются валы и цилиндры. Техническое состояние БМ и ОМ определяется, прежде всего, техническим состоянием валов и цилиндров.

К валам и цилиндрам БМ и ОМ предъявляются высокие требования точности и качества рабочей поверхности. Для обеспечения этих требований поверхности валов периодически перешлифовываются на вальцешлифовальных станках [4]. Режимы и требуемая точность шлифования валов и цилиндров определяются, в основном, технологическими требованиями производства бумаги на БМ и ОМ.

В настоящем разделе приводится классификация валов по назначению, применяемым материалам, требуемым точности изготовления, шероховатости поверхности и по другим критериям.

Современные БМ и ОМ имеют сотни валов и цилиндров различного назначения. В зависимости от технологического назначения валы подразделяются на поддерживающие, тяговые и специального назначения (базовые). Сетко-, сукно- и бумаговедущие валы, в основном, трубчатые. Литыми пустотелыми являются грудные, обычные прессовые валы. Большинство валов имеют полимерные покрытия.

Особенно жесткие требования предъявляются к шлифованию валов каландров. Каландровые валы большинства эксплуатирующихся в настоящее время машинных каландров цельнолитые из чугуна с отбеленным слоем толщиной 10...25 мм. В отдельных случаях толщина отбеленного слоя достигает 50 мм.

В результате длительной эксплуатации валов и многократной их перешлифовки толщина отбеленного слоя может иметь величину, меньшую приведенных значений. Иногда валы хромируют с толщиной наносимого слоя 0,013... 0,05 мм.

Модуль упругости E и модуль сдвига G чугуна колеблются соответственно в пределах $E = (1,2...1,6) \cdot 10^{11}$ Па, $G = (0,52...0,7) \cdot 10^{11}$ Па, плотность чугуна ρ составляет 6,5...7,5 г/см³.

Среднее линейное давление между валами 80...100 кН/м, может достигать 200 кН/м.

Отклонение от круглости валов по диаметру и по длине вала не должно превышать ± 8 мкм.

Рабочие поверхности валов машинных каландров должны иметь шероховатость поверхности $R_a = 1,25...0,63$ мкм, 9 – 10 класс.

При шлифовании трубчатых валов сравнительно небольшого диаметра на точность шлифования оказывает влияние деформация вала от собственного веса в вертикальном направлении и от усилия прижима шлифовального круга к валу в горизонтальном направлении. Расчет прогиба валов в обоих направлениях приведен в разделе 3.

Трубчатые валы имеют частоту собственных колебаний как балки на шарнирных опорах, не превышающую 18...20 Гц. При шлифовании вала возбуждаются колебания на собственных частотах, что проявляется на профиле поверхности шлифуемого вала.

Максимальный прогиб валов в середине пролета определяется по следующей формуле:

$$y_{max} = \frac{q \cdot b^3}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (12 \cdot l - 7 \cdot b) + \frac{5 \cdot q \cdot b^2}{36 \cdot G \cdot S}, \text{ м}, \quad (1.1)$$

где q – линейная нагрузка на вал от оси тяжести всех валов и дополнительного усилия прижимного вала, Н/м; b – длина цилиндрической части вала, м; l – расстояние между подшипниковыми опорами, м; E – модуль упругости материала вала, Па; G – модуль сдвига материала вала, Па; I – момент инерции сечения вала, м⁴; S – площадь сечения вала, м².

Для современных БМ отношение прогиба вала в середине пролета к длине вала между опорами находится в следующих пределах:

грудные и гауч-валы – $(5...7) \cdot 10^{-5}$;

сетко-, сукно-, бумаговедущие валы – $(2,5...3,2) \cdot 10^{-4}$;

нижний прессовый вал – $(1,4...1,7) \cdot 10^{-4}$;

нижний вал каландра – $(1,25...2,0) \cdot 10^{-4}$.

По прогибам нижних прессового и гранитного валов находится требуемый профиль их бомбировки.

Применяются следующие варианты установки валов для перешлифовки в люнеты шлифовального станка:

а) в собственных корпусах подшипников;

б) в собственных подшипниках или в подшипниках, аналогичных собственным подшипникам;

в) при опирании цапф вала в подшипники скольжения люнетов.

2. ВАЛЬЦЕШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ. КОНСТРУКЦИЯ

2.1. Общие сведения о вальцешлифовальных станках

Вальцешлифовальные станки являются одной из разновидностей шлифовальных станков, предназначенные для шлифования наружной поверхности крупногабаритных валов. Существует множество моделей вальцешлифовальных станков [4-7]. Здесь рассматриваются только вальцешлифовальные станки, предназначенные для шлифования крупногабаритных валов БМ и ОМ. За основу принимается вальцешлифовальный станок *XIII5-06M* Харьковского станкостроительного завода.

Вальцешлифовальные станки могут быть с подвижным столом или с перемещающейся шлифовальной бабкой. У станков первого вида продольную подачу совершает стол вместе с вращающейся обрабатываемой деталью, а шлифовальная бабка имеет только поперечную подачу. Валы БМ и ОМ шлифуются на станках, у которых продольную подачу совершает шлифовальная бабка, перемещающаяся вдоль оси шлифуемого вала (рис. 2.1).

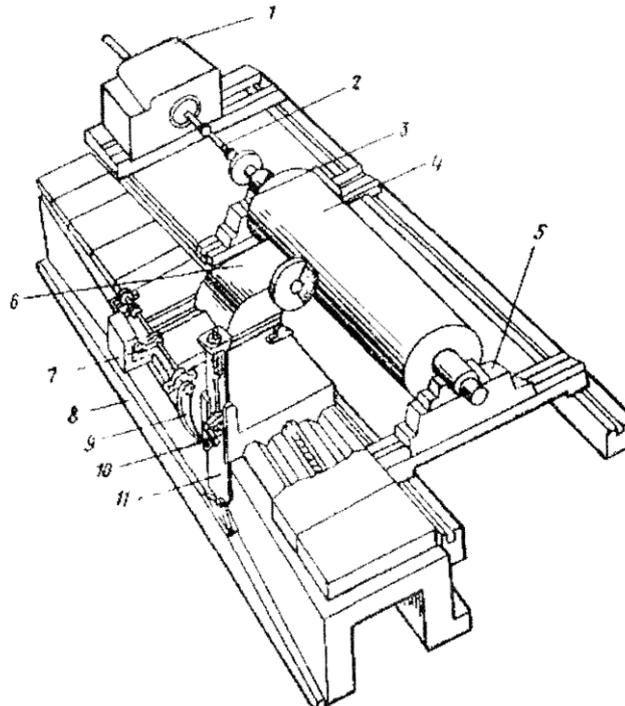


Рис. 2.1 – Компоновка вальцешлифовального станка с подвижной приводной бабкой:

- 1 – приводная бабка; 2 - телескопический шарнирный вал; 3 – люнет;
4 – шлифуемый вал; 5 – люнет; 6 – шлифовальная бабка; 7 – рычаг;
8 – копирная линейка; 9 – угловой рычаг; 10 – клин; 11 - ползун

Шлифуемый вал 4 опирается на люнеты 3 и 5, которые перемещаются в направлении, перпендикулярном оси вала. В этом случае станок в соответствии с диаметром вала настраивают перемещением люнетов в поперечном направлении. Шлифуемый вал получает вращение от приводной бабки через телескопический шарнирный вал 2. Приводная бабка 1 также перемещается при настройке станка в поперечном направлении. При такой компоновке отпадает необходимость в большом ходе поперечного перемещения шлифовальной бабки 6, и эта величина перемещения обычно не превышает 250...300 мм. На станках можно шлифовать валы большого и малого диаметра, а также сушильные цилиндры. При передаче вращения обрабатываемому валу выдвижным шарнирным валом может возникать вибрация, отрицательно сказывающаяся на процесс шлифования. Выверка вала относительно направления продольного движения шлифовальной бабки путем регулирования люнетов занимает много времени. Бабка изделия и люнеты имеют возможность поперечного перемещения.

Шлифовальные станки имеют независимые индивидуальные приводы движений всех рабочих органов. Привод вращения вала обычно осуществляется от электродвигателя постоянного тока с регулируемым числом оборотов через коробку скоростей с тремя ступенями изменения скорости. Для предотвращения передачи вибрации шлифовальной бабке от электродвигателя последний обычно крепится на отдельных салазках.

Станки для перешлифовки валов и цилиндров БМ имеют вместо цельных литых станин два ряда тумб, устанавливаемых на фундамент. На тумбах монтируются фермы для люнетов и задней бабки. Большие поперечные ходы люнетов задней и передней бабок позволяют обрабатывать валы диаметром в пределах 50...1800 мм.

Кинематические, гидравлические и электрические схемы станков идентичны. Электрошкафы, гидроагрегат и устройство для охлаждения вала при шлифовании расположены рядом со станком.

Общие сведения о конструкциях шлифовальных станков рассмотрим на примере шлифовальных станков типа *XIII5-06М*. Станки предназначены для шлифования рабочей поверхности крупногабаритных валов БМ массой до 60 тонн, рабочей длиной до 10000 мм, диаметром 250...2000 мм.

Наиболее жесткие требования предъявляются к качеству шлифования валов каландров БМ. Погрешности и отклонения от некруглости поверхности шлифуемого вала существенно влияют на качественные показатели бумажного полотна, вырабатываемого на БМ.

Станок состоит из следующих составных частей: станины, каретки с приводом, механизма бомбирования валов, шлифовальной бабки с механизмом поперечной подачи, передней бабки.

Станина каретки состоит из левой и правой частей. В верхней части станины расположены призматическая и плоская направляющие, по которым перемещаются каретки. Направляющие защищены телескопическими щитками.

Каретка служит для установки и перемещения шлифовальной бабки. Каретка перемещается вдоль станины при помощи шестерни с приводом и рейки, закрепленной на станине. Каретка имеет плиту с поперечными направляющими, по которым перемещается шлифовальная бабка. Плита передней частью опирается на цилиндрическую поверхность полуосей, а задней – на рычаги механизма бомбирования. На плите смонтированы механизм быстрого перемещения шлифовальной бабки и гидроцилиндр для выборки люфта в паре «гайка-винт» механизма поперечной подачи.

Шлифовальная бабка установлена на роликовых опорах подкладной плиты. Вращение шпинделя шлифовальной бабки осуществляется от электродвигателя постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения через клиноременную передачу (рис. 2.2,а). Шпиндель шлифовального круга вращается в двух бронзовых подшипниках, состоящих каждый из трех вкладышей, образующих отдельные сегменты, охватывающие шейки шпинделя (рис. 2.2,б).

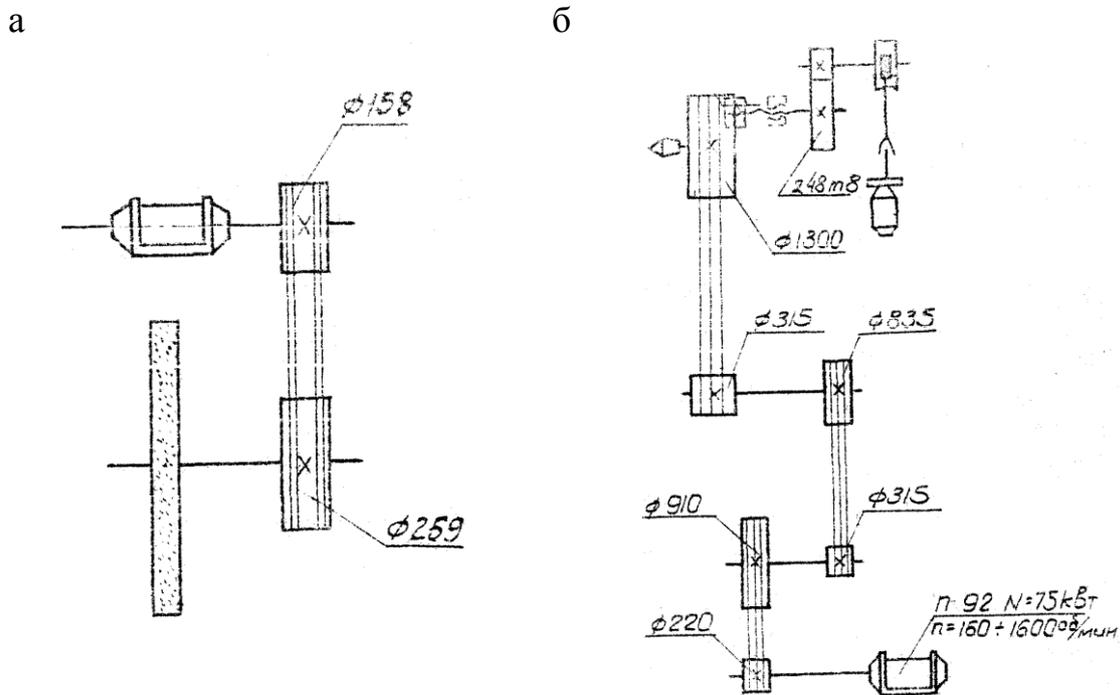


Рис. 2.2 – Кинематические схемы привода:
а) шлифовального круга; б) шлифуемого вала

Конструкция сегментов способствует образованию масляного клина между сегментами и шейками шпинделя.

Передняя бабка служит для вращения шлифуемого вала. Она смонтирована на плите, опирающейся на фундамент. Бабка имеет возможность ее поперечного перемещения для обеспечения шлифования валов различных диаметров. В верхней части корпуса крепится шпиндель, на котором на конических роликовых подшипниках вращается шкив, несущий планшайбу. На планшайбе крепится шарнирное соединение, в цанге которого зажимается

изделие. Кинематическая схема привода шлифуемого вала приведена на рис 2.2,б.

Электродвигатель постоянного тока *П 92* с бесступенчатым регулированием частоты вращения в пределах 160...1600 об/мин установлен на плите, перемещающейся вместе с корпусом передней бабки. Вращение от электродвигателя посредством 14 клиновых ремней типа «В» передается на первый промежуточный вал, откуда 12-ю клиновыми ремнями типа «Г» передается на второй промежуточный вал, с последнего – ремнями типа «Г» передается планшайбе.

Для разгона вращения вала используется дополнительный привод от электродвигателя мощностью 8,3 кВт через червячную и одноступенчатую зубчатую передачу.

Шпиндель (рис. 2.3) фиксируется устройством, состоящим из обоймы с биметаллическими кольцами *1* и *2*, прижимаемыми с двух сторон к торцам бурта шпинделя.

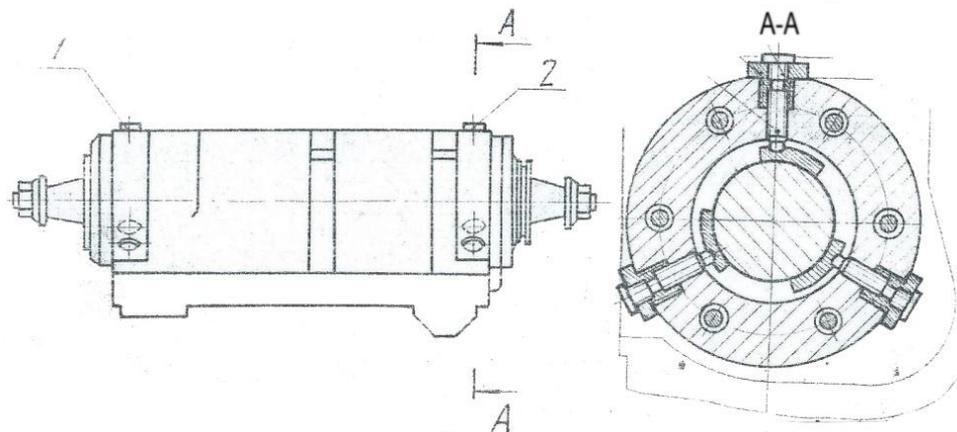


Рис. 2.3 – Шпиндель шлифовального круга:
1, 2 – биметаллические кольца

Вкладыши подшипников своими сферическими лунками опираются на винты со сферическими головками. При помощи этих винтов регулируется радиальный зазор между винтами и шайбами шпинделя.

Сегментным вкладышам придана такая форма, которая допускает некоторый поворот их во время вращения шпинделя, что обеспечивает получения масляного клина между трущимися поверхностями.

Механизм поперечной подачи шлифовальной бабки состоит из редуктора и передней панели. Механизм обеспечивает ручное и автоматическое перемещение по винту шлифовальной бабки.

Быстрый подвод и отвод шлифовальной бабки осуществляется от электродвигателя переменного тока через червячную передачу.

Механизм поперечной подачи шлифовальной бабки смонтирован на корпусе бабки и состоит из редуктора и передней панели. Механизм обеспечивает ручное и автоматическое перемещение шлифовальной бабки по винту.

Кинематика станка осуществляет следующие движения: вращение изделия (шлифуемого вала); вращение шлифовального круга; продольное пе-

ремещение каретки; быстрый подвод и отвод шлифовальной бабки; поперечную подачу шлифовальной бабки; движение механизма бомбирования; поперечное перемещение передней бабки.

Назначение и конструкция люнета

На шлифовальных станках используется два типа люнетов – основные и вспомогательные. Основные люнеты предназначены для опоры валов при шлифовании их цапф и бочки. Эти люнеты устанавливаются под рабочие или вспомогательные цапфы. Они имеют по два широких вкладыша, которые могут перемещаться радиально к оси вала. Вкладыши расположены так, что они не мешают шлифовать цапфы вала, на которых он установлен в люнетах. Перемещением вкладышей люнетов можно с высокой степенью точности правильно установить вал на станке в горизонтальных и в вертикальных направлениях. Вкладыши опираются на литые чугунные стойки, опирающиеся на ферму станка (рис. 2.4).

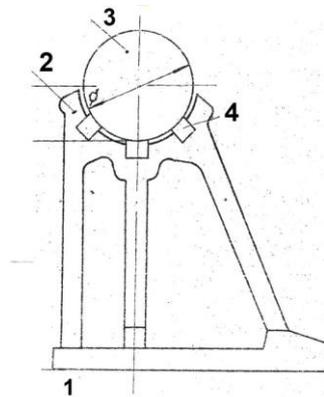


Рис. 2.4 – Люнет:

1– ферма станка; 2 – стойка; 3 – цапфа вала; 4– вкладыши

В зависимости от диаметра цапф шлифуемого вала используется один из пяти комплектов вкладышей для диаметров цапф от 80 до 600 мм.

Нередко в стойках люнетов устанавливаются не цапфы вала, а наружное кольцо подшипника качения шлифуемого вала, а иногда на опорные конструкции люнетов устанавливаются валы с собственными корпусами подшипников, например, нижние валы каландров.

Вспомогательные люнеты устанавливаются под цилиндрическую часть вала, чаще в середине его пролета для устранения прогиба вала в вертикальной плоскости под действием собственного веса и в горизонтальной плоскости под действием составляющей силы резания. Вспомогательные люнеты увеличивают жесткость системы СПИД и тем самым способствуют повышению ее виброустойчивости и точности обработки бочки вала. Вспомогательные люнеты в отличие от основных должны быть самоустанавливающимися.

Одна из конструкции вспомогательных люнетов показана на рис. 2.5, где имеются устройства для совмещения геометрической оси вала с осью станка с помощью индикаторов к корпусу 5.

К люнете прикреплен вертикальный палец 4, на котором сидит кронштейн 3, имеющий стержень с индикатором 2. Ножка индикатора 2 опирается в пятку 8, закрепленную в кронштейне 3. Индикатор 2 показывает положение оси вала в вертикальной плоскости.

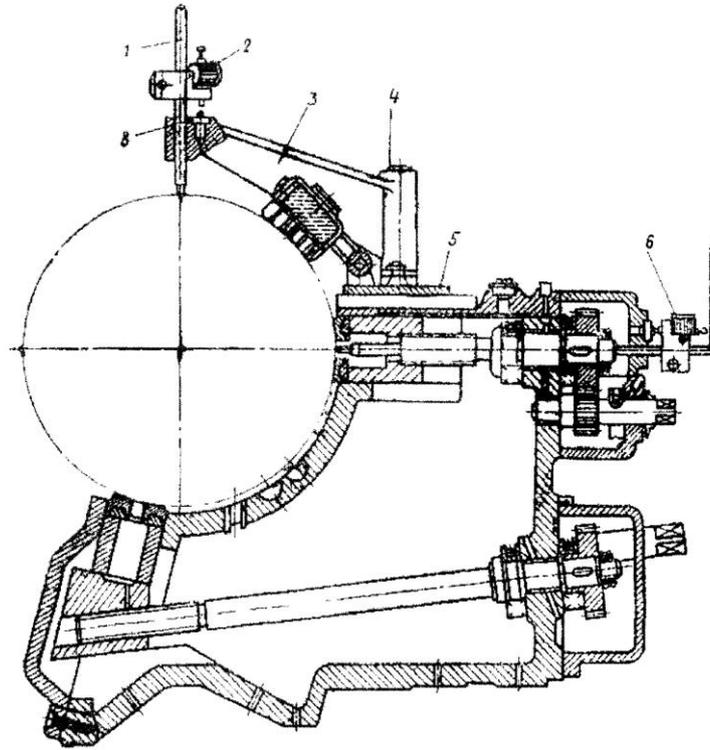


Рис. 2.5 - Люнет к вальцешлифовальному станку:
1 – стержень; 2 – индикатор; 3 – кронштейн; 4 – вертикальный палец;
5 – корпус; 6 – индикатор; 7 – горизонтальный стержень; 8 - пятка

Кроме того, в люнете имеется горизонтальный стержень 7 с индикатором 6. Таким образом, положение оси вала от оси станка задается определенными расстояниями в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Закрепив индикаторы 2 и 6 на стержнях 1 и 7 согласно заданным расстояниям, регулируют положение вала в люнетах так, чтобы показания индикаторов были равны нулю или во время вращения вала отклонялись от нуля лишь на величину допустимого биения.

Используются также самоустанавливающиеся люнеты, у которых рабочая поверхность катков покрыта упругим эластичным материалом. Это позволяет исключить необходимость промежуточных подтягиваний кареток друг к другу и, что особенно важно, – обеспечить уменьшение вибрации вала в процессе его перешлифовки.

Конструкция вспомогательного люнета, предлагаемого для уменьшения прогиба и вибрации шлифуемого вала, приведена в разделе 3.

Перемещение люнетов в продольном и поперечном направлении при настройке станка перед шлифованием осуществляется вручную через зубчатые и винтовые передачи.

Бомбировочные устройства вальцешлифовальных станков

Одной из наиболее характерных особенностей шлифовальных станков для обработки бомбированных валов является то, что в процессе продольного перемещения шлифовальной бабки одновременно необходимо перемещать ее в поперечном направлении для обеспечения бомбировки вала. Это перемещение осуществляется бомбировочным устройством. Бомбировочное устройство должно обеспечить высокую точность совпадения траектории движения шлифовального круга с заданным профилем образующей бомбируемого вала. Отклонения от правильной геометрической формы вала не должны быть выше ± 5 мкм. Различают четыре вида бомбировочных устройств: со стационарной копирной линейкой, с поворотным эксцентриком, с поворотным профильным кулачком и с кривошипно-шатунным механизмом.

Шлифовальные станки, эксплуатирующиеся в АО СБП, имеют бомбировочное устройство с копирной линейкой. При передвижении шлифовальной бабки (см. рис. 2.1) вдоль вала от середины к его концам ползун 11, с укрепленным на нем клином 10, под действием собственного веса опускается вниз на величину, определяемую кривизной копирной линейки 8. При опускании ползуна и клина, последний отклоняет угловой рычаг 9, который в свою очередь, рычагом 7 приподнимает задний конец поперечных салазок шлифовальной бабки 6. При этом шлифовальный круг приближается к шлифуемому валу, и диаметр концевых сечений вала уменьшается по сравнению с диаметром его сечения посередине.

На современных станках профиль копирной линейки выполнен в соответствии с уравнением упругой линии изогнутой оси вала, поэтому до недавнего времени считалось, что профиль бомбируемого вала также будет соответствовать уравнению изогнутой оси. Погрешность бомбировки в этой схеме бомбировочного устройства может составлять 1 %.

2.2. Шлифовальные круги

На вальцешлифовальных станках применяются шлифовальные круги диаметром от 400 до 1000 мм и высотой от 40 до 100 мм. Шлифовальный круг состоит из скрепленных связкой абразивных зерен карбида кремния, электрокорунда и искусственного алмаза.

Карбид кремния представляет собой химическое соединение кремния и углерода, получаемое из кокса и кварцевого песка при нагреве их до температуры более 2000°C . В зависимости от процентного содержания чистого карбида кремния этот материал делится на зеленый – КЗ и черный – КЧ. Высокие твердость и режущая способность обуславливают возможность его применения при шлифовании чугуновых каландровых валов с отбеленным поверхностным слоем, а также стальных закаленных валов. Электрокорунд состоит из оксида алюминия и примесей. В обычном электрокорунде примесей содержится до 8 %, в белом – менее 3 %.

Размер абразивных зерен характеризует показатель зернистости шлифовальных кругов. Принято обозначение номеров зернистости по величине

отверстий сита (в сотых долях миллиметра), на котором задерживается зерно основной фракции.

При шлифовании валов применяют круги на керамической, бакелитовой и вулканитовой связках. Круги на керамической связке (условное обозначение *К*) получили наибольшее распространение, так как обладают пористой структурой, что препятствует их засаливанию. Они легко режут металл и химически стойки. Круги на бакелитовой связке (условное обозначение *Б*) обладают большей прочностью и упругостью, меньше изнашиваются при переменной нагрузке шлифования, чем керамические. К недостаткам бакелитовой связи относится малая ее устойчивость против действия щелочных растворов.

Структура шлифовального круга подразумевает количественное соотношение абразивных зерен, связки и пор в единице объема. Поры необходимы для размещения в них стружки, образующейся при шлифовании материалов. Через поры поступает воздух, охлаждающий наряду с жидкостью зону резания. Структура круга № 1 соответствует объему зерен в объеме круга 60 % . С повышением номера структуры на единицу, объемное содержание абразивных зерен уменьшается на 2 %. Структуры № 1-4 называют закрытыми или плотными, структуры № 5-8 – средними, а структуры 8-12 – открытыми. Пористость определяет такие важные параметры процесса шлифования, как затупляемость (засаливаемость) и износ круга. При выборе пористости круга можно исходить из следующего правила: чем пластичнее обрабатываемый материал и чем больше глубина шлифования, тем крупнее должны быть поры и соответственно больше номер структуры. Высокопористые круги хорошо зарекомендовали себя при шлифовании обрешиненных и омедненных валов.

При шлифовании гранитных и чугунных валов с отбеленным слоем применяются круги средней пористости. Марка шлифовального круга наносится на его боковые поверхности и в полной мере отражает характеристику круга. При маркировке круга в одной строке наносятся такие условные обозначения, как вид абразивного материала, зернистость, твердость, материал связки, структура, форма, основные размеры круга и его допустимая окружная скорость вращения.

В настоящее время для шлифования валов БМ применяются шлифовальные круги из синтетических алмазов и эльбора. Алмазные круги по конструкции, структуре и маркировке отличаются от обычных абразивных кругов. Они имеют алмазный слой, который закрепляется на корпусе, обычно изготавливаемый из стали. Алмазоносный слой состоит из алмазных зерен, связки и наполнителя. Концентрация алмазных зерен характеризуется содержанием их в миллиграммах в 1 кубическом миллиметре алмазного слоя. В алмазных кругах используются металлические (из сплавов меди) и бакелитовые связки. Пример обозначения алмазных кругов *АПП 600Х50Х10Х305 АСО 10-61-50 %*: *А* – алмазный круг; *ПП* – форма круга; *600×50×10×305* – соответственно, наружный диаметр, высота, толщина алмазного слоя и внутрен-

ний диаметр круга, мм; *АСО* – марка алмаза; *10* – зернистость; *б1* – род связки (бакелитовый); *50 %* – концентрация алмазов.

Шлифовальные круги из эльбора (кубического нитрида бора) обладают твердостью и абразивной способностью, близкой к алмазу, но значительно превосходят алмазные круги по термостойкости.

Выбор характеристики шлифовального круга

Правильный выбор характеристики и геометрии шлифовального круга во многом определяет производительность и качество шлифования. Для обработки незакаленных стальных валов следует применять электрокорунд, валов из закаленной стали и бронзы – электрокорунд белый, при обработке чугуновых и омедненных валов – карбид кремния. При обработке обрешиненных валов вид абразива не играет первостепенной роли, однако, учитывая, что в этом случае отвод тепла затруднен, можно рекомендовать в качестве материала абразива электрокорунд белый, обладающий высокой термостойкостью.

Зернистость круга выбирается в зависимости от стадии шлифования (черновой, чистовой) и материала вала. Круги с крупным зерном применяются при черновом шлифовании и обработке латуни и меди, которые могут «засалить» круг. Мелкозернистые круги используются на заключительных отделочных стадиях шлифования.

При выборе твердости круга руководствуются правилом: чем тверже металл обрабатываемого вала, тем мягче должен быть шлифовальный круг, и наоборот. Только для мягких материалов, таких как медь и латунь, это правило не подходит. Во избежание засаливания круги в этом случае следует брать с мягкой связкой и работать на повышенных скоростях с весьма малой поперечной подачей. С увеличением диаметра обрабатываемого вала площадь контакта круга с валом увеличивается, что затрудняет удаление срезаемой стружки, в этом случае следует применять более мягкие круги. Но чрезмерно мягкие круги быстро изнашиваются, теряют правильность геометрической формы.

При твердом круге связка продолжает удерживать зерна, затупившиеся и утратившие способность к резанию, а поры круга забиваются металлической стружкой, увеличивая силу трения между абразивом и валом. Мощность шлифования возрастает, на поверхности вала появляются прижоги, риски и следы дробления. Высокопористые круги целесообразно применять при шлифовании валов с полимерным покрытием.

Для чистого шлифования используются мелкозернистые круги, для чернового – крупнозернистые. Выбор геометрических параметров кругов зависит от мощности привода и жесткости системы. Обычно на вальцешлифовальных станках применяют круги диаметром от 600 до 1000 мм и шириной от 40 до 100 мм. С увеличением геометрических размеров кругов увеличивается период их стойкости и повышается производительность шлифования.

На вальцешлифовальных станках шлифовальные круги закрепляют на шпинделе переходными фланцами. Перед установкой на станок и после пер-

вой правки шлифовальный круг балансируется. Неуравновешенный круг при вращении вызывает вибрацию шлифовальной бабки, отрицательно влияющую на процесс шлифования, ухудшается точность геометрической формы вала, т.е. возникает огранка и волнистость поверхности, увеличивается ее шероховатость, уменьшается период стойкости шлифовального круга.

При работе одним кругом балансировку целесообразно проводить несколько раз. Это вызвано тем, что вследствие износа уменьшается объем тяжелой части круга, а это может повлечь смещение его центра масс.

В последнее время появились прецизионные шлифовальные планшайбы со встроенным механизмом автоматической балансировки.

Правка шлифовальных кругов

В процессе работы шлифовальный круг теряет свои режущие свойства. Обеспечение заданной геометрии формы и чистоты поверхности становится невозможным.

При обработке каландровых валов с отбеленным поверхностным слоем преимущественным видом износа круга является выкрашивание абразива из связки. Восстановление способности резания новыми острыми зернами называется «самозатачиванием».

Самозатачивание круга неравномерно по его периметру, что приводит к потере правильности его геометрической формы, образованию на его поверхности волнистости и, как следствие, появлению вибрации шлифовального круга. Поэтому с целью восстановления его правильной геометрической формы осуществляют правку шлифовального круга.

В тех случаях, когда происходит притупление зерен, например на чистовой стадии шлифования каландровых валов, правка обеспечивает создание новых острых режущих кромок на зернах. При засаливании круга правка производится с целью очистки пор структуры круга.

Таким образом, правкой преследуются различные цели: удаление верхнего засалившегося слоя, создание на абразивных зернах новых острых кромок, обеспечение геометрической формы и т.п. Все они ведут к восстановлению режущей способности круга.

Применяются различные методы и устройства для правки шлифовальных кругов. В частности применяются ролики из сплава *ВК6* диаметром 35 или 60 мм и соответственно высотой 2,5 и 4 мм. Для правки используются алмазные карандаши и карандаши из сверхтвердого материала.

Правка шлифовальных кругов алмазным карандашом применяется в основном при шлифовании металлических валов БМ и, по экономическим соображениям, целесообразна только на чистовых и получистовых операциях. Обычно используются марки карандашей *ЦС*, *СС* и *СМ*.

Перспективной является правка шлифовальных кругов алмазным диском, имеющим индивидуальный привод вращения. По имеющимся сведениям [4,9] применение алмазного диска дает возможность править шлифовальный круг на операции чистого шлифования с большой продольной подачей до 2 м/мин и, тем самым, в несколько раз сократить время правки.

Для правки шлифовальных кругов с криволинейной образующей используются специальные механизмы, так называемые радиусные устройства, описание конструкции которых можно найти в специальной литературе [9].

2.3. Требования к точности шлифования валов

Валы каландров периодически перешлифовываются. Применяются следующие допуски: некруглость в трех сечениях – 8 мкм; отклонение диаметра по длине вала – 8 мкм. Шлифовка проводится в два этапа. При черновой обработке за проход снимается 10...50 мкм, для обеспечения отклонений диаметра по длине вала и некруглости сечения – 8... 10 мкм. При чистовой обработке идет шлифовка поверхности до шероховатости 9-10 класса и отклонение диаметра по длине и некруглости до 8 мкм.

Технологические режимы шлифования: скорость вращения вала 12...20 об/мин, подача каретки 0,1...0,3 м/мин, скорость вращения круга 600...1100 об/мин. Нагрузка на шлифовальный круг: при черновой обработке 25... 50 А, при чистовой обработке 20...40 А.

Толщина снимаемого слоя металла за один проход: при черновой обработке до 0,03 мм, при чистовой 0,002...0,003 мм. Количество проходов при черновой обработке 40...50 (20...40), при чистовой обработке 20...30 (10...20). Толщина снимаемого слоя (уменьшение диаметра) – 0,4 (0,15...0,20) мм. В скобках приведены параметры после установки на станок *XIII 5-06M* современного измерительного комплекса *RollCal*.

Система *RollCal* – это современное, четырехточечное автоматически действующее измерительное устройство, посредством которого можно определять форму сечения шлифуемого вала, бомбировку, прогиб вала, отклонение установки вала, износ направляющих станин и другие отклонения в любом сечении вала и прочие дефекты.

Меры, направленные на повышение качества шлифования

В процессе эксплуатации станка проявляются следующие дефекты: повышенная вибрация, непрямолинейное перемещение каретки, осевое биение шлифовального шпинделя.

Для повышения качества шлифования и увеличения ресурса станка необходимо рассмотреть вопросы, связанные с приводом станка, с балансировкой шлифовального круга, с увеличением жесткости системы «станок-инструмент-изделие».

В технической документации регламентируются следующие нормы точности станка, которые необходимо контролировать:

прямолинейность перемещения каретки в вертикальной и горизонтальной плоскости соответственно 20 и 32 мкм;

перекос каретки в плоскости, перпендикулярной ее перемещению – 20 мкм;

прямолинейность и параллельность боковых поверхностей тумб направлению перемещения каретки – 500 мкм.

Нормы точности станка, которые необходимо диагностировать

№	Объект проверки	Схема и метод проверки	Допуск, (мкм)
1	2	3	4
1	Прямолинейность перемещения каретки, проверяемая в вертикальной плоскости.	На середине длины каретки, параллельно направлению ее перемещения, устанавливают уровень. Каретку перемещают на длину хода, останавливая ее для измерения через каждые 500 мм. По полученным данным строят график, по которому определяют величины отклонений.	20
2	Прямолинейность перемещения каретки, проверяемая в горизонтальной плоскости.	На фермах на высоте оси шпинделя шлифовальной бабки натягивают струну вдоль направляющих станины каретки. На каретке устанавливают микроскоп так, чтобы при крайних положениях каретки штриховая пластина окуляра совмещалась с одной и той же образующей струны. Каретку перемещают на длину хода, останавливая ее для измерения через каждые 500 мм.	32
3	Отсутствие перекоса каретки в плоскости, перпендикулярной направлению ее перемещения.	На середине длины каретки перпендикулярно направлению ее перемещения устанавливают уровень. Каретку перемещают на длину хода, останавливая ее для измерения через каждые 500 мм. Отклонение определяют как наибольшую величину алгебраической разности показаний уровня.	20
4	Отклонение от горизонтального положения направляющих подкладной плиты при нулевом положении механизма профилирования.	На плоскую направляющую у края подкладной плиты устанавливают уровень. Отклонение от горизонтального положения определяют по уровню.	200

1	2	3	4
5	Перпендикулярность оси призматической направляющей подкладной плиты направлению перемещения каретки.	<p>На призматическую направляющую подкладной плиты устанавливают оправку, на торце которой прикреплен перпендикулярно оси оправки линейка.</p> <p>На ферме устанавливают индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался линейки и был перпендикулярен ей. Каретку перемещают. Отклонение от перпендикулярности определяют как наибольшую величину алгебраической разности показаний индикатора.</p>	20
6	Прямолинейность и параллельность базовых поверхностей тумб (для установки ферм с люнетами) по направлению перемещения каретки.	<p>На каретке закрепляют индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался проверяемых поверхностей.</p>	500
7	Перекося поверхностей направляющих передней и задней тумб.	<p>На внутреннюю плоскость передней и задней тумб устанавливают линейку, верхняя и нижняя плоскость которой параллельны, а на линейку – уровень. Линейку с уровнем перемещают вдоль тумб на всю их длину.</p> <p>Отклонение определяют как наибольшую величину алгебраической разности показаний уровня.</p>	80
8	Радиальное биение базового кольца шлифовального шпинделя под круг.	<p>На каретке укрепляют индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался центрующей шейки шпинделя перпендикулярно образующей.</p> <p>Шпиндель приводится во вращение. Измерения проводят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Биение определяют как наибольшую величину алгебраической разности показаний индикатора в каждом его положении.</p>	5

Схемы и методы проверки приведены в таблице 2.1. Подробно технологический процесс шлифования валов описан в разделе 5.

Электронный архив УГЛТУ

3. ДИАГНОСТИКА И ВИБРОЗАЩИТА ВАЛЬЦЕШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

В разделе рассматриваются основы технической эксплуатации вальцешлифовальных станков, анализируются структурные параметры и диагностические признаки их технического состояния, обосновываются направления их виброзащиты и повышения качества шлифования валов.

3.1. Общие сведения о технической эксплуатации и методах диагностики технического состояния металлообрабатывающего оборудования

В машиностроении для восстановления и поддержания работоспособности металлорежущего оборудования действует «Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технического оборудования машиностроительных предприятий», основу которой составляют периодические плановые ремонты, которые производят через равные, заранее назначаемые промежутки времени. Эта система приемлема для постоянно работающего станочного оборудования. В ремонтно-механических производствах целлюлозно-бумажных производств большая часть станочного оборудования используется эпизодически, и лишь некоторое станочное оборудование, к которому относят шлифовальные станки, работает непрерывно.

Перечень и последовательность выполнения работ по ремонту и техническому осмотру в период между вводом оборудования в эксплуатацию и первым капитальным ремонтом или между капитальными ремонтами называется структурой ремонтного цикла. Продолжительность ремонтного цикла $T_{ц}$ определяется сроком службы тех основных механизмов и деталей оборудования, замена или ремонт которых могут быть осуществлены во время его полной разборки.

Продолжительность ремонтного периода t_M определяется сроками службы быстроизнашивающихся деталей, замена которых при ремонте требует остановки оборудования и не может быть выполнена при межремонтном обслуживании. Количество ремонтов в цикле n определяется как частное от деления продолжительности ремонтного цикла на продолжительность межремонтного периода: $n = T_{ц}/t_M$.

Системой планово-предупредительного ремонта (ППР) предусмотрено использование малого (М), среднего (С), капитального (К) ремонта. Для универсальных металлорежущих станков в системе предусматривается восьмипериодная структура ремонтного цикла с тремя видами планового ремонта и последующим их чередованием:

$$K_1 - M_1 - M_2 - M_3 - C - M_4 - M_5 - M_6 - K_2.$$

Продолжительность ремонтного цикла 7,5 лет.

Капитальный ремонт проводится, как правило, на заводе-изготовителе станка. При технической эксплуатации металлорежущих станков реализуется метод технического обслуживания и ремонта по состоянию на основе его контроля и диагностики. Для выявления и оценки технического состояния металлообрабатывающего станочного оборудования используются следующие методы и средства: программные испытания, диагностика и квалиметрия.

Программный метод испытаний (тестовый контроль) заключается в использовании специальных силовых нагружающих устройств, имитирующих силовые воздействия, возникающие при работе агрегата, например, вибратора, имитирующего периодическое воздействие сил инерции неуравновешенных вращающихся масс агрегата. Или приложение статических нагрузок и определения статических деформаций в зоне контакта деталей.

Метод вибродиагностики основан на измерении спектрального состава вибрации составной части агрегата и выявлении причин и источников этой вибрации.

Метод квалиметрии заключается, в общем случае, в количественной оценке качества продукции, вырабатываемой на станке. Например, выявление некоторых параметров технического состояния БМ производят по параметрам вырабатываемого бумажного полотна. Применительно к станочному оборудованию – определение ТС станка по качественным показателям обрабатываемой поверхности вала.

Важной частью процесса диагностирования станочного оборудования является процедура анализа – «дерево» логических рассуждений. В соответствии с «деревом» при анализе придерживаются определенной последовательности логических суждений для выявления того или иного структурного параметра технического состояния системы: станок – патрон – инструмент – деталь (СПИД).

Интересным для реализации методом логических рассуждений при диагностировании является метод альтернативистики. Назовем его методом диагностической альтернативистики. При этом методе в определенной последовательности рассматриваются все составные части станка: привод шпинделя, шпиндель, обрабатываемое изделие, инструмент (шлифовальный круг), механизмы шлифовальной бабки, станина и фундамент, температурное состояние цеха и другие факторы, а также конструкции. Анализируются все структурные параметры ТС всех составных частей системы СПИД.

Теоретически или экспериментально выявляются диагностические признаки структурных параметров ТС каждого элемента СПИД, доступные для измерения в процессе работы станка. Например, параметры вибрации шлифовальной бабки при шлифовании валов. Найденные параметры вибрации можно использовать как диагностический признак того или иного элемента СПИД.

Девиз метода альтернативистики при диагностировании можно выразить словами: «что бы было, если бы было». Применительно к ШС при этом методе анализируются все возможные структурные параметры ТС всех элемен-

тов СПИД и их влияние на качественные показатели шлифуемого изделия или на параметры диагностических признаков, доступных для измерения в процессе обработки изделия.

3.2. Оценка точности определения величины и формы бомбировки нижних валов каландров

Величина и форма бомбировки нижнего вала определяются по величине его статического прогиба. Сила тяжести валов и присоединяемых конструкций может быть определена с погрешностью из-за отклонения фактических размеров от номинальных по чертежам, из-за колебаний плотности чугуна в пределах $6,5 \dots 7,5 \text{ г/см}^3$; из-за неочевидности толщины отбеленного слоя поверхности валов; из-за разной величины диаметров валов вследствие их многократной перешлифовки. Из-за этих причин, а также из-за отклонений бомбировки от требуемых значений при перешлифовке валов возникает неравномерное контактное давление в зонах захвата валов.

Анализ точности расчета прогиба валов по различным методам произвел А.М. Кучер [3]. Он показал, что расчетный прогиб по теории сопротивления материалов и по методам теории упругости практически совпадают.

Главное отличие по результатам расчетов по обоим методам заключается в том, что прогибы оси вала совпадают, а прогибы по образующим валов не совпадают из-за того, что при расчете изгиба вала по методам сопротивления материалов не учитывается изменение формы сечений вала при изгибе. Но влияние этих изменений ничтожно мало. Ошибка при определении прогиба по методу сопротивления материалов не превышает $0,08 \%$. Прогиб вала под действием поперечных сил составляет не более 3% от величины прогиба от моментов сил.

Статический прогиб в середине пролета нижнего вала определяется по формуле (1.1). Прогиб приводного бомбированного вала приводит к проблеме с приводом. При прогибе вала цапфа перемещается в вертикальном направлении, и ее ось наклоняется. Возникает так называемая эксплуатационная несоосность сопряжения валов, что вызывает необходимость применения сложных муфт или карданного привода. Нежелательный процесс несоосности сопрягаемых валов возникает в случае, когда приводным валом является не нижний вал, а один из вышележащих валов, например второй снизу.

При шлифовании бомбированного вала абразивными кругами с прямолинейной образующей на валу появляются винтовые полосы, видимые невооруженным глазом. Величина микроуступов достигает на краях бочки (у опор) – $5 \dots 10 \text{ мкм}$, что соизмеримо с погрешностью шлифования Харьковским станком – $10 \dots 12 \text{ мкм}$.

При решении задачи контактной деформации валов с учетом их прогиба учитывается шероховатость рабочей поверхности валов. Требования к равномерной плотности в зоне контакта сопрягаемых валов достаточно жесткие. Разница в контакте валов по длине не должна превышать $0,005 \dots 0,01 \text{ мм}$. При этом следует иметь в виду, что изменение температуры

разных участках вала диаметром 1000 мм только на 5⁰С приводит к разности диаметров вала, равной 0,05 мм.

3.3. Структурные параметры и диагностические признаки технического состояния шлифовальных станков

Рассмотрим последовательно динамические характеристики всех конструктивных элементов системы СПИД: шлифуемого вала, привода шпинделя, шлифовального круга и его привода.

Огранка (некруглость) сечений рабочей поверхности шлифовальных валов и других отклонений, например бомбировки, зависят от технического состояния и динамики следующих составных частей системы «шлифовальный станок – шлифуемый вал»:

- привода вращения вала;
- опорных конструкций вала;
- привода и параметров шлифовального круга;
- конструкций и механизмов перемещения шлифовальной бабки в продольном и поперечном направлениях.

Кроме того, определенное влияние на точность шлифования оказывают внешние факторы: температурное воздействие, волновые процессы от внешних источников – транспорта, технологического оборудования. Хотя все перечисленные составные части системы и внешние факторы проявляются во взаимодействии, для ясности изложения рассмотрим их отдельно.

На качественные показатели шлифования валов действуют следующие параметры валов и способы их установки:

- 1) статические и динамические характеристики вала на ШС в вертикальном и горизонтальном направлении, включая поступательные и поворотные перемещения;
- 2) кинематические, параметрические и динамические воздействия опорных конструкций вала на станке;
- 3) статические и динамические воздействия шлифовального круга на вал;
- 4) непараллельность продольной оси станка и негоризонтальность оси вала (погрешности базирования вала);
- 5) неравномерность частоты вращения вала;
- 6) температурные воздействия на вал;
- 7) вибрация станка от внешних источников;

В качестве примера для исследования возьмем цилиндрический вал (один из промежуточных валов каландра). Прежде всего, рассмотрим очевидные погрешности валов, не требующие исследований.

Погрешность базирования деталей

Эта погрешность зависит от точности установки и выверки положения вала относительно направляющих станин и не должна превышать 10...20 мкм.

На точность шлифования вала аналогично погрешности базирования вала оказывают влияние деформации станины станка в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси станка.

Температурные деформации системы

Существенное влияние на погрешности шлифования валов оказывают температурные деформации СПИД, а также нагрев самого вала. Тепловые деформации системы СПИД связаны с выделением тепла в самой системе из-за сил трения и резания, а также поступлением тепла от внешних источников.

Тепловые деформации могут стабилизироваться в различные сроки. Суммарное воздействие тех и других деформаций вызывают сложное изменение формы и размеров шлифуемых валов. Типичными примерами тепловых деформаций являются деформации шлифовальной бабки и смещения шпинделя. Время стабилизации тепловых деформаций шпинделя достигает 3...5 часов. Смещение шпинделя в направлении детали при температурных деформациях достигает 0,1...0,15 мм.

Контроль качества шлифования валов следует осуществлять только при выровненной температуре вала и средства измерения. Погрешности, вызванные температурой, могут достигать 0,05...0,08 мм.

Внешние источники вибрации

Внешние источники вибрации, например от проходящего транспорта, легко выявляются измерением вибрации вала, шпинделя, шлифовальной бабки при неработающем станке, или шлифовальной бабки от работы шпинделя и вращающегося вала.

3.4. Исследование влияния на качество шлифования параметров вала и его установки на станке

Как уже отмечалось ранее, на погрешности шлифования валов оказывают влияние все конструктивные элементы СПИД, включая шлифуемый вал.

Рассмотрим влияние следующих статических и динамических параметров шлифуемого вала, которые потенциально могут воздействовать на качество шлифуемой поверхности:

- 1) статический прогиб вала в вертикальной плоскости под действием собственного веса вала;
- 2) статический прогиб вала в горизонтальной плоскости под действием силы прижима шлифовального круга;
- 3) собственная частота колебаний вала без учета и с учетом упругой деформации опор в вертикальной и горизонтальной плоскостях, с учетом и без учета упругой податливости опор;
- 4) вынужденные колебания вала при кинематическом и параметрическом воздействии подшипниковых опор;
- 5) вынужденные колебания вала под действием шлифовального круга;

б) собственные и вынужденные колебания системы: «вал - шлифовальный круг – шлифовальная бабка».

Статический прогиб вала в вертикальной плоскости

Максимальная величина прогиба вала в середине пролета определяется по формуле (1.1), где линейная нагрузка на вал определяется только его собственным весом.

Пусть вал имеет следующие параметры: диаметр $d = 0,6$ м; длина цилиндрической части $b = 7,1$ м; расстояние между центрами опор $l = 8,1$ м; масса вала – 15360 кг.

Линейная нагрузка на вал без учета массы цапф $q = 21,6$ кН/м; модули упругости и сдвига чугуна принимаем $E = 1,4 \cdot 10^{11}$ Па; $G = 0,6 \cdot 10^{11}$ Па.

Момент инерции сечения вала:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,6^4}{64} = 6,36 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4 .$$

Площадь сечения вала:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,6^2}{4} = 0,28 \text{ м}^2 .$$

Прогиб вала в середине пролета:

$$y_{max} = \frac{21 \cdot 7,1^3}{384 \cdot 1,4 \cdot 10^{11} \cdot 6,36 \cdot 10^{-3}} (12 \cdot 8,1 - 7 \cdot 7,1) + \frac{5 \cdot 21 \cdot 7,1^2}{3,6 \cdot 0,6 \cdot 10^{11} \cdot 0,28} = 1,02 \cdot 10^{-3} + 1,3 \cdot 10^{-5} = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ м} .$$

Вал в середине пролета имеет прогиб, приблизительно равный 1,0 мм.

Расстояние по горизонтали между осями валов равно (рис. 3.1) $A = d_B/2 + d_K/2$, где d_B – диаметр вала; d_K – диаметр шлифовального круга.

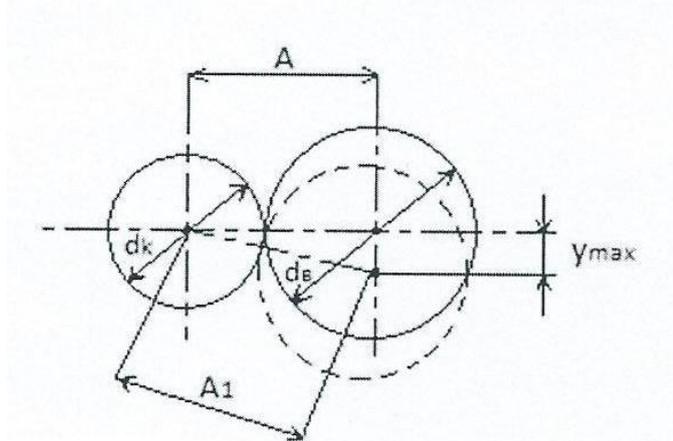


Рис. 3.1 – Схема прогиба вала в вертикальной плоскости:

d_B - диаметр вала; d_K - диаметр шлифовального круга;

A – расстояние по горизонтали между осями вала и шлифовального круга;

A_1 - расстояние между осями вала и шлифовального круга

при максимальном прогибе вала в середине пролета y_{max}

При прогибе вала в середине пролета y_{\max} расстояние между осями вала и шлифовального круга увеличивается до значения

$$A_1 = \sqrt{A^2 + y_{\max}^2}.$$

При сохранении неизменным расстояния по горизонтали погрешность шлифования в середине пролета вала составит:

$$\Delta = A_1 - A = \sqrt{A^2 + y_{\max}^2} - A.$$

Например, при $d_{\text{в}} = 600$ мм; $d_{\text{к}} = 400$ мм; $y_{\max} = 1,03$ мм погрешность шлифования составит при $A = 500$ мм:

$$\Delta_{\max} = \sqrt{500^2 + 1,03^2} - 500 = 0,0011 \text{ мм}.$$

Максимальная погрешность шлифования в середине пролета не более 1,1 мкм, а по краям вала эта погрешность отсутствует. Следовательно, статический прогиб вала от собственного веса не оказывает заметного влияния на погрешности шлифования.

Прогиб вала в горизонтальной плоскости под действием силы прижима шлифовального круга к валу

Упругая податливость конструкций СПИД проявляется в статическом и динамическом режимах. Влияние жесткости в статическом режиме исследовал А.М. Кучер [3]. Он определил прогиб шлифуемого вала под действием усилия прижима шлифовального круга к валу F_y (рис. 3.2), которое составляет 0,9...1,0 кН для каландровых валов.

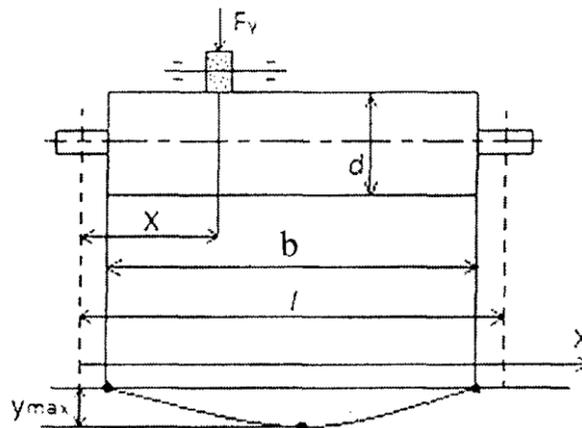


Рис. 3.2 – Схема прогиба вала под действием перемещающейся силы F_y :

d - диаметр вала; x – координата точки контакта шлифовального круга и вала;
 b – длина цилиндрической части вала; l – расстояние между подшипниковыми опорами; y_{\max} - максимальный прогиб вала в середине пролета

Кривая деформации прогиба вала (отжатия вала) без учета влияния на отжатие поперечных сил, действующих на вал, определяется по формуле

$$y(x) = (l - x)^2 \cdot \frac{F_y \cdot x^2}{3 \cdot l \cdot E \cdot I}, \quad (3.1)$$

где F_y – сила прижатия шлифовального круга к валу;

x – координата точки контакта шлифовального круга и вала;

$l; E; I$ – см. обозначение формулы 1.1.

Максимальный прогиб вала при $x = l/2$

$$y_{max} = \frac{F_y \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}. \quad (3.2)$$

Для рассмотренного ранее вала:

$$l = 8,1 \text{ м}; \quad E = 1,4 \cdot 10^{11} \text{ Па}; \quad I = 6,36 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4.$$

Деформация самого вала и упругие перемещения шлифовальной бабки при черновых операциях шлифования достигают величины 50...60 мкм и более. При чистовом (отделочном) шлифовании деформации меньше, но также составляют значительную величину.

При неизменном режиме шлифования из-за прогиба вала появляется эффект бомбировки вала. При шлифовании такого вала шлифовальным кругом с прямолинейной образующей на валу появляются винтовые полосы, видимые невооруженным глазом. Величина микроуступов достигает нескольких микрон по краям вала.

Следует также отметить, что на профиль бомбировки вала накладываются упругие деформации подшипниковых опор под действием прижима шлифовального круга (рис. 3.3).

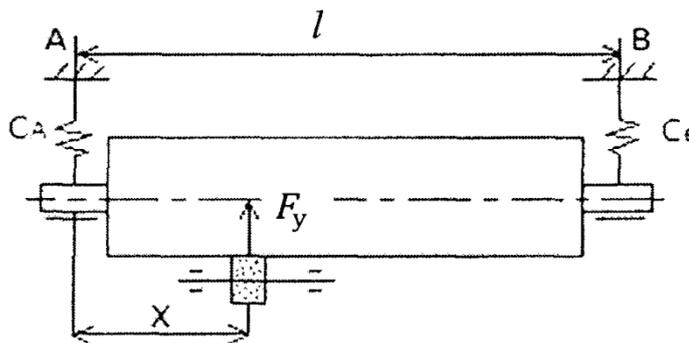


Рис. 3.3 – Схема деформации опор вала:

x – координата точки контакта шлифовального круга и вала;

F_y – усилие прижима шлифовального круга к валу; C_A, C_B – коэффициенты жесткостей соответственно подшипниковых опор A и B;

l – расстояние между подшипниковыми опорами

Нагрузки на опоры А и В вала:

$$F_{yA} = F_y \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right); F_{yB} = F_y \cdot \frac{x}{l}.$$

Упругие перемещения цапф вала на опорах:

$$y_A = \frac{F_y}{C_A} \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right); y_B = \frac{F_y}{C_B} \cdot \frac{x}{l}, \quad (3.3)$$

где C_A, C_B – коэффициенты жесткостей подшипниковых опор А и В.

Уменьшение бомбировки вала из-за прогиба может быть обеспечено регулированием усилия прижима шлифовального круга при перемещении суппорта вдоль оси станка.

Мощность привода P шлифовального круга, а, следовательно, сила тока питающей сети I качественно определяется по зависимости (3.4):

$$P = I \cdot U = K \cdot F_{\text{ПР}}, \quad (3.4)$$

где I – сила тока, А; U – напряжение питающей сети, В; $F_{\text{ПР}}$ – сила прижима шлифовального круга к валу, Н; K – коэффициент пропорциональности, определяемый по формуле:

$$K = \frac{\pi \cdot n_{\text{шк}} \cdot d_{\text{шк}} \cdot f_{\text{тр}}}{60 \cdot \eta}, \quad (3.5)$$

где $n_{\text{шк}}$ – частота вращения шлифовального круга, об/мин; $d_{\text{шк}}$ – диаметр шлифовального круга, м; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения (резания) шлифовального круга относительно шлифуемой поверхности вала; η – к.п.д. привода шлифовального круга.

Собственные частоты колебаний вала на станке

В процессе шлифования вала возбуждаются его колебания на собственных частотах и на гармониках и субгармониках собственных частот. Расчетная модель вала представляется в виде однопролетной балки с равномерно распределенной массой, опирающейся на шарнирные упругие опоры (рис. 3.4,а). Коэффициенты жесткости опор моделируют упругие деформации цапф валов, подшипников, а также конструкции люнетов или бабок.

Точное расчетное определение собственных частот колебаний по приведенной модели в общем случае затруднено или невозможно из-за неопределенности коэффициентов жесткости опорных конструкций, в частности люнетов. Рассмотрим лишь для качественной оценки парциальные колебания вала для крайних вариантов: при абсолютной жесткости опорных конструкций и упругих деформациях самого вала, а также при абсолютной жесткости шлифуемого вала и упругих деформациях опор.

Частота собственных парциальных колебаний вала на шарнирных абсолютно жестких опорах (рис.3.4,б) определяется по приближенной формуле:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{f_{\text{ст}}}}, \text{ рад/с}, \quad (3.6)$$

где $g = 9810 \text{ мм/с}^2$ – ускорение свободного падения; $f_{\text{ст}}$ – статический прогиб вала в середине пролета вала.

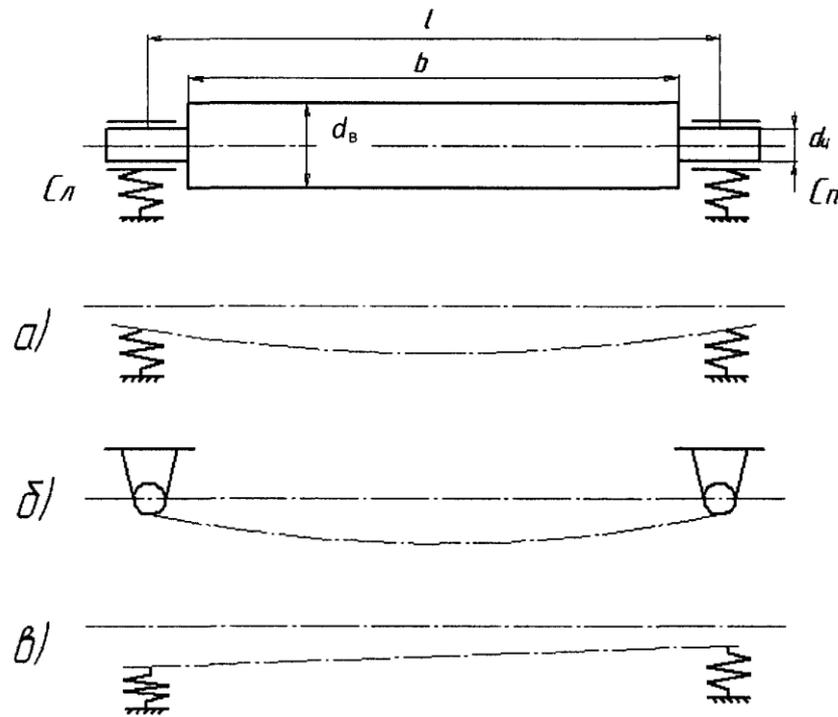


Рис. 3.4 – Расчетная схема вала: а) упруго-деформируемого на упругих опорах; б) упруго-деформируемого на жестких шарнирных опорах; в) жесткого на упругих опорах

Статический прогиб вала под действием силы веса без учета деформации цапф определен ранее. Он равен $f_{\text{ст}} = 1,03 \text{ мм}$. Собственная частота колебания вала по первой форме равна:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{9810}{1,03}} = 97,6 \text{ рад/с}$$

или $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{97,6}{2\pi} = 15,5 \text{ Гц}$.

Деформация цапф вызывает увеличение прогиба вала, а, следовательно, понижение собственных частот колебания. При необходимости статический прогиб можно определить по формуле:

$$f_{\text{ст}} = \frac{m_{\text{в}}}{384 \cdot E \cdot I} \cdot [b^3 - 4 \cdot b^2 \cdot l + 8 \cdot l^3 + 64 \cdot a^3 \cdot (\alpha - 1)], \quad (3.7)$$

где $m_{\text{в}}$ – масса вала, кг; $\alpha = E \cdot I / (E_i \cdot I_i)$ – отношение жесткости сечений рабочей части вала $E \cdot I$ к жесткости сечений цапф $E_i \cdot I_i$; $a = (l - b) / 2$ – расстояние от границы рабочей части вала до оси подшипниковой опоры, м; E и E_i – модули упругости материала вала и цапф, Па; I и I_i – моменты инерции сечений вала и цапф, м⁴:

$$I = \frac{\pi \cdot d_B^4}{64}; I_i = \frac{\pi \cdot d_{Ц}^4}{64},$$

где d_B и $d_{Ц}$ – диаметры цилиндрической части вала и цапф, м.

При $E = E_i$; $\alpha = d_B^4 / d_{Ц}^4$.

Частоты собственных парциальных поступательных ω_{0z} и поворотных $\omega_{0\varphi}$ колебаний вала в предположении его абсолютной жесткости на упругих опорах (рис. 3.4,в) равны:

$$\omega_{0z} = \sqrt{\frac{C_{П} + C_{Л}}{m_B}}; \omega_{0\varphi} = \sqrt{\frac{(C_{П} + C_{Л}) \cdot l}{2 \cdot \theta}}. \quad (3.8)$$

где C_n и C_l – коэффициенты жесткости опорных конструкций вала, правой и левой в вертикальном и горизонтальном направлениях, Н/м; m_B – масса вала, кг; l – расстояние между опорами вала, м; θ – момент инерции масс вала относительно центра тяжести, определяемый по формуле, кг·м²:

$$\theta = \frac{m_B \cdot l^2}{12}. \quad (3.9)$$

Вибрация шлифуемого вала, возбуждаемая подшипниками качения

Применяются различные способы установки валов на люнеты шлифовального станка: через вкладыши скольжения, в «собственных» корпусах подшипников вала, а также при закреплении в люнетах наружных колец подшипников.

Известно [8], что подшипники качения даже в идеальном состоянии возбуждают вибрацию валов на так называемых подшипниковых частотах при кинематическом и параметрическом воздействиях при чередовании опирания внутреннего кольца на четное и нечетное число тел качения (рис. 3.5).

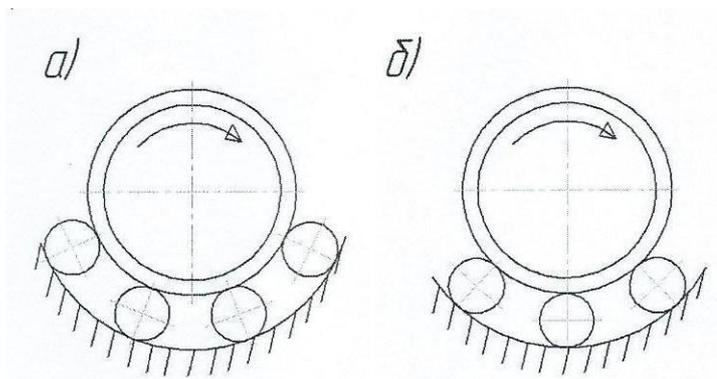


Рис. 3.5 – Опирание внутреннего кольца подшипника на четное (а) и нечетное (б) число тел качения

В этом случае возбуждается вибрация на подшипниковой частоте f_n , определяемой по формуле (3.10) и на гармониках оборотной частоты вращения вала:

$$f_n = \frac{f_B}{2} \cdot \left(1 - \frac{d_{TK}}{d_{CP}} \cdot \cos \beta\right) \cdot z_{TK}, \quad (3.10)$$

где f_B – частота вращения вала, об/с; d_{TK} – диаметр тела качения, м; d_{CP} – средний диаметр окружности по осям тел качения (роликов); z_{TK} – количество тел качения в одном ряду подшипника.

Кроме того, при больших радиальных зазорах в подшипниках возможно появление маятникового резонанса, частота которого определяется по формуле

$$f_{OM} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta}{g}}, \text{ Гц}, \quad (3.11)$$

где Δ – радиальный зазор в подшипниках;

g – ускорение свободного падения.

Формулы (3.10 и 3.11) справедливы для всех подшипников качения.

Источниками колебаний вала при шлифовании могут быть различные дефекты и отклонения, к которым можно отнести: разноразмерность тел качения; перекосы оси вращения вала и оси подшипника, нецилиндричность посадочных мест, дефекты беговых дорожек, повреждение поверхности и многое другое. Поэтому при шлифовании валов, вращающихся в подшипниках, следует использовать только идеальные (бездефектные) подшипники, а при установке шлифуемого вала следует проверить в трех – четырех положениях вала по окружности однородность радиального зазора в подшипниках.

Для уменьшения динамических воздействий на шлифуемый вал рекомендуется обеспечение осевого натяга роликовых подшипников. При этом следует учесть, что осевой натяг может получиться также при температурных деформациях шлифуемого вала.

Неуравновешенность шлифовального круга и шлифуемого вала

Влияние неуравновешенности шлифовального круга и шлифуемого вала на качество шлифования валов маловероятно. Каждый шлифовальный круг, устанавливаемый на станках, балансируется. Частота вращения валов на станке на порядок меньше частот вращения этих валов на машине. Силы инерции от неуравновешенности валов незначительные.

Силы инерции от неуравновешенности шлифовального круга определяются по формуле

$$F_{ш} = m_M \cdot \omega_{ш}^2 \cdot e_{ш}, \quad (3.12)$$

где m_M – масса шлифовального круга;

$\omega_{ш}$ – угловая частота вращения;

$e_{ш}$ – удельный дисбаланс шлифовального круга.

Существенное влияние неуравновешенности масс шлифовального круга следует ожидать при кратном отношении частот вращения шлифовального круга $n_{ш}$, об/мин к частоте вращения вала n_B , об/мин. Это отношение не должно быть целым числом.

Шлифуемый вал имеет остаточную динамическую неуравновешенность, включающую в себя статическую (рис. 3.6,а) и моментную (рис. 3.6,б). Эти неуравновешенности в общем случае лежат в различных плоскостях и нагружают опоры силами, не равными по величине и не совпадающими по направлению.

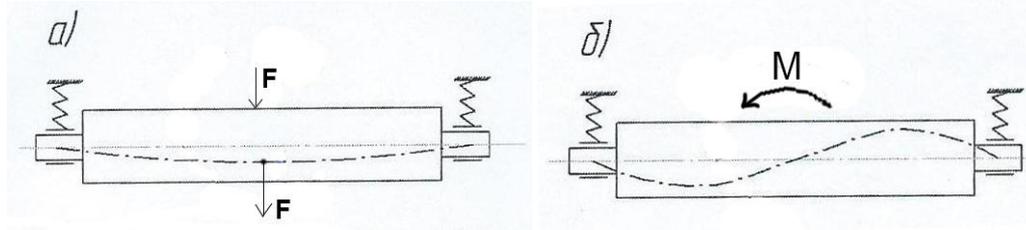


Рис. 3.6 – Деформации вала при статической (а) и моментной (б) неуравновешенности вала при вращении вала на станке

В каждом сечении прогиб вала проявляется в форме биений, что вносит погрешности при шлифовании валов. Неуравновешенность шлифуемого вала может быть оценена по параметрам вибрации опор шлифуемого вала в горизонтальном направлении непосредственно на станке на частоте вращения вала при его шлифовании.

3.5. Демпфирование вибрации системы СПИД станка

Составные части системы СПИД шлифовальных станков имеют вибрацию при силовом и кинематическом возбуждении (рис. 3.7).

Амплитудно-частотные зависимости при силовом и кинематическом возбуждении определяются по формулам (3.13) и представляются графически на рис. 3.7.

$$S_a = \frac{F_a}{C} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{\alpha_p^2}}}; \quad S_a = S_{a0} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{\alpha_p^2}}}, \quad (3.13)$$

где F_a – амплитуда гармонической нагрузки; S_{a0} – амплитуда кинематического воздействия; C – коэффициент жесткости конструкции; $\eta = \omega/\omega_0$ – частотное отношение (отношение частоты динамических воздействий к частоте собственных колебаний конструкции ω_0); α_p – коэффициент нарастания колебаний при резонансе.

При силовом возбуждении вибрации $\alpha_p = S_{ap}/(F_a/C)$, при кинематическом возбуждении $\alpha_p = S_{ap}/S_{a0}$, где S_{ap} – амплитуда колебаний при резонансе.

Коэффициент нарастания колебаний при резонансе металлических конструкций достигает величины $\alpha_p = 30 \dots 40$ и более.

$$F = F_a \cos \omega t.$$

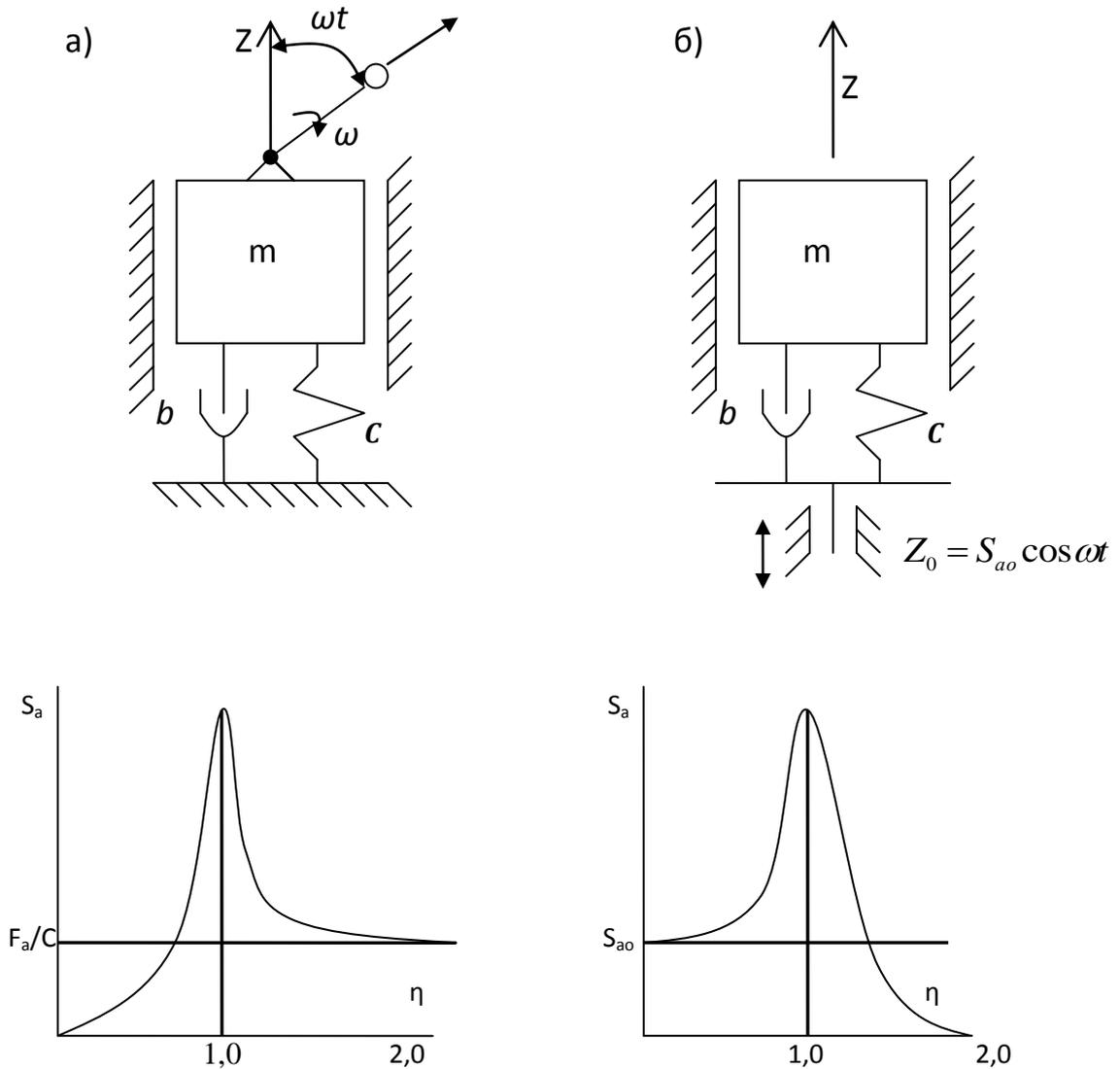


Рис. 3.7 – Динамические модели и амплитудно-частотные характеристики при силовом (а) и кинематическом (б) возбуждении вибрации: F – силовое воздействие на конструкцию; Z_0 – кинематическое воздействие; m – масса конструкции; C и b – коэффициенты упругих и неупругих сопротивлений конструкции

Коэффициент α_p связан с коэффициентом неупругих сопротивлений b зависимостью

$$\alpha_p = \frac{m \cdot \omega_0}{b} = \frac{\sqrt{m \cdot C}}{b}. \quad (3.14)$$

Вибродемпфирование понижает коэффициент нарастания колебаний при резонансе и вблизи резонанса.

Амплитудно-частотные характеристики с различным демпфированием, характеризуемым коэффициентом нарастания колебаний при резонансе, показан на рис. 3.8.

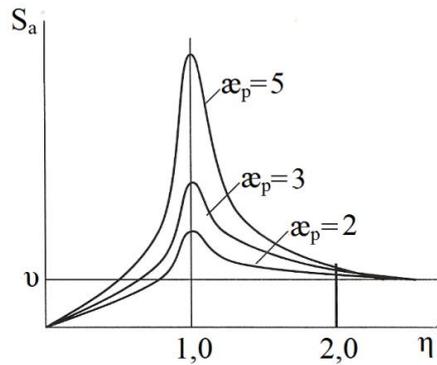


Рис. 3.8 – Амплитудно-частотные характеристики конструкции при различных коэффициентах α_p

Введение в конструкцию демпфирующих конструкций или элементов позволит уменьшить параметры резонансной вибрации в 20...25 раз.

3.6. Воздействие на шлифовальные станки внешних источников

К внешним источникам, влияющим на качество шлифования валов, относятся температурные воздействия, колебания СПИД станка, возбуждаемые вибрацией, распространяющейся от оборудования и транспорта промышленного предприятия при неработающем оборудовании шлифовального участка.

Влияние внешних источников вибрационного характера определяется экспериментально. Приведем пример оценки влияния внешних источников на вальцешлифовальный станок *XШ5-06М*.

Предварительно измерялись значения виброускорений шлифовальной бабки, люнетов на уровне оси шлифуемого вала в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси станка. В полученных спектрах выявилась вибрация на ряде частот с виброускорениями, достигающими 8 мм/с^2 .

Так как на качество шлифования валов оказывает влияние не виброускорение, а виброперемещение шлифовальной бабки и шлифуемого вала, то далее расчетным путем определялись наибольшие значения виброперемещений.

Амплитуда виброускорения a_a пропорциональна произведению амплитуды виброперемещений S_a на квадрат круговой частоты колебаний $\omega^2 = (2 \cdot \pi \cdot f)^2$, где f – частота колебаний, Гц (об/с).

То есть, $a_a = S_a \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2$, откуда амплитуда виброперемещений равна $S_a = a_a / (2 \cdot \pi \cdot f)^2 = 0,0254 \cdot a_a / f^2$, мм.

Например, виброускорение на частоте $f = 14$ Гц составило $8,3 \text{ мм/с}^2$, амплитуда виброперемещений будет равна:

$$S_a = 0,0254 \cdot 8,3 / 14^2 = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 1,1 \text{ мкм.}$$

При измерении среднеквадратических значений виброускорения a_e для приведенного примера:

$$a_e = S_a \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2 / \sqrt{2}; S_a = 0,0254 \cdot \sqrt{2} \cdot a_e / f^2 = 0,036 \cdot a_e / f^2;$$

$$S_a = 0,036 \cdot 8,3 / 14^2 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 1,5 \text{ мкм.}$$

В результате расчетов было установлено, что амплитуды виброперемещений СПИД станка не превышают во всем диапазоне 1,5 мкм, что позволило заключить, что внешние источники вибрации в помещениях шлифовального участка и смежных производств не оказывают заметного влияния на колебания шлифовального станка.

3.7. Экспериментальные исследования вынужденной вибрации вальцешлифовальных станков при перешлифовке валов бумагоделательных машин

В процессе эксплуатации БМ на рабочей поверхности каландровых валов появляются следы износа и повреждений. Распространенными дефектами являются местные повреждения и волнообразный износ, так называемый «barring». Валы с дефектами приводят к дроблению бумаги (в каландрах) и волнистости сукон (в прессах). Эти дефекты устраняются при перешлифовке валов на вальцешлифовальных станках.

В настоящем подразделе приводятся результаты экспериментального определения параметров вибрации системы «станок – шлифуемый вал» при шлифовании:

на станке *XIII5-06M* нижнего вала каландра массой 49 тонн и диаметром 1016 мм в собственных корпусах подшипников, опирающихся на массивные чугунные стойки. Частота вращения вала при шлифовании 10 об/мин. Диаметр шлифовального круга 805 мм, частота вращения 700 об/мин;

на станке *XIII5-06* разгонного сукноведущего вала диаметром 570 мм. Масса вала 3,5 тонны, частота вращения вала 10 об/мин. Вал вращается в подшипниках качения, наружные кольца которых закреплены посредством трех вкладышей в люнетах.

При эксперименте определялся спектральный состав вибрации шлифовальной бабки на уровне оси шлифовального круга, люнетов переднего и заднего на уровне осей шлифовальных валов. Направление – горизонтальное, перпендикулярное продольной оси станка. Кроме того, определялся спектральный состав вибрации передней бабки и других составных частей станка.

На рис. 3.9 – 3.12 для примера приведены образцы спектров виброускорений шлифовальной бабки и люнетов в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси станка.

На спектрах виброускорений шлифовальной бабки и люнетов явно выражены гармоники частоты 15,5 Гц. В диапазоне частот до 200 Гц проявляется более 10 гармоник. Наибольшая интенсивность колебаний проявляется на частоте второй гармоники 31 Гц. Виброускорение шлифовальной бабки составляет 125 мм/с², а люнетов: переднего 15 мм/с², заднего – 8,5 мм/с².

Для выявления причины повышенных колебаний шлифовальной бабки произведена запись вибрации электродвигателя привода шлифовального круга и станины в месте установки двигателя. Виброускорение на частоте 31 Гц составило 200 мм/с² и 136 мм/с² соответственно.

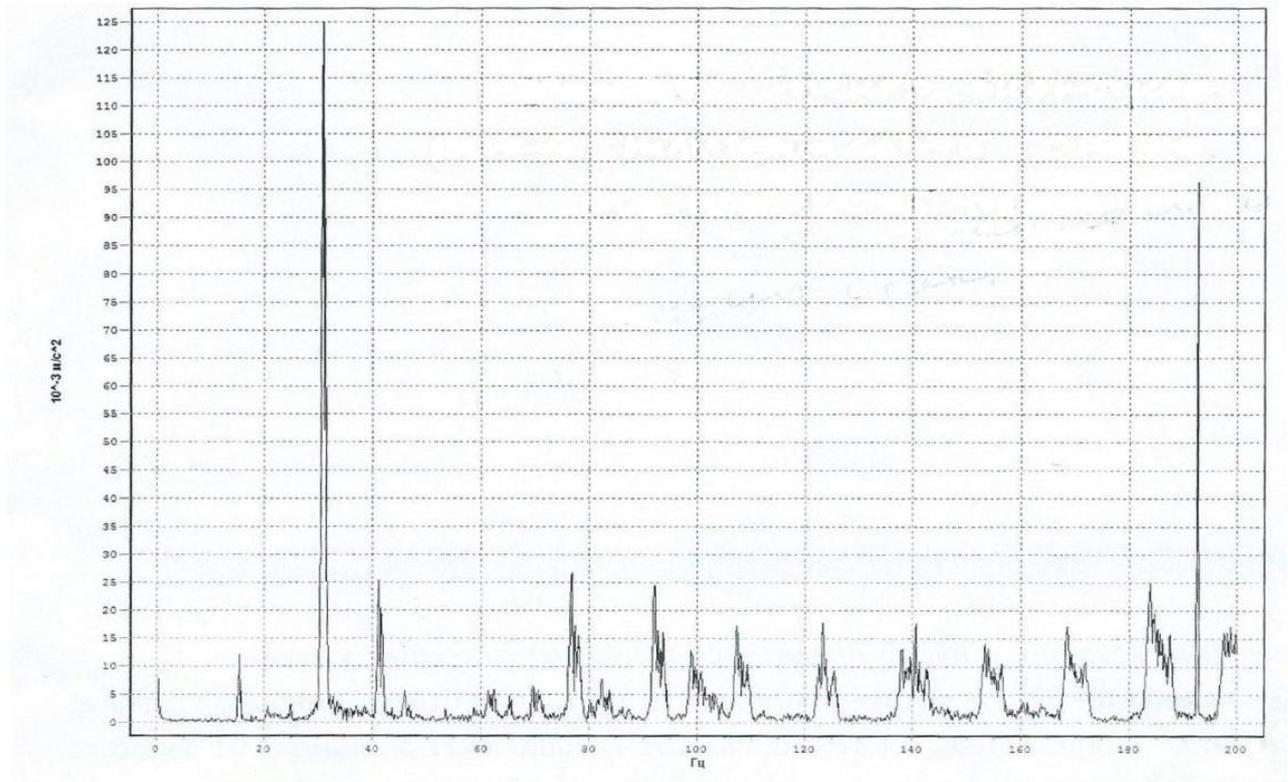


Рис. 3.9 – Спектр виброускорений шлифовальной бабки станка ХШ5-06

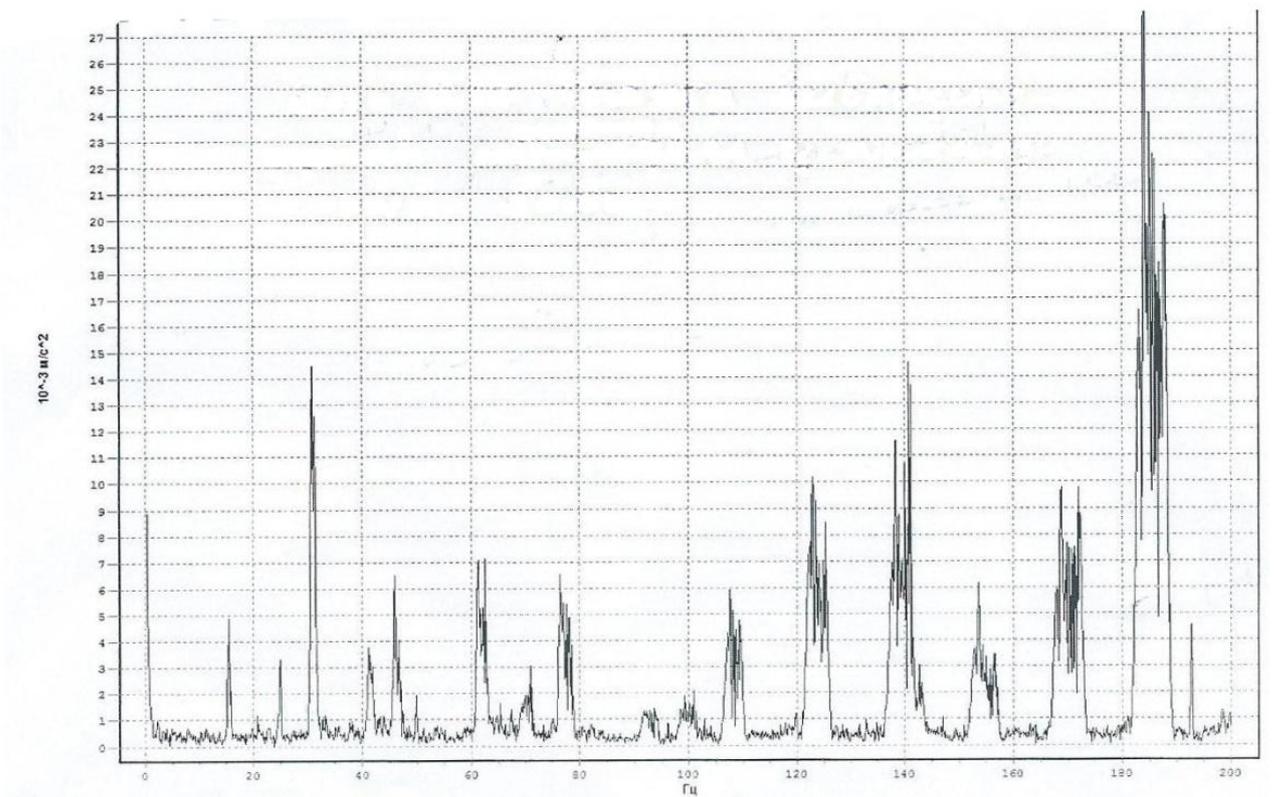


Рис. 3.10 – Спектр виброускорений люнета у приводной бабки

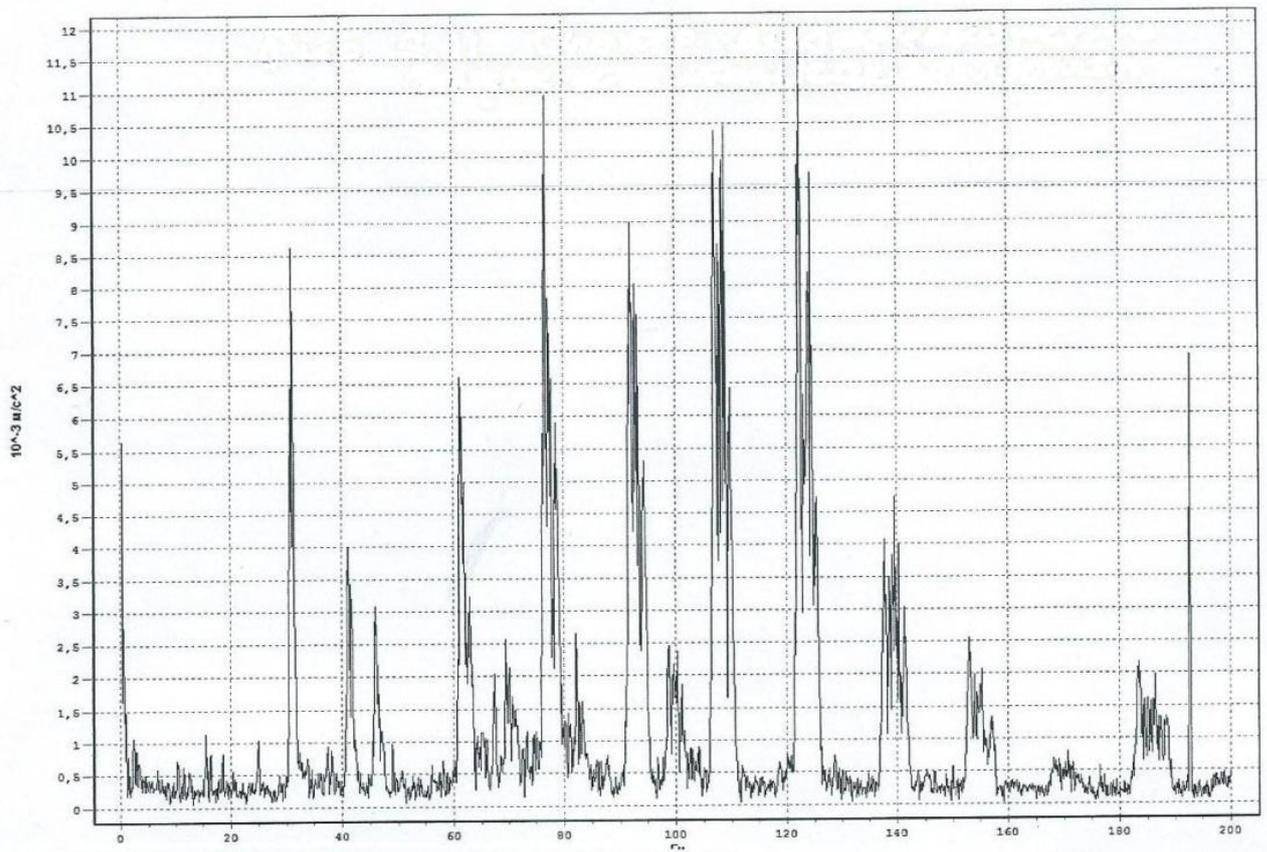


Рис. 3.11 – Спектр виброускорения заднего люнета

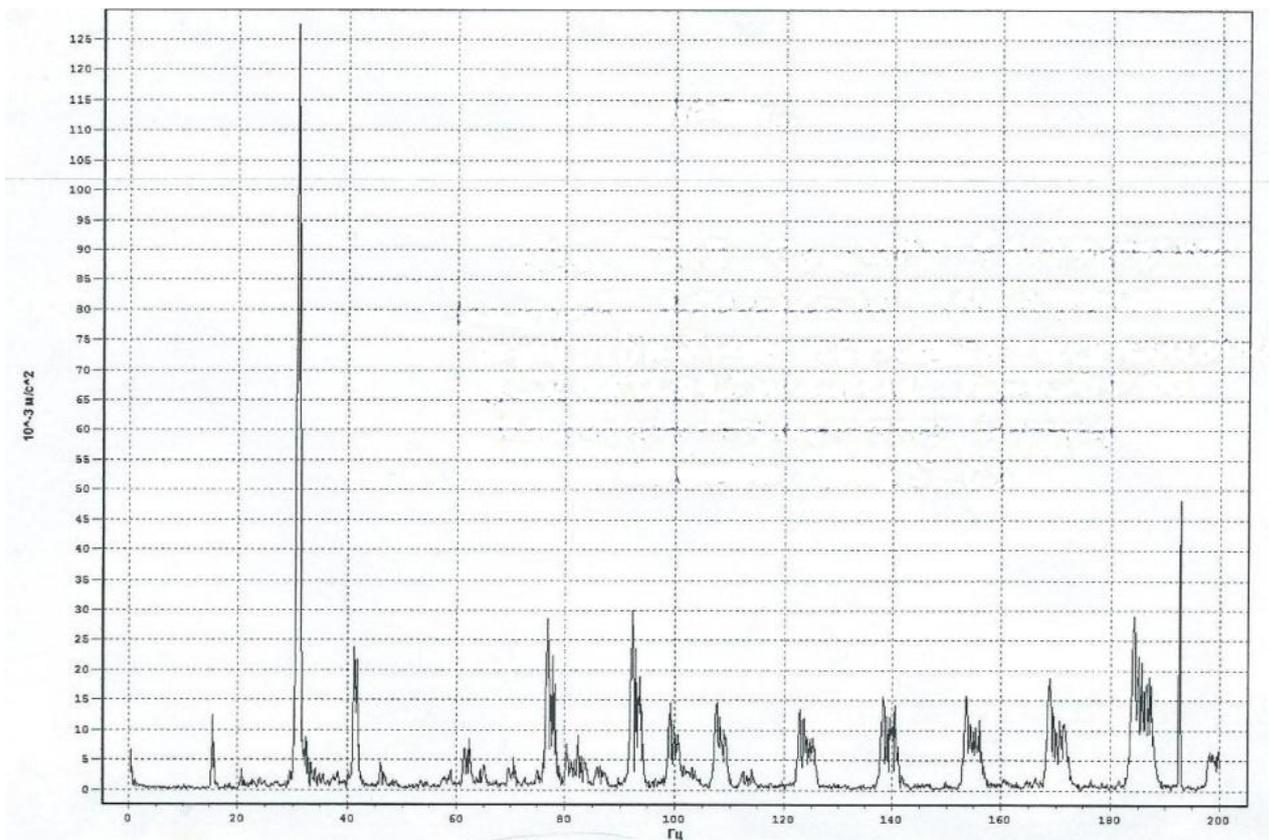


Рис. 3.12 – Спектр виброускорений станины шлифовальной бабки в месте установки электродвигателя привода шлифовального круга станка ХШ5-06

Следовательно, основной причиной колебаний шлифовального станка следует считать воздействие привода шлифовального круга, и относительно малую жесткость шлифуемого вала.

Наличие в спектре множества гармоник колебаний объясняется нелинейностью колеблющихся масс и коэффициентов жесткости элементов. Из-за сравнительно малой жесткости шлифуемого вала, под воздействием переменной нагрузки от шлифовального круга он деформируется, изменяются коэффициенты жесткости контакта круга и вала, что приводит к нелинейности системы и, как следствие, появление гармоник колебаний.

3.8. Диагностика привода шлифовального круга

Рассмотрим динамику привода шлифовального круга от двигателя постоянного тока мощностью 32 кВт через многоручьевую ременную передачу. Частота вращения двигателя 1650 об/мин. Диаметры шкивов: ведущего – 158 мм, ведомого – 259 мм, максимальная частота вращения шлифовального круга 1000 об/мин; окружная скорость шлифовального круга 13...30,6 м/с.

Динамика и виброактивность привода шлифовального круга оказывает непосредственное влияние на качество шлифуемой поверхности валов. Вибрация привода различного происхождения с частотой f_{Π} и проявляется в конечном итоге в вибрации шлифовального круга и вызывает появление волн на шлифуемой поверхности вала. Длина этих волн зависит от частоты f_{Π} , диаметра вала $d_{\text{В}}$ и частоты вращения шлифуемого вала $n_{\text{В}}$ и определяется по формуле:

$$l_{\text{В}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{В}} \cdot n_{\text{В}}}{60 \cdot f_{\Pi}}, \quad (3.15)$$

где f_{Π} , Гц; $d_{\text{В}}$, м; $n_{\text{В}}$, об/мин.

При неуравновешенности и биениях шлифовального круга с частотой $f_{\text{кр}}$ длина волны равна:

$$l_{\text{В}} = \pi \cdot d_{\text{В}} \cdot \frac{n_{\text{В}}}{n_{\text{кр}}}, \quad (3.16)$$

где $n_{\text{кр}}$, об/мин – частота вращения шлифовального круга.

Вибрация привода оказывает существенное влияние на развитие волны на поверхности шлифуемого вала в тех случаях, когда длина волны укладывается целое число K раз по периметру вала. Исходя из зависимости 3.16, имеем:

$$\frac{\pi \cdot d_{\text{В}}}{l_{\text{В}}} = \frac{60 \cdot f_{\Pi}}{n_{\text{В}}} = \frac{n_{\text{кр}}}{n_{\text{В}}} \neq K.$$

Отношение частот вращения шлифовального круга и вала не должно быть целым числом.

Источники колебаний привода шлифовального круга: неуравновешенность и биение ведущего шкива и ротора электродвигателя, ведомого шкива

и шлифовального круга. Они проявляются на частотах вращения шкивов и гармониках этих частот, на подшипниковых частотах.

В многоручьевых клиноременных передачах при неравенстве длин ремней и разноразмерности кольцевых канавок на шкивах под ремни возникает неравномерная нагрузка на ремни, а, следовательно, неравномерное скольжение. Более короткие ремни нагружаются больше, чем длинные. Передаваемый момент более нагружаемых ветвей достигает предельного состояния, возникает срыв (импульсное проскальзывание ремня), возбуждающий вибрацию шкивов, крутильные колебания шкивов и связанных с ними колебания ротора электродвигателя и шлифовального круга. Возбуждаются автофрикционные колебания.

Хотя в процессе эксплуатации шлифовальных станков автофрикционные колебания привода не заметны, при техническом обслуживании шлифовальных станков следует обращать внимание на равномерность натяжения ремней передачи путем подбора длины ремней, их предварительной вытяжки и контроля размеров канавок на шкивах.

Аналогичные требования предъявляются также к трехступенчатым ременным передачам привода вращения шлифуемого вала.

3.9. Демпфирование колебаний шлифуемого вала

Шлифуемый вал устанавливается в люнетах и вращается посредством шарнирного соединения на планшайбе передней бабки. Привод вала осуществляется от электродвигателя постоянного тока через трехступенчатую систему клиноременных передач (рис. 3.13).

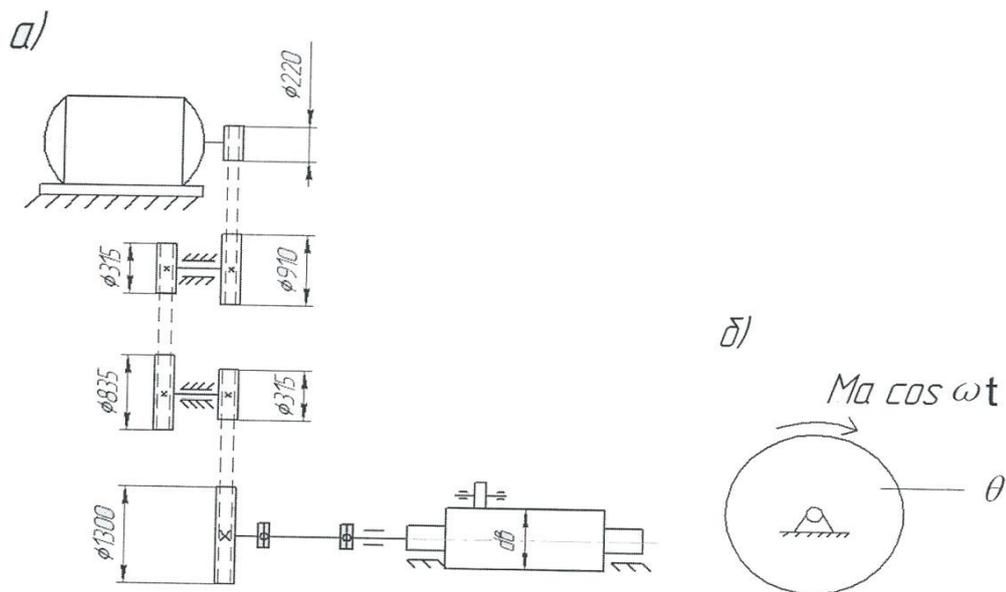


Рис. 3.13 – Схема привода шлифуемого вала (а) и модель крутильно-вращательных колебаний вала (б)

Расчетная схема крутильно-вращательных колебаний вала под действием переменной составляющей сил резания при шлифовании показана на рис. 3.13,б.

Крутильно-вращательные колебания вала описываются зависимостью

$$\varphi = \frac{M_a}{\theta \cdot \omega^2} \cdot \cos \omega t ,$$

где M_a – амплитуда переменной составляющей силы резания при шлифовании вала; θ – момент инерции масс вала относительно оси вращения; ω – угловая частота вращения шлифовального круга.

Амплитуда крутильно-вращательных колебаний вала весьма мала. Крутильно-вращательные колебания вала не оказывают заметного влияния на качественные показатели шлифования валов.

Ранее показано, что шлифуемые валы и шлифовальная бабка совершают преимущественно резонансные колебания и резкое уменьшение этих колебаний можно обеспечить введением в систему СПИД конструктивных элементов, обладающих демпфирующими свойствами. Такими свойствами обладают полимерные материалы.

Упругодемпфирующий конструктивный элемент удобно устанавливать на люнете, поддерживающем шлифуемый вал в середине пролета вала. Предполагается, что установка этого элемента позволит уменьшить вибрацию не только вала, но и шлифовальной бабки. Массы шлифовальной бабки и шлифуемого вала связаны между собой посредством шлифовального круга.

Для качественной оценки возможности уменьшения вибрации шлифуемого вала и шлифовальной бабки путем использования демпферов рассмотрим динамическую модель, представленную на рис. 3.14, где обозначено: 1 – шлифовальная бабка массой m_b , имеющая упруго-демпфирующую связь со станиной с коэффициентом жесткости C_b и коэффициентом неупругого сопротивления b_b ; 2 – шлифуемый вал с приведенной массой m_B и упруго-демпфирующей связью со станиной с коэффициентом жесткости C_B и неупругого сопротивления b_B ; 3 – шлифовальный круг, жестко связанный с шлифовальной бабкой и упругой связью жесткостью C_K . На шлифовальный круг действует гармоническая сила $F_a \cos \omega t$.

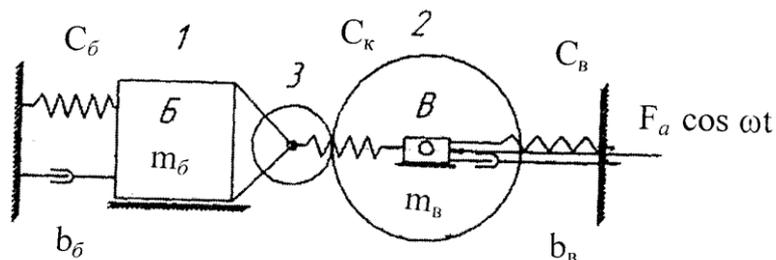


Рис. 3.14 – Динамическая модель системы СПИД шлифовального станка

Вынужденные колебания системы под действием гармонической нагрузки $F_a \cos \omega t$, где F_a – амплитуда динамической нагрузки, ω – угловая частота, описываются следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} m_6 \ddot{x}_6 + B_6 \dot{x}_6 + C_6 x_6 + C_K(x_6 - x_B) &= 0; \\ m_B \ddot{x}_B + B_B \dot{x}_B + C_B x_B + C_K(x_B - x_6) &= F_a \cos \omega t. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Разделим первое уравнение на m_6 , второе на m_B и обозначим:

$\omega_{06} = \sqrt{C_6/m_6}$ – собственная частота колебаний шлифовальной бабки в горизонтальном направлении, рад/с;

$\lambda_6 = \sqrt{C_K/m_6}$ – парциальная частота собственных колебаний шлифовальной бабки, рад/с;

$\omega_{0B} = \sqrt{C_B/m_B}$ – собственная частота горизонтальных колебаний вала, рад/с;

$\varepsilon_B = b_B/2m_B$ – коэффициент демпфирования колебаний вала;

$\varepsilon_6 = b_6/2m_6$ – коэффициент демпфирования колебаний шлифовальной бабки;

$\lambda_B = \sqrt{C_K/m_B}$ – парциальная частота собственных колебаний вала при упругом воздействии на него шлифовального круга;

$v = F_a/m_B$ – мера уровня возбуждающих колебания сил.

Дифференциальные уравнения (3.17) приобретают вид:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_6 + 2\varepsilon_6 \dot{x}_6 + \omega_{06}^2 x_6 + \lambda_6^2(x_6 - x_B) &= 0 \\ \ddot{x}_B + 2\varepsilon_B \dot{x}_B + \omega_{0B}^2 x_B + \lambda_B^2(x_B - x_6) &= v \omega^2 \cos \omega t. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Для выявления степени влияния демпфирования колебаний только вала на колебания системы пренебрегаем рассеиванием энергии при колебаниях шлифовальной бабки ($2\varepsilon_6 \dot{x}_6 = 0$). Решение системы уравнений (3.18) имеем в виде:

$$\begin{aligned} x_6 &= S_{61} \cos \omega t + S_{62} \sin \omega t; \\ x_B &= S_{B1} \cos \omega t + S_{B2} \sin \omega t. \end{aligned} \quad (3.19)$$

Подставив решение (3.19) в систему дифференциальных уравнений (3.18), получим систему алгебраических уравнений, из которых определяются амплитуды колебаний шлифовальной бабки S_{6a} и вала S_{Ba} .

$$S_{6a} = \sqrt{S_{61}^2 + S_{62}^2}; \quad S_{Ba} = \sqrt{(S_{B1}^2 + S_{B2}^2)}. \quad (3.20)$$

При допущении, что воздействию шлифовального круга на вал только силовое, шлифовальная бабка неподвижна, первое уравнение из системы (3.18) исчезает, а второе уравнение приобретает вид:

$$\ddot{x}_B + 2\varepsilon_B \dot{x}_B + \omega_{0B}^2 x_B = v \omega^2 \cos \omega t.$$

Общее решение этого уравнения:

$$x = S_a \cos(\omega t - \beta),$$

где S_a – амплитуда перемещений; β – угол сдвига фаз вынужденных колебаний относительно динамических воздействий.

$$S_a = \frac{v \cdot \eta^2}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + \eta^2 \left(\frac{2 \cdot \varepsilon}{\omega_0}\right)^2}}; \quad \operatorname{tg} \beta = \eta \cdot \frac{2 \cdot \varepsilon}{\omega_0 (1-\eta^2)}, \quad (3.21)$$

где $\eta = \omega/\omega_0$ – частотное отношение, равное отношению частоты возбуждающих колебания сил к частоте собственных колебаний вала.

Шлифовальные валы на станках имеют наиболее интенсивные колебания на резонансных частотах. Введение демпфирующих конструкций резко уменьшит колебания шлифовальных валов. Некоторое уменьшение колебаний будет и на конструкциях шлифовальной бабки.

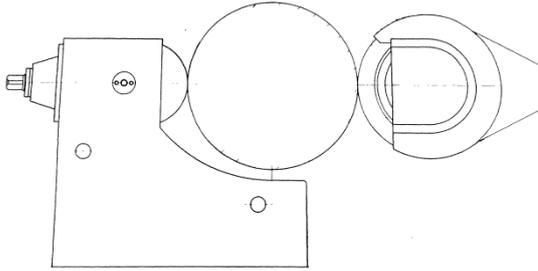


Рис. 3.15 – Демпфирующие устройства в виде полиуретановых роликов

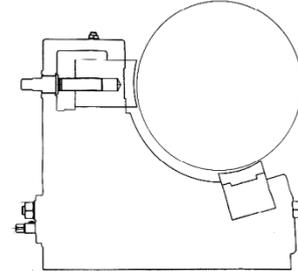


Рис. 3.16 – Демпфирующие устройства в виде башмаков

Для обоснования возможности применения демпфирующих устройств колебаний дополнительных люнетов произведено пробное проектирование промежуточного демпфирующего люнета, в котором в качестве демпфирующих устройств использованы полиуретановые ролики (рис. 3.15, а в другом варианте башмаки рис. 3.16). Эти устройства смонтированы в дополнительном люнете, который устанавливается в середине пролета вала. Ролики (башмаки) прижимаются к валу со стороны, противоположной шлифовальной бабке.

Применение люнетов–виброгасителей не является принципиально новым решением. В станках находят применение люнеты–виброгасители различного типа, описание конструкций которых приведены в справочнике [9].

4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВАЛОВ

В разделе обсуждаются методы и средства контроля и диагностики технического состояния рабочей поверхности валов и цилиндров бумагоделательных и отделочных машин при их эксплуатации непосредственно на машине, а также в ремонтном производстве в процессе их перешлифовки на вальцешлифовальных станках. Уделяется также внимание качеству обработки поверхности валов, в частности контролю шероховатости.

4.1. Методы и средства контроля формы рабочей поверхности валов

Рассмотрим приборы и инструменты, применяемые в промышленности для контроля формы валов в продольном и поперечном сечениях, а также для определения диаметров валов и шероховатости их поверхности. Для контроля валов и цилиндров наибольшее распространение получили стальные калиброванные ленты, различные скобы, призмы, оптические и электронные уровни.

Стальные калиброванные ленты. Для контроля диаметров и геометрической формы валов и цилиндров, к которым не предъявляются требований высокой точности изготовления, используются калиброванные стальные ленты. Измерение сводится к охватыванию лентой контролируемого вала и определению расстояния между концами ленты. К концам ленты прикреплены угольники, в которых имеется устройство, выполненное по принципу микрометрической головки. Для получения постоянного усилия притягивания концов ленты в микрометрической головке установлена регулируемая пружина, которая настраивается на усилие 1,5 Н.

Диаметр вала вычисляется по расстоянию между концами ленты. Погрешность измерения лентами складывается из удлинения ленты от нагрузки, ошибок при аттестации и температурной деформации ленты. Погрешность, вызванная удлинением стальной ленты сечением $0,2 \times 10$ мм, достигает при длине ленты 1500 мм – 0,01 мм. Погрешность аттестации стальной ленты при использовании роликов и штихмасса составляет $\pm 0,04$ мм. Погрешность измерения расстояния между концами стальной ленты при использовании стандартных микрометрических головок с учетом того, что измерение проводится не по дуге, а по хорде, достигает 0,02...0,03 мм. Погрешность, вызванная температурной деформацией стальной ленты при контроле вала диаметром 1000 мм и изменением температуры при измерении на 10°C относительно температуры, при которой происходила аттестация – 0,01 мм.

Суммарная погрешность измерения диаметров стальной калиброванной лентой находится в пределах 0,03...0,08 мм.

Индикаторная скоба. На целлюлозно-бумажных предприятиях и заводах бумагоделательного машиностроения для контроля формы валов применяется индикаторная скоба с опорой на вал (рис. 4.1). Скоба представляет собой сварную конструкцию, состоящую из согнутой по дуге трубы 1 с кронштейнами 2 для закрепления опорных болтов 3, которыми скоба опирается на контролируемый вал, и болтов 4, выполняющих роль регулируемых пяток. В кронштейнах 5 закреплены индикаторы 6 часового типа. Положение измерительной оси индикаторной скобы регулируется болтами 3. Такие скобы предназначены для контроля формы валов в продольном сечении диаметральным методом. Скоба перемещается вдоль оси контролируемого вала и по индикатору отсчитывается разность диаметров в заданных сечениях вала.

Погрешность контроля, свойственная всем скобам с опорой на вал, состоит из суммы погрешностей схемы измерения, индикатора часового типа, погрешности, вызванной температурной деформацией скобы, субъективной погрешности измерения.

В данной скобе измерительные наконечники индикаторов часового типа и концы болтов 4, выполняющих роль регулируемых пяток, выполнены в форме сфер.

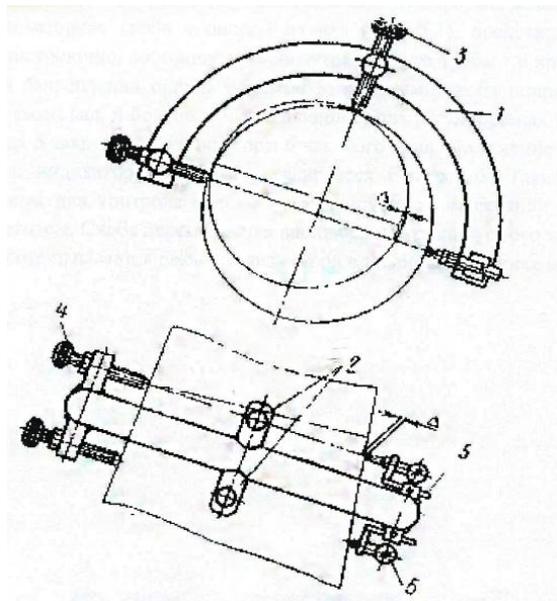


Рис. 4.1 – Индикаторная скоба с опорой на вал:
1 – труба; 2 – кронштейны; 3 – опорные болты; 4 – регулируемые болты;
5 – кронштейны; 6 – индикаторы

Во время контроля бомбированных валов при перемещении скобы вдоль вала, последняя будет одновременно смещаться в поперечном направлении. Наличие бомбировки вызывает также поворот скобы в продольном сечении вала и смещение ее измерительной оси. В результате смещения ско-

ба будет контролировать не диаметры, а хорды, что вызывает дополнительные погрешности результатов измерения.

В процессе контроля рабочий прижимает скобу к поверхности вала так, чтобы она контактировала с валом болтами 3 и 4. Это приводит к тому, что измерительная ось в процессе контроля изменяет свое направление относительно оси вала. Направление измерительной оси скобы будет перпендикулярно оси вала только в средней части бомбированного вала, а при перемещении скобы к концам вала ее измерительная ось будет разворачиваться по отношению к оси вала. Скоба будет контролировать не диаметры, а большие оси эллипсов, что также искажает результаты контроля. Численное значение величины этой погрешности для индикаторной скобы с опорой на вал колеблется в пределах 0,005...0,015 мм.

В процессе контроля формы валов в их продольном сечении индикаторная скоба с опорой на вал удерживается и прижимается к валу рабочим, производящим контроль. Тепло от рук рабочего вызывает температурную деформацию скобы, которая приводит к появлению погрешности, вызванной температурной деформацией. Величина этой погрешности может достигать 0,025 мм.

Седлообразное измерительное приспособление. Применяется для контроля формы валов в продольном сечении. Оно состоит из жесткого корпуса 1 (рис. 4.2), на котором неподвижно закреплены опоры 2, представляющие собой базовые поверхности седлообразного приспособления. В центре корпуса имеется посадочное отверстие под чувствительный прибор, в данном случае миниметр 3, и механизм 4 настройки приспособления на «ноль».

В большинстве конструкций для уменьшения габаритных размеров седлообразного приспособления принят угол призмы, равный 90° . Зависимость между показаниями миниметра и разностью измеряемых диаметров вала определяется углом призмы и абсолютной величиной диаметра. При угле призмы 90° показания миниметра будут соответствовать 0,2 разности измеряемых диаметров. Точность контроля такими седлообразными приспособлениями достаточно высокая и определяется она главным образом точностью чувствительного прибора. Например, при использовании в качестве чувствительного прибора индикаторной головки с ценой деления 0,001 мм и ошибкой в пределах одного оборота, составляющей 0,005 мм, седлообразное приспособление обеспечивает точность контроля формы продольного сечения валов порядка 0,02 мм.

Качающаяся скоба (рис. 4.3) состоит из призмы 1, скобы 2 с противовесом 3 и индикаторной головки 4, которая может быть установлена на нужную величину в зависимости от диаметра контролируемого вала. Призма 1, для создания ее устойчивого положения на контролируемом валу, имеет три закаленные опоры 5. Призма соединена со скобкой при помощи оси 6, расположенной на подшипниках качения 7.

При относительных замерах диаметров валов измерительный прибор устанавливают в нужное сечение вала и покачиванием скобы с индикатором фиксируют максимальное показание индикатора, цена деления которого

0,001 мм. Точность контроля качающейся скобой мала. Опора скобы выполнена в виде призмы, при контроле бомбированных валов всегда может быть ошибка, величина которой определяется углом призмы и диаметральными размерами вала. Например, для вала с полной величиной бомбировки, равной 1,5 мм, и углом призмы в 160° эта ошибка измерения составит 13 мкм.

Качающуюся скобу можно применять только для контроля валов, допускаемая погрешность которых по геометрическим параметрам их формы составляет 0,02...0,03 мм.

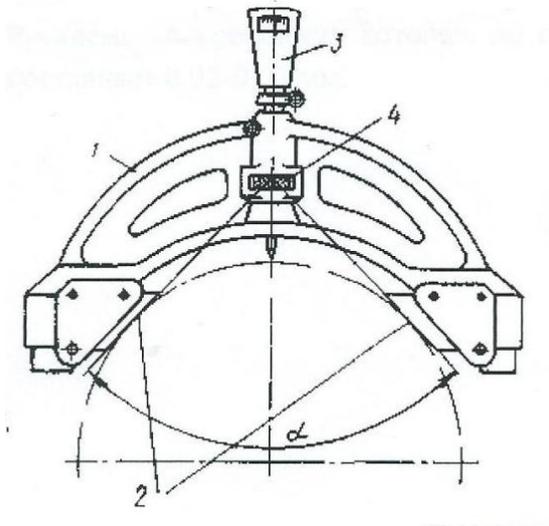


Рис. 4.2 – Седлообразное измерительное приспособление:
1 – корпус; 2 – опоры; 3 – миниметр;
4 – механизм настройки

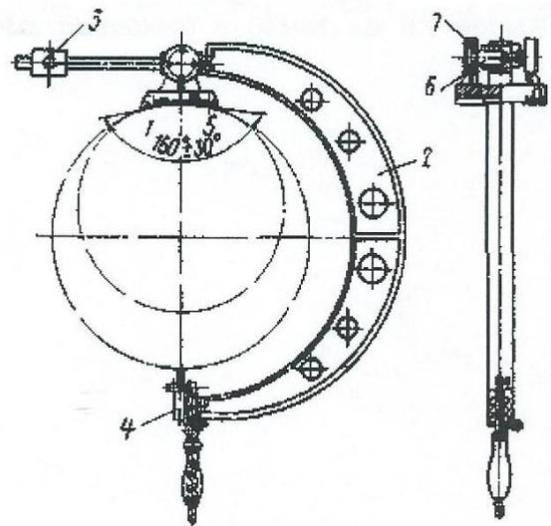


Рис. 4.3 – Качающаяся скоба:
1 – призма; 2 – скоба; 3 – противовес;
4 – индикаторная головка; 5 – опоры;
6 – ось; 7 – подшипник качения

Распространение при контроле валов в ЦБП получили *седлообразные индикаторные приборы*. Такой прибор (рис. 4.4) состоит из каретки 1 с четырьмя роликовыми опорами 2.

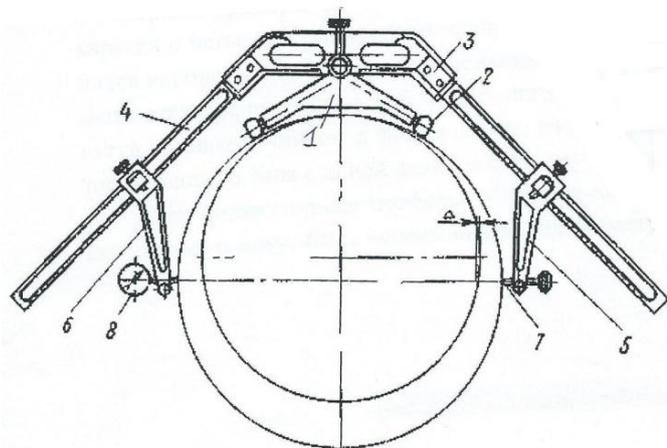


Рис. 4.4 – Индикаторный прибор:
1 – каретка; 2 – роликовые опоры; 3 – скоба; 4 – линейки; 5, 6 – кронштейны;
7 – регулируемая пятка; 8 - индикатор

К каретке при помощи оси крепится корпус скобы 3 с двумя линейками 4. По направляющим линейкам перемещаются кронштейны 5 и 6. На кронштейне 5 расположена регулируемая пятка 7 с наконечником в форме сферы, на кронштейне 6 закреплен индикатор 8 часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Для контроля огранки и других проявлений некруглости валов предлагается множество конструктивных решений накладных *кругломеров*. На рис. 4.5 показан кругломер фирмы *RONPILOT*. Изменяемые детали могут быть любой длины, веса и более метра в диаметре.

Кругломеры *RONPILOT* созданы по уникальной методике многоточечного базирования «V8» и интегрированы с развитым программным обеспечением. Этот мобильный прибор устанавливается на любом круглошлифовальном станке за несколько минут. Входящий в комплект *RONPILOT* портативный компьютер позволяет работать без внешнего питания.



Рис. 4.5 – Внешний вид кругломера *RONPILOT*



Рис. 4.6 – Применение системы измерений *RollCal*

В настоящее время на предприятиях ЦБП используется автоматическая система управления шлифованием *RollCal* (рис. 4.6).

Система управления процессом шлифования с числовым программным управлением специально разработана для круглошлифовальных станков. Система может быть установлена практически на любой круглошлифовальный станок. Она автоматизирует управление в главных осях станка, контролирует работу станка и представляет в режиме on-line информацию о процессе шлифования.

RollCal – простая и очень надежная базовая система с высокоточными измерительными способностями, может измерять форму вала, бомбировку и сложную бомбировку, некруглость, концентричность, прогиб, погрешность установки вала, погрешность направляющих станка. Отклонения направляющих станка не влияют на результат «плавающего» измерения.

Система помогает оператору лучше отшлифовать вал за более короткое время, дает всестороннюю информацию о геометрии вала, оптимизирует процесс шлифования, продлевая срок службы покрытия вала, выдает всесторонние, легко читаемые отчеты измерений, отражает истинную информацию о состоянии вала.

Точность системы: 0,001 мм, разрешение сенсора 0,0005 мм, точность повторных замеров: 0,003 мм, диапазон измеряемых диаметров валов: 100... 2200 мм.

Состояние поверхности вала легко оценить по круглограммам, но затруднительно идентифицировать причину (источник возникновения некруглости) и выявить, на каком этапе (режиме) шлифования возникла эта некруглость. Практически невозможно даже приблизительно определить частотный состав некруглости.

Это видно по круглограмме, представленной на рис. 4.7, полученной для вала каландра диаметром 597 мм с максимальным отклонением 8 мкм с наибольшим припуском 2 мкм (35°) и наибольшим провалом – 5 мкм (23°).

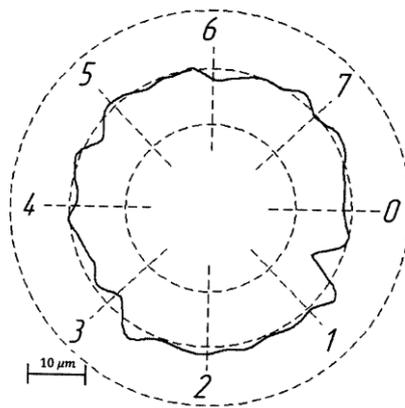


Рис. 4.7 – Образец круглограммы вала

Как уже отмечалось, качественные показатели шлифуемой поверхности валов определяются параметрами технического состояния системы СПИД, т.е. станка, инструмента (шлифовального круга), конструкции вала и способа его установки на станке, а также технологического процесса шлифования (скоростей вращения шлифовального круга и вала, продольной и поперечной подачи шлифовальной бабки), другими факторами.

Все выше названные параметры в конечном итоге проявляются в относительном перемещении шлифовального круга и шлифуемого вала. Следовательно, для диагностики системы СПИД станка необходимо определять спектральный состав относительного перемещения шлифовальной бабки и вала (виброскорости, виброперемещения или виброускорения). Путем сопоставления частотного состава источника вибрации и относительных параметров вибрации шлифовальной бабки и вала идентифицируется источник вибрации, а по функциональной связи параметров относительной вибрации шлифовальной бабки и параметра источника вибрации определяется нормативный параметр дефекта (источника вибрации).

Заметим, что предлагаемая идея не нова. В станкостроительном производстве давно используется метод определения динамических характеристик

станков путем динамического относительного нагружения суппорта и обрабатываемого изделия промежуточным конструктивным элементом [7,8].

Рассмотренный метод диагностики станка и шлифовального вала может быть реализован в следующем техническом решении. На корпусе шлифовальной бабки (на опоре шлифовального круга) закрепляется корпус виброщупа специальной конструкции. Измерительный наконечник щупа прикасается к поверхности вала. Сигнал от виброщупа, пропорциональный относительному перемещению шлифовальной бабки и вала, передается в измерительную систему устройства, где производится его спектральный анализ.

Если принять принцип действия и параметры измерительного датчика подобным серийно выпускаемым вибропреобразователям, то для обработки и анализа вибросигнала можно использовать серийно выпускаемые виброанализаторы.

Обоснование необходимости перешлифовки валов и требований к точности шлифования

При нормировании параметров технического состояния машиностроительной продукции решается системная задача баланса интересов и возможностей производителя и потребителя. В данном случае производитель – шлифовальный участок, потребитель – бумажное производство. Объект нормирования – точность шлифования валов и каландров. От потребителя требуется объективная оценка необходимости перешлифовки вала и требований к точности перешлифовки. От производителя – выполнение требований потребителя, а в случае невозможности выполнения, например завышенных требований, обоснование причин этой невозможности.

Следует отметить, что иногда заявленная потребителем точность шлифования валов конкретного оборудования, не соответствует той, которая необходима для качественной работы валов на БМ.

Простановка на чертежах вала необоснованно малых допусков, заведомо недостижимых в конкретных условиях и которые нередко даже невозможно измерить имеющимися контрольно-измерительными приборами, не только бесполезны, но и вредны. Шлифовальщики знают об этом и шлифуют так, как получится.

Назначать необоснованно большие отклонения также неразумно и даже вредно, так как это не стимулирует качество шлифования. Следовательно, необходимо для условий конкретных станков и конкретных валов БМ тщательно проанализировать все принципы проявления погрешностей при шлифовании валов и выявить влияние этих погрешностей на качество технологического процесса, например производство бумаги.

Обоснование необходимости перешлифовки валов определяет влияние дефектов поверхности на качество производимой продукции, на интенсивность износа и повреждений составных частей оборудования. Иначе – необходимо разработать нормативные параметры шлифования валов и нормативные параметры дефектов валов при их эксплуатации.

Оценка фактического состояния рабочей поверхности вала выявляется посредством его диагностики по специальному составу и интенсивности вибрации. Так, например, спектральный состав вибрации валов каландра дает информацию об источнике вибрации, а амплитудное ее значение – об интенсивности вибрации. Предельное значение вибрации определяется по ее влиянию на динамическую нагруженность валов и, особенно, на качественные показатели бумаги (маркировку).

Выявление круглограмм поверхности вала непосредственно на машине с применением переносного портативного кругломера полезно, например, для принятия решения по перешлифовке вала.

Выявление огранки вала непосредственно на машине возможно только с применением накладного измерительного устройства. Схема и общий вид одного из кругломеров показаны на рис. 4.8.

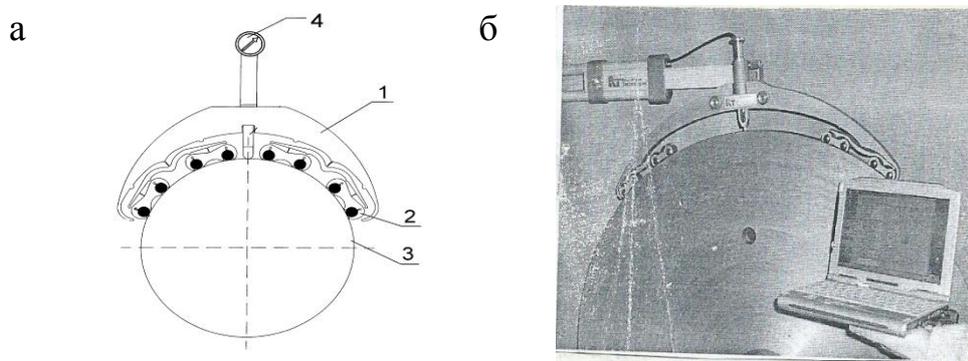


Рис. 4.8 – Схемы накладных кругломеров:
а) простейшего; б) с записью профиля окружности
на персональном компьютере: 1 – балка; 2 – шаровые поверхности;
3 – вал; 4 - микрометр

Это устройство представляет жесткую балку 1 (рис. 4.8,а), которая шаровыми поверхностями 2 опирается на поверхность вала 3. В середине балки устанавливается измерительное устройство, например микрометр 4.

Вал медленно проворачивается, показания прибора фиксируют огранку. Измерительное устройство может быть любым. На рис. 4.8,б измерительный кругломер с автоматической записью сигнала на компьютер.

4.2. Качество обрабатываемой поверхности изделий и контроль шероховатости

Качество поверхности изделий, подвергаемых механической обработке резанием (точение, фрезерование, шлифование и др.), предопределяется геометрическими характеристиками и физико-механическими свойствами поверхностного слоя. К геометрическим характеристикам поверхности относятся форма, волнистость, шероховатость, направление неровностей в продольном и поперечном сечениях (рис. 4.9), где буквами L и h обозначены соответственно длина и высота волны.

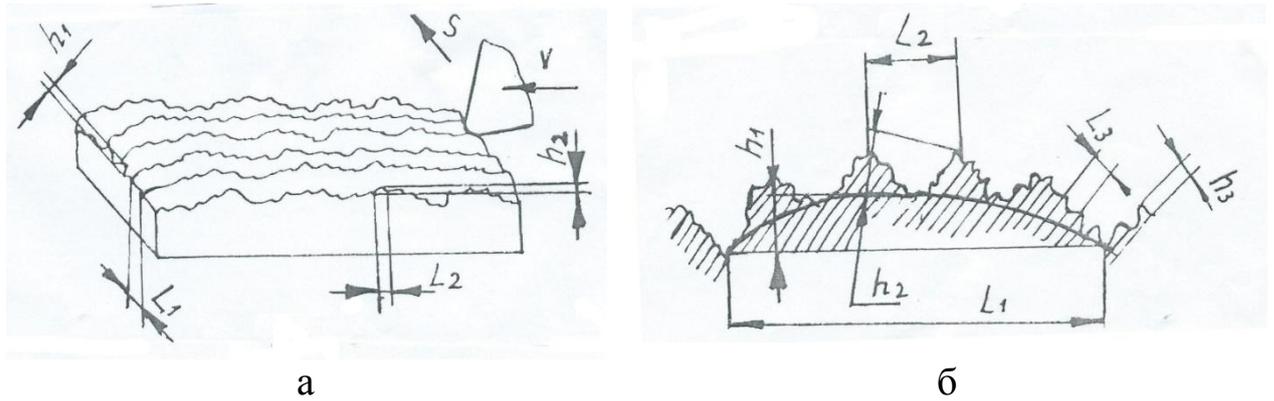


Рис. 4.9 – Схемы волнистости поверхности в направлениях:
а) продольном; б) поперечном

В зависимости от отношения длины и высоты волны различают: отклонение формы $L_3/h_3 < 50$; волнистость $L_1/h_1 > 1000$ и промежуточное значение $L_2/h_2 = 50 \dots 1000$.

К отклонениям формы тел вращения в поперечном сечении относятся овальность, огранка, некруглость, в продольном сечении – конусность, вогнутость (седлообразность), бочкообразность. При оценке шероховатости высота неровностей поверхности изменяется от долей микрометра до 1 мм и более.

Шероховатость поверхности образуется по самой природе дискретного атомно-молекулярного и кристаллического строения твердого тела с определенной формой и взаимным расположением атомов и кристаллов. Кроме того, после механической обработки резанием на поверхности всегда остаются следы режущих кромок инструментов (зёрен шлифовальных кругов) в виде выступов и впадин различной формы и размеров. Поперечная шероховатость образуется в направлении главного рабочего движения, а продольная – в направлении движения подачи.

На шероховатость поверхности влияют также упругая и пластичная деформация в поверхностном слое, режимы резания, жесткость технологической системы, СПИД, трение инструмента по обрабатываемой поверхности и вид обрабатываемого материала. Использование СОЖ позволяет улучшить шероховатость поверхности при обработке.

При шлифовании наряду с другими факторами на шероховатость влияет зернистость абразивного круга, подача и глубина шлифования (t) особенно в диапазоне $t = 0,005 \dots 0,02$ мм.

Шероховатость оценивается следующими параметрами: средним арифметическим отклонением профиля R_a , высотой неровностей профиля по десяти точкам R_z , наибольшей высотой неровностей R_{max} , средним шагом неровностей S_m по вершинам и относительной опорной длиной профиля t_p (где p – значение уровня сечения профиля).

Чаще для оценки шероховатости выбирают в зависимости от базовой длины l , которая принимается для выделения неровностей и для количественного определения параметров шероховатости, параметры R_a или R_z , где R_a – среднее арифметическое абсолютных значений отклонения профиля в пределах базовой длины,

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \quad (4.1)$$

R_z – сумма средних арифметических отклонений точек пяти наибольших минимумов (H_{imin}) и пяти наибольших максимумов (H_{imax}) профиля в пределах базовой длины

$$R_z = \frac{1}{5} \cdot (\sum_{i=1}^5 [H_{imax}] - \sum_{i=1}^5 [H_{imin}]). \quad (4.2)$$

В некоторых случаях обеспечение требуемой шероховатости на обрабатываемой поверхности должно сочетаться с определенной направленностью неровностей, имеющей условное обозначение. Например, параллельное – $\sqrt{\equiv}$, перпендикулярное – $\sqrt{\perp}$, перекрещивающееся – $\sqrt{\times}$ и т.д. В зависимости от заданной направленности неровностей с учетом величины шероховатости выбирают конкретный метод финишной обработки поверхности.

Направление неровностей поверхности задаёт конструктор для обеспечения эксплуатационных условий работы сборочных единиц. Технолог из всего многообразия имеющихся технологических методов обработки поверхности изделия вынужден выбирать только тот, при котором достигается заданная шероховатость и направленность неровностей. Например, поверхность в отверстии цилиндра требует обработки хонингованием для создания перекрещивающихся направлений неровностей.

Количественная оценка шероховатости поверхности состоит в определении высоты микронеровностей по R_a или R_z при помощи приборов. Важную роль при контроле шероховатости имеет оценка опорной длины профиля. За опорную длину профиля η_p , принята сумма длин отрезков в пределах базовой длины l , отсекаемых на заданном уровне в материале выступов профиля b_i линии, эквидистантной средней линии профиля m (см. рис. 4.10,а). Опорная длина профиля (см. рис. 4.10,б) предопределяет износостойкость поверхности n , соответственно, работоспособность детали.

В процессе эксплуатации детали можно установить связь между шероховатостью её поверхности на финишной операции изготовления и шероховатостью, образующейся в процессе её эксплуатации. На этой основе можно установить величину и форму технологической шероховатости поверхности с максимальным приближением её к эксплуатационной.

По опорной кривой профиля поверхности можно судить об износостойкости последнего, который определяется в основном верхней частью её профиля.

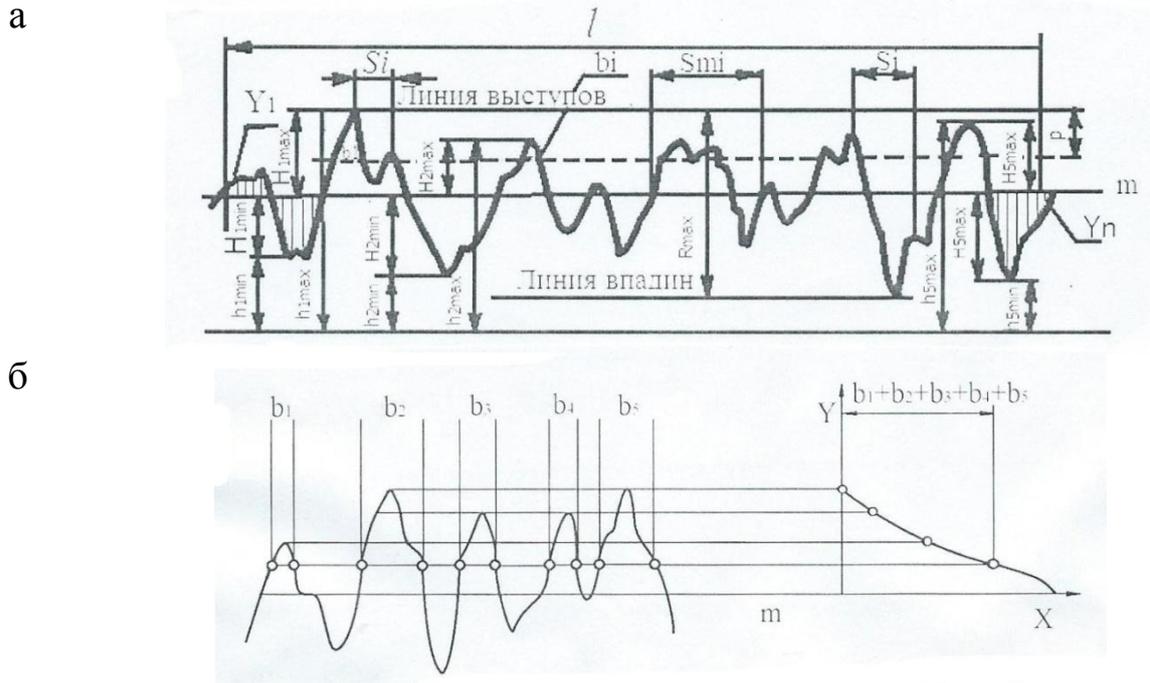


Рис. 4.10 – Профиль поверхности (а) и его опорная длина (б)

В начальный период работы детали происходит интенсивное смятие и разрушение неровностей профиля поверхности по вершинам, в результате чего опорная длина профиля увеличивается, и износостойкость поверхности повышается.

Обозначение шероховатостей на чертежах

Обозначения шероховатости поверхности на чертежах деталей многократно изменялось. На старых чертежах деталей шероховатости поверхности обозначались знаком ∇ , рядом с которым ставился цифрой класс чистоты обработки $\nabla 3, \nabla 5, \dots \nabla 14$. Каждому классу соответствовала определенная величина в мкм по параметрам R_a или R_z . Чем больше номер класса чистоты обработки, тем чище поверхность детали.

Затем вместо классов чистоты обработки в соответствии с ГОСТ 2789-73 были введены обозначения шероховатости поверхности « $\sqrt{\quad}$ » с указанием параметров R_a, R_z (рис. 4.11), причем символ R_a не указывался, а ставилась только его численная величина в мкм.

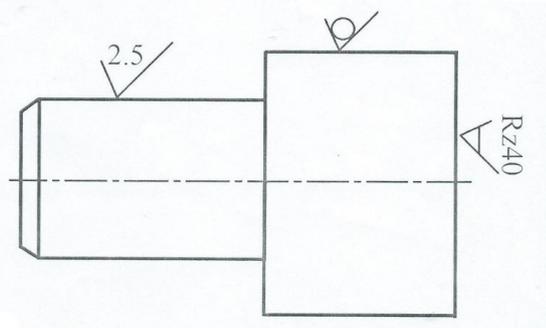


Рис. 4.11 – Обозначение шероховатости

Если на поверхности детали ставился знак «√», это означало, что вид обработки не устанавливался конструктором. Знак √ – обозначал, что поверхность образована удалением слоя материала (точением, шлифованием и т.д.); знак √ – поверхность образована без удаления слоя материала и остается в форме поставки заготовки, полученной литьем и т.д.

В соответствии с существующим стандартом шероховатость поверхности обозначают, как показано на рис. 4.12.

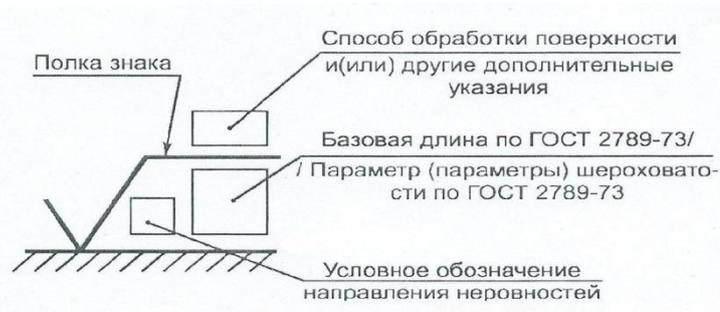


Рис. 4.12 – Обозначение шероховатости

Упрощенное обозначение шероховатости поверхности на чертежах деталей показано на рис. 4.13.

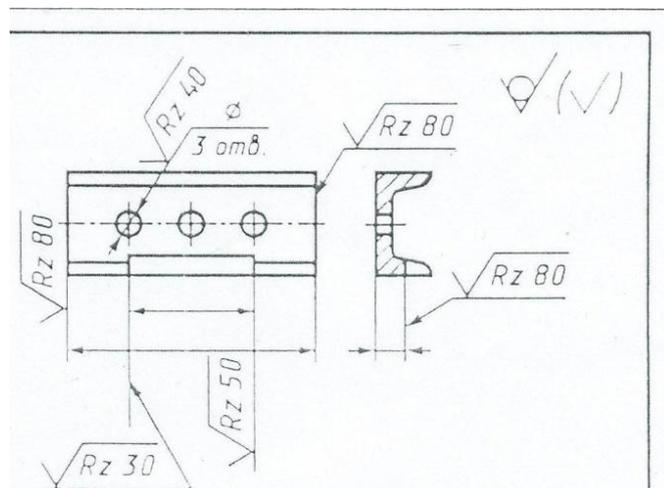


Рис. 4.13 – Обозначение шероховатости поверхности на чертежах деталей

В правом верхнем углу формата чертежа ставится обозначение шероховатости, относящееся к тем поверхностям деталей, на чертеже которой шероховатость не обозначена √ за исключением тех поверхностей, где шероховатость обозначена, что показывает знак (√).

Эксплуатационные свойства деталей находятся в прямой связи с геометрическими характеристиками поверхности и свойствами поверхностного слоя (наклёп, разупрочнение, остаточные напряжения, повышение микротвердости). Износ поверхности в значительной степени зависит от высоты и

формы неровностей. Износоустойчивость детали определяется в основном верхней частью профиля шероховатости.

В начальный период работы сопрягаемых деталей, перемещающихся друг относительно друга, происходит приработка их поверхностей. Шероховатость поверхности, полученная при механической обработке, деформируется и разрушается, образуется новая (рабочая) шероховатость, отличающаяся от технологической по размерам и форме.

Окончание приработки характеризуется наступлением постоянства скорости изнашивания, а установившаяся при этом шероховатость является оптимальной в течение дальнейшего периода работы. Условие трения и изнашивания определяют характер разрушения шероховатости поверхности. Исследования зависимости износа от шероховатости поверхности при очень больших удельных давлениях и без смазки показали, что износ мало зависит от шероховатости, имеется даже тенденция к увеличению износа гладких поверхностей.

При более облегченных условиях работы детали износ все более начинает зависеть от шероховатости, увеличивается при грубо обработанных поверхностях. В различных условиях работы деталей с изменением скорости, давления и др., шероховатость ее поверхности изменяется по-разному (рис. 4.14).

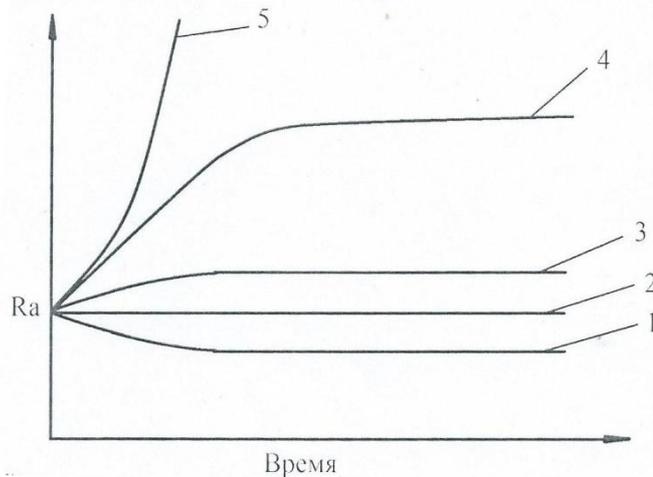


Рис 4.14 – Схема изменения шероховатости в период приработки в различных условиях работы деталей:

- 1 – начальный период работы (приработка); 2 – абразивный износ;
- 3 – выдавливание смазки, абразивный износ; 4 – возрастание нагрузки сопряженных деталей; 5 – катастрофическое изнашивание

В начальный период работы (приработки) проходит интенсивное сглаживание выступов неровностей (кривая 1, при абразивном износе кривая 2). При повышении давления наблюдается выдавливание смазки и в процессе приработки шероховатость увеличивается за счет абразивного износа (кривая 3). Создание более тяжелых условий работы сопряженных деталей приводит к резкому возрастанию шероховатости поверхностей (кривая 4). В слу-

чаях заедания и задиров происходит разрушение шероховатости поверхности и катастрофическое изнашивание (кривая 5).

Погрешности формы и волнистость поверхности увеличивают износ деталей. Направление неровностей и шероховатостей по-разному влияют на износ при различных видах трения.

При сухом трении износ увеличивается с увеличением шероховатости, особенно если направление неровностей перпендикулярно направлению рабочего движения.

При полужидкостном трении и малой шероховатости поверхности наибольший износ наблюдается при параллельности направления рабочего движения. С увеличением шероховатости износ увеличивается при перпендикулярности направления неровностей направлению рабочего движения.

При жидкостном трении отсутствует непосредственный контакт поверхностей, однако при большой высоте неровностей поверхности износ увеличивается при перпендикулярности направлению рабочего движения.

Следовательно, особенно важно регламентировать направление неровностей при сухом и полужидкостном трении. Необходимо выбирать такой метод обработки, который даёт наиболее благоприятное с позиции износа направление неровностей. Поэтому отделочные операции для трущихся поверхностей следует назначать исходя из условий эксплуатации, а не только из удобств обработки.

Относительное направление неровностей несопряженных поверхностей влияет на коэффициент трения. Поверхности, у которых направления неровностей совпадают, имеют наибольший коэффициент трения. Наименьший коэффициент трения достигается при расположении направления неровностей на сопряженных поверхностях под углом или произвольно, полученных притиркой, хонингованием, суперфинишированием и другими методами обработки.

На рабочих поверхностях различных валов (прессовые, каландровые и др.) для уменьшения износа создают кольцевые направления неровностей, совпадающие с направлением вращательного движения этих сборочных единиц, методом наружного круглого шлифования с продольной подачей на круглошлифовальных станках.

Так, например, требования к обеспечению качественных показателей поверхности валов БМ, следующие.

Гранитные валы длиной от 4 м до 10 м и более, диаметрами от 300 мм до 1000 мм после шлифования должны иметь шероховатость поверхности гранитной рубашки в пределах R_a 1 мкм, отклонения от цилиндричности – 0,01 мм на 1 м длины, отклонения от круглости – 0,02 мм, биение наружной гранитной части вала относительно цапф – не более 0,01 мм.

В наружном поверхностном слое гранитной рубашки создаются напряжения сжатия при сборке, что повышает его прочность и износоустойчивость.

У каландровых валов с аналогичными размерами, изготовленных из чугуна с отбеленным слоем до 45 мм, поверхностная твердость HRC 47 после

термообработки, отклонения от цилиндричности – не более 0,003 мм на 1 м длины, отклонения от круглости – не более 0,005 мм, шероховатость поверхности – R_a 0,04 мкм, после шлифования с выхаживанием.

У отсасывающих валов диаметром до 1500 мм с перфорированной рубашкой из бронзы или нержавеющей стали с гуммированным слоем резины толщиной 25 мм, после шлифования шероховатость поверхности – R_a 1 мкм и жесткие допуски на геометрическую форму.

Следует отметить, что приведенные выше качественные параметры поверхности этих сборочных единиц достигаются с большими затратами рабочего времени при высокой культуре производства как при изготовлении, так и при ремонте, что, в свою очередь, обеспечивает эксплуатационно-технические условия работы таких сложных технических систем как бумагоделательные машины.

Контроль шероховатости поверхности деталей

Для количественной оценки шероховатости используют профилометры, оптические приборы, лазерные устройства, а также образцы в виде металлических пластин, обработанных с различной шероховатостью. С помощью их приближенно, методом сравнения можно сделать качественную оценку и визуально определить величину шероховатости на поверхности изготавливаемой детали, особенно на финишных операциях.

Вопрос достижения высокого качества рабочей поверхности валов и цилиндров имеет большое значение и сказывается на их долговечности, качестве бумаги и т.д. Если учесть габаритные размеры валов и особенно цилиндров, изготавливаемых в бумажной промышленности, и требования к высокому качеству их поверхности, то наиболее оптимальным прибором для измерения шероховатости поверхности в производственных условиях являются профилометры – высокочувствительные измерительные приборы для определения шероховатости поверхностей металлических и неметаллических изделий. Шероховатость поверхности измеряется ощупыванием ее иглой и отсчетом результатов измерения по шкале показывающего прибора, градуированного по параметру R_a (среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии в мкм).

Профилометр модели 240 контролирует шероховатость поверхностей с 6 по 12 класс. Погрешность его показаний не превышает $\pm 16\%$. Измерительное усилие ощупываемой иглы не более 0,1 Н. Радиус закругления иглы – 10 мкм. Длина трассы интегрирования – 3,2 мм.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ И ОТДЕЛОЧНЫХ МАШИН В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В разделе приводятся краткие сведения о технологических процессах шлифования валов различного назначения и конструкций: каландровых, прессовых, сукно-, сетко-, бумаговедущих, сушильных цилиндров и других валов с шлифуемой поверхностью из различных материалов: чугунных, в том числе с отбеленным слоем, бронзовых, стальных, гранитных, с полимерным покрытием. Обосновываются режимы шлифования валов и типы шлифовальных кругов.

Валы различного назначения подвергаются периодической перешлифовке в ремонтных цехах целлюлозно-бумажных предприятий. Эта необходимость обусловлена тем, что в процессе эксплуатации рабочие поверхности цилиндрических и бомбированных валов изнашиваются с нарушением геометрической формы в продольном и поперечном сечениях. Как показывает практика, межремонтный ресурс работы валов зависит не только от условий эксплуатации оборудования, но и от качества шлифования, которое сопровождается влиянием множества различных факторов. К ним можно отнести: состояние шлифовального станка, включая степень износа и жесткость его узлов, использование шлифовального круга с соответствующей характеристикой, режимы резания при шлифовании, своевременность правки круга, состав СОЖ, уровень квалификации шлифовщика и др.

Точность геометрической формы поперечного сечения должна быть обеспечена с допуском несколько сотых мм, в продольном сечении – несколько мкм с шероховатостью поверхности $R_a \approx 1$ мкм, учитывая, что габаритные размеры валов громадные: длина до 10 м, диаметр до 1500 мм.

Разнообразие различных материалов шлифуемых валов обуславливает принципиальные различия процессов их шлифования.

В разделе рассматриваются особенности технологического процесса шлифования валов и цилиндров бумагоделательных и отделочных машин в условиях ремонтного производства целлюлозно-бумажных предприятий.

5.1. Кинематика и геометрия шлифования валов

При перешлифовке с поверхности валов удаляется слой 0,2...0,5 мм на диаметр, машинное время на перешлифовку достигает десятки часов (нескольких рабочих смен), что усложняет механизм шлифовального процесса.

Несмотря на малый припуск, удаляемый при шлифовании, сама операция выполняется в несколько этапов: черновое, получистовое, чистовое шлифование, а иногда ещё и полирование. Каждый этап проводится за несколько полных проходов (рабочий ход в одну и в другую сторону) в продольном направлении.

На вальцешлифовальных станках в качестве инструмента используют абразивные круги плоские прямого профиля, скорость вращения которых достигает 20...50 м/сек при диаметре шлифовального круга 500 мм и выше.

Скорость круга рассчитывается по формуле

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot d_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60}, \text{ м/с}, \quad (5.1)$$

где $d_{кр}$ – диаметр круга в мм;

$n_{кр}$ – частота вращения круга в об/мин.

Скорость вращения вала, чаще всего имеющего попутное вращение с кругом, или иначе скорость круговой подачи можно подсчитать по формуле

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot d_{в} \cdot n_{в}}{1000}, \text{ м/мин}, \quad (5.2)$$

где $d_{в}$ – диаметр круга в мм;

$n_{в}$ – частота вращения круга в об/мин.

Скорость вала в десятки раз меньше скорости круга и составляет 5...50 м/мин. Продольное направление движения относительно вращающегося вала совершает круг вместе с шлифовальной бабкой. Величина продольной подачи выражается в долях ширины круга (0,2...0,8) на оборот шлифуемого вала, а иногда в м/мин. Для удаления определенного слоя материала с обрабатываемой поверхности назначают глубину резания (глубину шлифования), значения которой может быть от 0,001 мм до нескольких сотых долей мм на один проход, в зависимости от этапа шлифования.

Процесс снятия стружки при шлифовании происходит при одновременном врезании в шлифуемую поверхность вала нескольких зерен, находящихся в месте контакта. Поскольку зерна круга расположены на разной высоте, сначала в поверхность вала врезаются кромки выступающих зерен и затем – лежащие на меньшем радиусе круга. Форма зерна в сечении режущей части имеет угол, величина которого изменяется от 80 до 110°.

В основном, зерна круга работают с тупым углом резания $\delta \approx 135^\circ$. Врезаясь в шлифуемый материал, сначала сдавливают его и, если сила сжатия превышает силу сопротивления материала, происходит отделение стружки с существенной ее деформацией. Много зерен, скользя по поверхности материала вала, уплотняют эту поверхность, и последующим зёрнам приходится совершать большую работу для снятия стружки. Каждое зерно срезает при шлифовании стружку переменной толщины: малой при врезании и выходе из контакта и большой в середине процесса врезания при длине от сотых долей до нескольких мкм.

В результате процесс образования стружки сопровождается упругими и пластическими деформациями снимаемого материала и поверхностного слоя с изменением формы и свойств. Так как шлифование ведется при больших скоростях резания, процесс снятия стружки происходит при большом удельном давлении. Трение зерен об обрабатываемую поверхность сопровождается огромным тепловыделением. Температура в зоне резания при шлифовании гораздо выше, чем при работе лезвийным инструментом (резец, сверло, фре-

за) и может достигать 700...1000°. Следовательно, вероятность получения прижога на обработанной поверхности вала очень велика, что может привести к браку со значительными экономическими потерями.

Следует отметить, что абразивные зерна в объёме и на поверхности круга имеют случайный характер расположения. Всей ширины круга они не заполняют, находятся на разной высоте. Зерна, лежащие на одной производящей круга, часто не попадают в углубления, проделанные предыдущими зёрнами, и снимают стружку в виде сегмента с высокой степенью деформации. Таким образом, зерна работают по методу прочесывания, а не полного съёма металла по всей ширине круга и подтверждается это тем, что при продольном шлифовании на вторичных проходах круг продолжает снимать стружку (искрит) при неизменной поперечной подаче. Этот период шлифования называют выхаживанием, выполняемым в зависимости от требований к качеству поверхности вала по геометрии продольного и поперечного сечения, точности размеров и шероховатости.

5.2. Засаливание и самозатачивание шлифовальных кругов

Абразивные зерна круга, проработавшие некоторое время под действием сил резания, затупляются, обламываются или вырываются, если сила удержания их связкой недостаточна. При скалывании и вырывании зерен освобождается дорога другим зёрнам, вступающим в процесс резания своими острыми кромками. Как упоминалось ранее, такой процесс называется самозатачиванием шлифовального круга.

В случаях, когда зёрна находящиеся в работе затупляются, но не скалываются и не вырываются из связки, увеличивается трение их о шлифуемую поверхность. Это приводит к повышению температуры в зоне резания, размягчению и оплавлению стружки, которая вместе с отколовшейся связкой забивают поры, промежутки между зёрнами. Это явление называется засаливанием. Последующее шлифование может вызвать на поверхности вала задир и прижоги, а также привести к вибрации всей технологической системы: «станок – опорные приспособления – вал – шлифовальный круг».

При первых признаках засаливания круг должен быть подвергнут правке. Правку производят 1-2 раза в смену. Инструментами для правки служат: алмазные карандаши, круги и бруски из карбида кремния, твердосплавные диски, стальные и чугунные звездочки и ролики.

Поскольку температура шлифования довольно велика и даже приводит к сгоранию части образующейся стружки, то в зону контакта круга с заготовкой подают СОЖ (смазывающе-охлаждающую жидкость). Она позволяет повысить стойкость круга, отвести тепло, выделяемое при резании и иметь эффект смягчающего смазывания шлифуемой поверхности с улучшением шероховатости.

Основной состав СОЖ – это вода с содой. Для повышения качества шлифовки в СОЖ добавляют глицерин и другие составы, в зависимости от материала поверхностных слоев валов. При работе станка СОЖ используют

непрерывно в системе замкнутого цикла, с требуемой необходимостью очистки от стружки и пыли с помощью магнитных сепараторов и фильтров, а также периодической замены.

Шлифовальные круги перед установкой на станок необходимо балансировать. Неуравновешенность круга приводит к снижению качества и точности шлифованной поверхности, увеличивает износ самого круга, приводит к повышенной вибрации и интенсивному износу подшипниковых узлов станка.

5.3. Особенности строения шлифовальных кругов

Шлифовальные круги состоят из твердых режущих зерен и крепящей их в теле круга связки. Абразивные зерна изготавливают из различных материалов естественного и искусственного происхождения: наждак (65% Al_2O_3), корунд (90% Al_2O_3), алмаз, карбид бора, карбид кремния (SiC) черный и зеленый, электрокорунд – кристаллическая окись алюминия (88-99% Al_2O_3). Самым твердым считается алмаз, но по прочности он уступает карбиду кремния, а тот, в свою очередь, электрокорунду, имеющему меньшую твердость.

Прочность абразивных зерен увеличивается с уменьшением размеров зерен. Прочность зерен карбида кремния зеленого имеют большую прочность, чем зерна карбида кремния черного, что позволяет работать с большой нагрузкой.

Для абразивных зерен существует понятие зернистость, то есть разделение по размерам в мкм на группы: шлифзерно, шлифпорошки, микропорошки. Зерна в кругах цементируются связкой из множества их видов можно выделить три: керамическая – на основе каолина, вулканитовая – на основе каучука, бакелитовая – на основе смолы от перегонки нефти.

Под твердостью шлифовальных кругов понимается сопротивляемость вырыванию режущих зерен во время работы. Мягкий круг тот, у которого зерна легко вырываются из связки, а твердый тот, у которого зерна крепко удерживаются связкой.

Шлифовальные круги различают по структуре, в которой учитываются три объёма: объем зерен – V_z , объем связки – V_c и объем пор – V_p , что составляет общий объем абразивного инструмента $V_{и}$:

$$V_{и} = V_z + V_c + V_p.$$

В маркировке круга принято указывать (согласно ГОСТ Р52587-2006) размеры круга, допустимую скорость его вращения, обозначение материала зерен, зернистость, твердость, вид связки и номер структуры.

Например: 600*80*30554CF46K6B/300, где 54С – карбид кремния черный, F46 – размер зерна (400...500мкм), К – твердость (средне-мягкий), 6 – структура средняя, В – бакелитовая связка.

5.4. Шлифование каландровых валов

Каландровые валы изготавливаются из чугуна с отбеленным поверхностным слоем 40...50 мм, обладающим высокой износоустойчивостью. Нормативный ресурс их эксплуатации между перешлифовками составляет 6 месяцев. Но в зависимости от условий работы каландров он может изменяться в большую или меньшую сторону. Необходимость шлифования обуславливается наличием погрешностей геометрической формы в продольном и поперечном направлении, снижающих качество бумаги. Эти погрешности интенсивно передаются с одного вала на другие, и поэтому на перешлифовку поступают все валы каландра с одновременной их заменой на БМ. Припуск на шлифование составляет 0,3...0,5 мм на диаметр.

Шлифование ведется в два этапа: черновое и чистовое с выхаживанием. Производственная необходимость исключает ряд операций, таких как полустовое шлифование и полирование. Общее количество проходов составляет 50...70, из них 60 % на черновое, 25 % на чистовое шлифование и остальное на выхаживание с затратами рабочего времени 30-40 часов. Допуск на размер составляет 0,02 мм, шероховатость поверхности – 0,32 мкм. Глубина резания варьируется в зависимости от технического состояния станка, припуска на обработку, марки круга, режима шлифования и качественного состояния поверхности вала.

При черновом шлифовании ее величина 0,004...0,01 мм, при чистовом – 0,001...0,003 мм. Глубину резания устанавливают поперечной подачей шлифовальной бабки в радиальном направлении к валу (рис. 5.1).

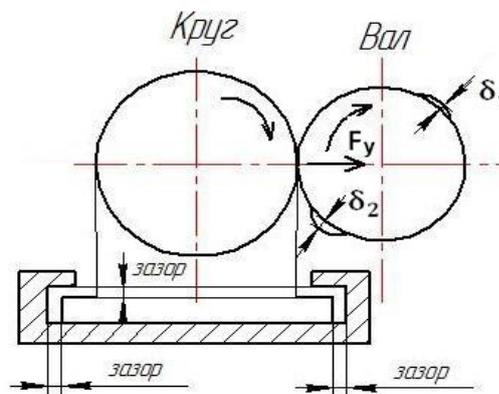


Рис. 5.1 – Схема выборки зазоров

В случае назначения большой глубины резания с целью форсирования шлифования, удаления поверхностного слоя вала с явными погрешностями геометрической формы в поперечном сечении, в том числе с огранкой, эффект может быть прямо противоположный, особенно при износе продольных направляющих станины и каретки шлифовальной бабки. При снятии большого слоя металла радиальная составляющая силы резания F_y приводит к смещению каретки с односторонней выборкой зазоров в радиальном направлении.

При толщине срезаемого слоя δ_2 , F_y увеличивается и из-за упругих деформаций системы СПИД отжатие каретки с кругом от поверхности шлифования также увеличивается, а срезаемый слой уменьшается. При повторном проходе с назначенной глубиной резания такой же величины, как и при первом, геометрическая погрешность в точке δ_2 изменится в меньшей степени, действительная толщина срезаемого слоя будет гораздо больше. Сила резания в этом месте и смещение круга от шлифуемой поверхности вала существенно увеличится, что приведет к сохранению погрешностей формы.

Вместе с тем, наличие горизонтальных зазоров в соединениях станка при увеличенных нагрузках вызывает «подпрыгивание» каретки с шлифовальной бабкой, сопровождая процесс шлифования дроблением и вибрацией. Как следствие, на поверхности вала появляются новые погрешности геометрической формы, а также неравномерность степени и глубины наклепа. В связи с этим глубину резания при шлифовании рекомендуется понижать.

На многих станках поперечная подача круга для задания глубины резания оценивается величиной нагрузки по амперметру. На разных этапах шлифования ее задают в пределах 40...20 А с учетом нагрузки холостого вращения круга. Уровень нагрузки регулируют вручную или автоматически при наличии на станках системы автоматического контроля управления, в целях компенсации износа круга и обеспечения равномерности толщины срезаемого слоя.

Продольную подачу каретки шлифовального круга назначают в долях ширины круга на оборот вала (0,2...0,6), или в м/мин. Скорость вращения круга назначают в зависимости от марки круга, вида шлифования и технического состояния станка. Как показывает практика шлифования валов на отечественных и зарубежных предприятиях ЦБП, значение скорости может быть от 16 до 40 м/с.

Скорость вращения вала также зависит от многих факторов и устанавливается от 8 до 40 м/мин.

Важной задачей в обеспечении качества и производительности шлифования каландровых валов является выбор круга. Традиционно используют круги из карбида кремния черного и зеленого на бакелитовой связке, по твердости – мягкие, среднемягкие, средние, среднетвёрдые, зернистостью 400...300 мкм и менее.

В последние годы чаще стали применять алмазные круги АС4, АС6, особенно для черного шлифования, и некоторые марки кругов типа TYROLIT для чистового шлифования. Хорошие результаты по качеству шлифования достигаются при скорости круга 500 об/мин и скорости вала 8 об/мин.

В ремонтных цехах ЦБП используют круги для черного шлифования марок (согласно отечественному стандарту 802006) 54С40-НМ365Б, а для чистового – 54С40-НСТ16Б, включающие карбид кремния черный 54С с зернистостью 40, средней структуры 6, на бакелитовой связке Б, с различной твердостью, где МЗ – мягкие, а СТ1 – среднетвердые.

Однако для повышения эффективности шлифования требуется оптимизировать марки кругов. Для сравнения – иностранные фирмы применяют круги на основе карбида кремния зеленого для черного шлифования и карбида кремния черного для чистового, с отличием по твердости (С и М) и структуре. Оптимизация процесса шлифования каландровых валов на каждом предприятии ЦБП должна производиться с учетом производственных условий экспериментальным подбором марок кругов и режимов обработки.

При работе абразивными инструментами происходит их износ с затуплением зерен и заполнением пор между зернами стружкой. Поэтому даже при правильном подборе круга и наличии явления «самозатачивания» необходимо производить периодическую правку круга для обеспечения режущих свойств и придания ему правильной формы. При правке с рабочей поверхности круга удаляют изношенный слой с помощью алмазных карандашей, кругов из карбида кремния и металлических шарошек.

Для достижения высокого качества шлифования валов большое значение имеет СОЖ на основе воды с содой при добавлении триэтаноламина – 1 %, нитрита Na – 0,25 %, глицерина – 0,25 %, и масла турбинного – 1 %. Предприятия закупают СОЖ специального состава, что является вполне оправданным в практике шлифования. СОЖ необходимо регулярно очищать от абразивной пыли и грязи и производить замену через 5-6 рабочих дней.

На основании изложенного выше следует, что процессу шлифования каландровых валов уделяется особое внимание, поскольку качественное состояние рабочей поверхности, обеспечиваемое при перешлифовках, во многом определяет качественные показатели бумаги на финишной стадии изготовления на БМ. Качество шлифования определяют многократными измерениями в течение всего цикла шлифования специальными приборами, изложенными в разделе 4.

5.5. Шлифование сушильных цилиндров

Сушильные цилиндры изготавливаются преимущественно из серого чугуна марки СЧ-20. Цилиндры имеют стандартный диаметр 1500 мм и толщину стенки 20...35 мм.

Черновое шлифование сушильных цилиндров ведется кругами из карбида черного (КЧ) зернистостью 500...800 мкм средней твердости или средней мягкости на керамической связи при глубине резания 0,004...0,04 мм, продольной подаче 20...40 мм/об, и окружной скорости вращения цилиндра 45 м/мин. На чистовое шлифование оставляется припуск 0,1...0,3 мм на сторону. Чистовое шлифование осуществляется кругами марки КЧ-40-К при глубине резания 0,003 мм, подаче 20 мм/об и окружной скорости вращения цилиндра 20 м/мин.

Для получения высокой чистоты поверхности производится шлифование, которое выполняется графитизированными кругами ЕГМ28Б с глубиной резания 0,002 мм, подачей 10 мм/об и окружной скоростью вращения цилиндра 10...20 м/мин. На некоторых предприятиях окончательное шлифование

ведется мелкозернистыми кругами зернистостью 250...400 мкм с последующей отделкой поверхности цилиндра жестким сукном с мелким абразивным порошком в масле. Графитизированными кругами можно добиться высокой чистоты поверхности, соответствующей Ra 0,06. Шлифование должно сопровождаться обильным охлаждением эмульсией или содовым раствором.

На некоторых предприятиях сушильные цилиндры шлифуют при заполненной примерно на 1/3 холодной водой внутренней полости, что вызвано стремлением исключить возможность появления вибрации и нагрева цилиндра. Продолжительность шлифования цилиндров диаметром 1500 мм, длиной 7,2 м составляет 20...30 часов.

Шлифование сушильных цилиндров может осуществляться непосредственно на БМ при помощи переносных шлифовальных установок. В частности, фирма Мосинтраст (г. Москва) осуществляет шлифование сушильных цилиндров переносной установкой, закрепленной на балке.

Дальнейшее уточнение геометрической формы поверхности цилиндра экономически целесообразно осуществлять получистовым шлифованием, которое желательнее производить кругом иной зернистости, мягкости и структуры, чем при черновом шлифовании.

Общим правилом для назначения режимов получистового шлифования цилиндров, по сравнению с чистовым, является уменьшение удельного радиального усилия резания, величины продольной подачи и окружной скорости вращения шлифовального круга при увеличении окружной скорости цилиндра.

Чистовое и отделочное шлифование проводится для достижения шероховатости поверхности Ra 0,05 мкм. На этой стадии шлифования снимается минимальный слой металла при удельном радиальном усилии резания 1 - 4 кН/м. После окончания процесса чистового шлифования обязательно проверяют форму цилиндра.

При шлифовании сушильных цилиндров рекомендуется применять в качестве СОЖ 3...5 % раствор соды в воде, который наряду с охлаждающим действием создает определенную антикоррозионную защиту. Количество жидкости, подаваемое в зону резания, должно составлять 7...10 л/мин на 10 мм высоты шлифовального круга. В случае применения кругов на бакелитовой связке в качестве СОЖ содовый раствор применять не следует, так как он способствует разрушению связки. В этом случае можно рекомендовать 1,5 % эмульсию из эмульсола.

5.6. Шлифование валов гранитных и со стонитовым покрытием

Гранитные валы представляют собой гранитный цилиндр диаметром 600...1100 мм, закрепленный на сквозном стальном сердечнике, концы которого образуют цапфы. Гранитные валы устанавливаются в качестве верхних валов на обычных и отсасывающих прессах бумагоделательных машин. Применение гранита вызывается технологическими требованиями изготов-

ления бумаги, так как благодаря пористости и гладкости его поверхности обеспечивается легкое отделение бумажного полотна от вала.

Черновое шлифование гранитных валов обычно ведется кругами марки КЧ40СМ2К с целью полного устранения следов износа. На этой стадии шлифование ведется с окружной скоростью вала 25...30 м/мин, скоростью резания 25...23 м/с, глубиной резания 0,05...0,08 мм и продольной подачей $s = 0,6$ мм/об.

В процессе чистового шлифования должен быть обеспечен 8 класс чистоты поверхности и отклонение от правильной геометрической формы не более, чем 0,02 мм на всю длину вала. Шлифование ведется кругами из зеленого карбида кремния марок К325СМ2К и К325СМ1К при следующих режимах: $V=18...20$ м/мин, $t=0,02...0,04$ мм, $s = 0,3$ мм/об.

При повышенных требованиях к чистоте поверхности назначается операция отделочного шлифования. Отделочное шлифование ведется кругом марки АПП500х50х0,8х305 АСП40 100% Р1 при окружной скорости вала 12 м/мин и продольной подаче каретки 100...120 мм/мин. Величина силы тока электрического двигателя привода шлифовального круга при глубине резания менее 5 мкм составляет около 5А.

В процессе отделочного шлифования повышенные требования предъявляются к фильтрации СОЖ, так как на этой стадии обеспечивается шероховатость поверхности до 10 класса чистоты.

Валы со стонитовым покрытием шлифуют кругами из черного или зеленого карбида кремния зернистостью 40, средней мягкости или средней твердости на бакелитовой или керамической связке; окружная скорость круга 28...35 м/с. При этом необходимо, чтобы шлифовальный круг не имел вибрации, так как вибрация приводит к выкрашиванию стонита. Для повышения виброустойчивости системы часто приходится снижать скорость вращения круга.

Окружная скорость вала составляет при черновом шлифовании 25...35 м/мин и уменьшается в 1,5-2 раза при чистовом шлифовании. Продольная подача лежит в пределах 40...60 мм/об при черновом и до 20 мм/об при чистовом шлифовании. Обработка ведется при обильной подаче воды или содового раствора.

5.7. Шлифование трубчатых валов

При шлифовании абразивными кругами трубчатые валы обычно устанавливают подшипниковыми шейками цапф на специальные вкладыши, расположенные в двух стойках шлифовального станка. В середине валы поддерживаются люнетом. Ведущий конец цапфы вала соединяется со шпинделем станка промежуточным шарнирным валом. Такая установка не только обеспечивает возможность беспрепятственного теплового удлинения шлифуемого вала, но и исключает влияние неточности вращения шпинделя.

Сукноведущие, бумаговедущие и тамбурные валы из стали Ст3 и Ст5 без покрытия на черновой стадии шлифуют крупнозернистыми кругами из

электрокорунда нормального на керамической связке средней твердости. Эти круги обеспечивают высокую производительность и не оставляют прижогов. На чистовой стадии применяются круги из электрокорунда белого средней зернистости и средней мягкости.

Валы с полимерным покрытием одинаково успешно шлифуются крупнозернистыми кругами из электрокорунда нормального и карборунда черного и зеленого, средней мягкости, на керамической связке. При шлифовании покрытий с малой твердостью можно рекомендовать электрокорунд нормальный на бакелитовой связке, допускающий большие скорости вращения. Благоприятные условия резания мягкого покрытия возникают, если по всей периферии шлифовального круга сделать пропилы в виде шевронных канавок глубиной 4...5 мм и шириной 3...4 мм. При этом улучшается охлаждение круга и повышается эффективность процесса резания.

Валы с покрытием из стеклопластиков рекомендуется шлифовать кругами из зеленого карбида кремния, зернистостью 25-40. Во всех рассмотренных случаях шлифования, за исключением мягкой резины, рекомендуется обильно подавать раствор содовой воды. Окружная скорость круга при шлифовании составляет 35...40 м/с, а скорость изделия 15...30 м/мин в зависимости от обрабатываемой поверхности и стадии обработки. Глубина резания при черновом шлифовании в большей степени зависит от материала поверхности: для стали – 0,03...0,04 мм, для полимерного материала – 0,5 мм.

Для чистового шлифования эти показатели соответственно будут меньше. Для основных типов валов и цилиндров бумагоделательных и отделочных машин в таблице 5.1 приведены данные по выбору марок шлифовальных кругов и режимов шлифования для разных его стадий. Таблица составлена на основе практического опыта предприятия ЦБП, заводов бумагоделательного машиностроения, данных зарубежных фирм и результатов проведенных исследований кафедры технологии машиностроения Санкт-Петербургского университета растительных полимеров.

5.8. Обработка валов абразивными брусками. Суперфиниширование

Процесс суперфиниширования заключается в том, что абразивные доводочные бруски имеют высокую частоту колебаний относительно изделия. Процесс доводки заканчивается автоматически после достижения заданной чистоты поверхности, при этом процессе удаляется слой металла только в пределах высоты гребешков, оставшихся от предыдущей обработки. С увеличением окружной скорости изделия при постоянном числе двойных ходов брусков в минуту обработка происходит более медленно, но качество обрабатываемой поверхности улучшается.

При обработке поверхности до очень большой чистоты происходит автоматизация цикла. Она заключается в том, что, начав с интенсивного резания при больших гребешках, брусок по мере получения поверхности лучшего

качества режет все слабее и, наконец, автоматически выключается из работы, когда поверхность детали приобретает максимально возможную чистоту.

Суперфиниширование каландровых валов проводится на токарном станке головкой ГДС-2 (рис 5.2.), которая состоит из приводного электродвигателя 1, корпуса 2, продольной каретки 3, поперечного ползуна 4 и державки 5, в котором закреплены абразивные бруски 6. Суперфиниширование осуществляется брусками зеленого карбида кремния при различных режимах резания. Средняя скорость резания равна 7...10 м/мин. Окружная скорость вращения вала при первой ступени обработка равна 5 м/мин, при второй – 20...30 м/мин. Продольная подача на первой ступени составляет до 0,5 длины брусков, а на второй – 0,2 длины брусков.

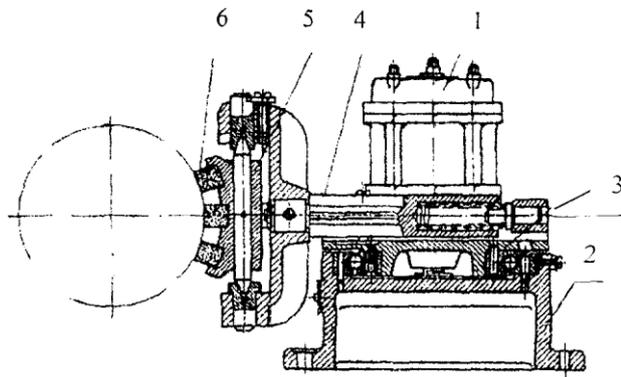


Рис 5.2. –Механическая головка типа ГДС-2 для суперфиниширования:
1 – электродвигатель; 2 – корпус; 3 – продольная каретка; 4 - поперечный ползун;
5 – державка; 6 – абразивные бруски

В качестве СОЖ используется смесь из 90 % керосина и 10% веретенного масла. Для суперфиниширования каландровых валов применяются гидравлические головки модели СФГ-300 отечественной конструкции. Суперфиниширование обеспечивает получение шероховатости поверхности валов до R_a 0,04 мкм.

Кроме суперфиниширования валов используется метод простого и электрохимического наружного хонингования алмазными брусками. Наибольший съем металла достигается при окружной скорости резания 25...30 м/мин. Шероховатость поверхности при этом получается 9–10 класса чистоты.

На некоторых предприятиях отделочное шлифование производят эластичным методом с применением гибких абразивных лент с мягкой зернистостью и добавлением в зону контакта абразивной эмульсии или пасты. Это позволяет устранить остаточные погрешности геометрической формы и улучшить шероховатость поверхности до R_z 0,1 мкм.

Таблица 5.1

Рекомендуемые режимы шлифования валов и цилиндров бумагоделательных и картоноделательных машин

Наименование валов	Материал Шлифуемой поверхности вала	Стадия шлифования	Марка шлифовального круга	Режимы шлифования:			
				Скорость круга, м/сек	Скорость изделия, м/мин	Глубина резания, мм.	Продольная подача в долях высоты круга на об. вала
1	2	3	4	5	6	7	8
Каландровые	Отбеленный чугун	Черновая	КЗ(КЧ)80С1(С2)К8(10)	16-25	25-30	0,03-0,04	0,6-0,7
		Получистовая	КЗ(КЧ)40СМ1(СМ2)К6	16-22	18-20	0,02-0,03	0,5
		Чистовая	К316СМ1К6	14-18	18-20	0,005-0,01	0,5
		Полирование	ЕГМ28МЗБ6	14-18	10-??		0,5
Сушильные цилиндры	Серый чугун	Черновая	КЗ(КЧ)50(80)8СТ1(СМ2Щ)	25-30	40-45	0,04-0,06	0,6-0,8
		Получистовая	КЗ(КЧ)40СМ1К8	20-25	20-25	0,02-0,04	0,5
		Полирование	ЕГМ28Б	18-20	10-20	Менее 0,002	0,2
Прессовые	Гранит	Черновая	КЧ40СМ2К6	25-30	25-30	0,05-0,08	0,6-0,8
		Получистовая	К325СМ2К6К340СМ2КЮ	18-22	18-20	0,02-0,04	0,3
	Стонит	Черновая	К340СТ1Б	25-30	25-35	0,1-0,2	0,6-0,8
		Получистовая	К34СТ1Б6	18-22	18-20	0,05-0,08	0,3-0,5

Электронный архив УГЛТУ

1	2	3	4	5	6	7	8
Прессовые, гауч-валы, регистровые сетководущие и пр.	Резина твердая (12-45 по ПД)	Черновая	ЭБ80СМ1(СМ2,К10)	25-30	36-40	0,6-0,8	0,5-0,8
		Получистовая	Э50СМ1КШ	25-30	18-20	0,05-0,1	0,2-0,4
	Резина мягкая (35-75 по ПД)	Черновая	Э160СТ(СТ2)Б12	35-40	36-40	0,8-1	0,5-0,8
		Получистовая	Э80СТ1(СТ2)Б10	35-40	18-20	0,02-0,04	0,2-0,4
	Бронза	Черновая	Э125(80)СТЦЮ	30-35	24-30	0,08-0,12	0,4-0,5
		Получистовая	340(25)СІК8	25-30	15-20	0,02-0,06	0,1-0,3
Сукноведущие, тамбурные, бумаговедущие	Ст.3 Ст.5	Черновая	Э80С1(С2)К8	30-35	30-35	0,04-0,06	0,4-0,5
		Получистовая	ЭБ40СМ1(СМ2)К6	25-30	12-13	0,02-0,03	0,2-0,4
Грудные и регистровые холодильные цилиндры	Медь напыленная	Черновая	Э80СТ1(СТ2)К8	30-35	20-25	0,10-0,15	0,4-0,5
		Получистовая	Э40СТ1(СТ2)К8	25-30	15-18	0,02-0,03	0,2-0,4
	Медь электролитическая	Черновая	ЭБ80СМ1(СМ2)К8	30-35	20-25	0,10-0,15	0,4-0,5
		Получистовая	ЭБ40СМ1(СМ2)К6	25-30	15-18	0,02-0,03	0,2-0,4
	Сталь IX18Н9Т	Чистовая	ЭБ25СТ1К	25-36	15-18	0,005-0,010	0,1-0,2

6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ВАЛОВ И ЦИЛИНДРОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ

В разделе приводятся сведения по организации работ при шлифовании валов и цилиндров. Особое внимание уделяется вопросам безопасности и охраны труда при эксплуатации вальцешлифовальных станков.

6.1. Общие сведения об условиях эксплуатации и технике безопасности при работе на вальцешлифовальных станках

Рабочие поверхности почти всех валов бумагоделательных и отделочных машин должны быть шлифованными. Более высокую степень отделки требуют каландровые и суперкаландровые валы, что следует из условий их работы, связанных с приданием бумаге необходимой гладкости и лоска.

Качество шлифования и производительность шлифовки зависят от технического состояния шлифовальных станков, условий эксплуатации, правильного выбора режимов шлифования, обеспечения шлифовальными кругами и квалификации шлифовщиков.

Согласно существующему положению вальцешлифовальные станки должны быть установлены в отдельных цехах, снабжённых установками кондиционирования воздуха, а температура окружающей среды в этих цехах должна поддерживаться $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, так как изменение температуры на 1°C приводит к изменению диаметра метрового чугунного вала на 0,01 мм. Для поддержания постоянной температуры воздуха окружающей среды шлифовальный участок должен быть обеспечен тепловентиляционной установкой и приборами для ее поддержания в данных пределах.

Вальцешлифовальные станки должны быть обеспечены высокоточной оснасткой для установки и выверки валов, снабжены современными высококачественным абразивными и алмазными шлифовальными кругами, приспособлениями для правки и балансировки шлифовальных кругов, измерительными устройствами для контроля формы, размеров и шероховатости поверхности валов.

Неправильная эксплуатация кругов и небрежное их хранение может привести к их разрыву даже при небольших окружных скоростях. Шлифовальный участок должен быть обеспечен станками для испытания шлифовальных кругов на разрыв и статическую балансировку.

Для хранения кругов на складе необходимо иметь специальные стеллажи. На рабочем месте шлифовальные круги очень чувствительны к ударам. Под действием даже небольшого удара или толчка в них появляются трещины, которые трудно заметить невооруженным глазом, но они могут быть причиной разрыва круга.

При шлифовании с охлаждением после работы смазывающую жидкость (СОЖ) спускают, а круг должен быть просушен в естественных условиях.

Не допускается оставлять круг погруженным на длительное время в СОЖ, так как одна сторона, впитывая влагу, станет тяжелее, и при работе круг окажется неуравновешенным. Если температура помещения в нерабочее время будет ниже нуля, то СОЖ в порах круга замерзнет, появятся незаметные трещины.

При установке шлифовального круга на шпинделе станка основное внимание должно быть обращено на его правильное крепление во избежание разрыва. Способы крепления разнообразны и зависят от формы круга и его размеров, но все способы крепления должны обеспечивать надежное закрепление круга на шпинделе, не создавать в круге внутренних напряжений.

По существующим правилам, помимо внешнего осмотра и простукивания, шлифовальные круги диаметром 150 мм и выше, предназначенные для работы с окружной скоростью более 10 м/с, должны быть испытаны. Скорость при испытании кругов должна в 1,5 раза превышать рабочую скорость. Испытание производится в специальном помещении, огражденном надежными перегородками, предохраняющими от возможного разлетания частей круга. В процессе работы увеличивать рабочую скорость вращения шлифования, выше указанной на круге, нельзя.

Шлифовальные круги должны иметь защитные кожухи, изготовленные из стали или ковкого чугуна. Кожухи прочно крепятся к шлифовальной бабке, предохраняют рабочих при разрыве шлифовального круга. Кроме того, кожухи защищают от брызг СОЖ. Углы раскрытия защитного кожуха должны быть минимальными. Иногда угол раскрытия регулируют передвижными козырьками, прочно закреплёнными на кожухе в различных положениях.

Технологический процесс шлифования валов включает в себя следующие операции:

- установку и выверку вала на шлифовальном станке;
- проверку правильности геометрической формы подшипниковых шеек и при необходимости их перешлифовку;
- предварительное или черновое шлифование для удаления следов износа вала;
- получистовое и чистовое шлифование;
- финишную отделку поверхности вала с получением отдельных параметров шероховатости и геометрической формы.

Перед установкой вала на шлифовальный станок проверяются диаметры подшипниковых шеек. В случае износа производится их обработка на шлифовальном станке специальным приспособлением, входящем в комплект станка, или на токарном станке. Вал, подлежащий шлифовке, устанавливается на стойки станка с соответствующими по размеру вкладышами.

Для предварительной выверки вала с противоположных сторон выбираются два сечения одинакового диаметра на расстоянии 20...100 мм от торца и индикатором, закрепленным на шлифовальной бабке, выверяют положение вала таким образом, чтобы расстояние от поверхности вала в этих сечениях до базы установки индикатора были одинаковы. Затем выверка идет

методом пробного шлифования и в процессе шлифования по результатам замеров.

Устанавливаются пределы перемещения круга по длине вала. Круг должен выходить за шлифуемую поверхность вала не более, чем на 1/3 его ширины.

К основным параметрам процесса шлифования относятся:

окружная скорость шлифовального круга (V_k , м/мин), его стойкость (T , мин.);

окружная скорость изделия ($V_{из}$, м/мин);

величина продольной подачи (S , м/мин);

глубина резания, или иначе величина поперечной подачи круга за ход вдоль изделия (t , мм).

Режимы шлифования валов БМ и ОМ рассмотрены в разделе 5.

Контроль за процессами шлифования

Вал перед установкой на шлифовальный станок регистрируется, заполняется паспорт шлифуемого изделия с отметкой в нем полученных величин первоначального замера поверхности.

Контрольные замеры в течение шлифования производятся при каждой смене шлифовщиков, о чем делается соответствующая запись в «книге передачи смен шлифовального участка», с указанием полученных величин замеров поверхности.

По окончании шлифовки изделия производится контрольный замер поверхности в присутствии приемщика технологической службы с отметкой полученных результатов в паспорте шлифуемого изделия и книге регистрации шлифуемых изделий.

При производстве других ремонтных работ поверхности изделия (заплавка раковин стальных рубашек, ремонт трещин гранитного вала композиционными материалами и т.д.) в паспорте шлифуемого изделия делается соответствующая запись. В качестве сопроводительного документа шлифуемого изделия прилагается паспорт.

6.2. Требования безопасности при работе на шлифовальных станках

На станках должны быть устройства для удаления абразивной пыли и отходов из зоны обработки; для защиты рабочего от абразивной, металлической и неметаллической пыли, а также шлама, образующихся в процессе правки, шлифования и заточки.

Шлифовальный круг необходимо ограждать защитными кожухами, прочно закрепленными на станке. Места вырезов в кожухах под правильные или другие устройства следует усиливать. Толщина усиления должна быть равна толщине стенки кожуха, а ширина – превышать удвоенную толщину стенки.

Для кожухов, не имеющих предохранительных козырьков, угол раскрытия над горизонтальной плоскостью, проходящей через ось шпинделя

станка, не должен превышать 30° . Если этот угол будет более 30° , следует устанавливать передвижные металлические предохранительные козырьки, позволяющие уменьшить зазор между козырьком и кругом при износе последнего.

Конструкция козырьков должна обеспечивать их перемещение и надежное закрепление в различных положениях. Ширина передвижного предохранительного козырька должна перекрывать расстояние между двумя торцовыми стенками защитного кожуха, а толщина – быть не менее толщины цилиндрической части последнего. Перемещать козырьки разрешается только после остановки круга. Зазоры между кругом и верхней кромкой раскрытия подвижного кожуха, а также между кругом и предохранительным козырьком не должна превышать 6 мм. Зазор между боковой стенкой защитного кожуха и фланцами для крепления круга наибольшей высоты, применяемого на данном станке, должен составлять 5...10 мм.

При работе съемную крышку защитного кожуха надежно закрепляют. Круги типов ПР, ПМ, К, ЧК, ЧЦ должны быть ограждены защитными кожухами. Допускается, чтобы выступающая из кожуха часть инструмента составляла не более 25 мм для этих кругов, и не более 40 мм – для сегментных кругов. Для смотровых окон следует применять прозрачные небьющиеся материалы толщиной не менее 3 мм. Шлифовальное оборудование устанавливается на прочных фундаментах или основаниях; оно должно быть тщательно выверено и закреплено. Все электрооборудование, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, должны быть ограждены. В пусковых приспособлениях электродвигателя все токопроводящие части следует закрывать. Щитки и рубильники должны быть установлены в глухих металлических кожухах, запирающихся на замок, и иметь надписи о применяемом напряжении.

Любая наладка станка с применением ручного труда (смена круга, проверка исправности узлов станка и другие) должна выполняться при выключенном рубильнике во избежание самовключения электродвигателя, что может привести к травме и особенно опасно при выключенном автоматическом цикле. Любые неисправности электроаппаратуры должны устраняться только электромонтером. Перед началом наладки станка следует проверить исправность его соединения с заземляющей шиной. Систематически в момент остановки оборудования нужно смазывать все его части.

Перед установкой на станок инструмент должен быть испытан на контрольной испытательной скорости и отбалансирован. Абразивный, эльборовый и алмазный инструмент без применения СОЖ использовать не допускается. Применяемая СОЖ не должна снижать механическую прочность круга и оказывать вредное воздействие на работающего.

Перед началом работы кругу следует сообщить вращение вхолостую с рабочей скоростью. Продолжительность вращения зависит от диаметра круга: до 150 мм – 1 мин; свыше 150 до 300 мм – 2 мин; свыше 300 мм – 3 мин. Эльборовые круги независимо от диаметра нужно вращать в течение 2 мин.

При закреплении кругов не допускается применение насадок на гаечные ключи, ударного инструмента. Каждый шлифовальный круг должен иметь маркировку с указанием его диаметра и допустимой окружной скорости.

Запрещается устанавливать шлифовальный круг на станок, шпиндель которого сообщает кругу вращательное движение с окружной скоростью, превышающей допустимую. Не допускается эксплуатация шлифовальных кругов с внешними повреждениями. Нельзя выполнять шлифование торцом круга, не предназначенного для этих работ. По мере уменьшения диаметра круга вследствие изнашивания допускается увеличение его частоты вращения до уровня, соответствующего допустимой для его рабочей окружной скорости. Нельзя тормозить вращающийся круг с помощью каких-либо предметов.

Температура окружающей среды при абразивной обработке с применением СОЖ не должна быть ниже точки замерзания последней. При работе станка необходимо следить за тем, чтобы СОЖ непрерывно омывала всю рабочую поверхность круга; при остановке последнего подачу СОЖ следует прекращать.

Требования безопасности перед началом работ

Надеть и привести в порядок рабочую одежду, заправить ее так, чтобы она не могла быть захвачена движущимися частями станка; застегнуть обшлага рукавов; убрать волосы под плотно облегающий головной убор; подготовить исправные средства индивидуальной защиты (очки, щитки, респираторы и другие);

осмотреть и привести в порядок рабочее место, убедиться в нормальной работе вентиляции, достаточного освещения рабочего места; проверить, смазан ли станок; убедиться в отсутствии биения круга, при наличии биения – устранить;

проверить, легко ли перемещаются шлифовальная и задняя бабки; проверить, имеется ли прокладка между зажимными фланцами и кругом, не ослаблены ли гайки, зажимающие фланцы; проверить работоспособность магнитного сепаратора; проверить наличие требуемого количества СОЖ в баках и системах подачи СОЖ;

проверить надежность закрепления упоров, ограничивающих продольный ход стола (при ненадежном закреплении упор может сместиться, ход стола не переключится, и круг врежется в переднюю или заднюю бабки);

пройти инструктаж при получении незнакомой работы.

Требования безопасности в процессе работы

Быть внимательным, не отвлекаться самому и не отвлекать других; не допускать на свое рабочее место лиц, не имеющих отношения к работе;

на рабочем месте поддерживать чистоту и порядок;

не загромождать проходов, как общих, так и у рабочего места;

во избежание возникновения пожара не курить, не зажигать спички у станка;

соблюдать правила личной гигиены: на рабочем месте не принимать пищу, не мыть руки в масле, эмульсии и т.д.;

соблюдать правила, запрещающие на ходу станка обтирать, чистить и смазывать его, устанавливать заготовки и снимать готовые детали, переводить руками ремень, открывать кожухи, измерять детали;

во время работы стоять не против, а несколько сбоку от вращающегося шлифовального круга во избежание ранений в случае его разрыва;

соблюдать режимы работы и не перегружать станок;

вести обработку так, чтобы круг срабатывался равномерно по всей ширине рабочей поверхности;

править круг при его затуплении или засаливании;

при плоском шлифовании крепить заготовку специальными прижимными планками, размещая их на равных расстояниях; высота планок не должна быть выше толщины заготовки;

при обнаружении неисправностей в работе станка немедленно сообщить об этом администрации;

о случае пожара или загорания немедленно сообщить в пожарную охрану и приступить к тушению имеющимися средствами;

при несчастном случае прекратить работу, поставить в известность администрацию и обратиться в медицинский пункт.

Требования безопасности по окончании работы

Выключить двигатели станка и дождаться полной остановки обрабатываемой заготовки и инструмента;

произвести уборку станка (очистить его от абразивной пыли и др.);

привести в порядок рабочее место и выключить местное освещение;

при необходимости слить загрязненную СОЖ, очистить бак и залить новую СОЖ;

очистить магнитный сепаратор от стружки.

Рекомендации по технической эксплуатации вальцешлифовальных станков

При перешлифовке валов каландров целесообразно перешлифовку осуществлять всех валов батареи одновременно, так как при последующей эксплуатации из-за контакта в батарее с нешлифованными валами шлифованные валы будут быстро выходить из строя. Место валов в батарее после перешлифовки желательно сохранить.

Для смазки подшипников следует применять индустриальные масла 30 или даже 20. Каретка всплывает на слое масла на 0,02 мм. Оптимальная температура масла в шпинделе 60°C. Необходима поддержка постоянного уровня масла и предотвращение пенообразования масла.

Следует отметить, что полиуретановые покрытия шлифуются плохо, следует предотвращать засаливание шлифуемой поверхности вала и круга.

Следует строго придерживаться графика, объема и структуры выполнения профилактических мероприятий по поддержанию работоспособности станка. Обращать внимание на проверку вкладышей, подшипников и их регулирование.

Обеспечивать при шлифовании вала такую подачу шлифовальной бабки, при которой $2/3$ ширины шлифовального круга идет по следу, иначе просматривается винтовая линия на валу от шлифовального круга. Серьезное внимание следует уделять требованиям безопасности при правке шлифовального круга.

Организация диагностики шлифовальных станков

Метод диагностики позволяет определить все параметры механического износа и неисправностей узлов и деталей станка. Определяются дефекты каждого подшипника, в том числе износ наружного или внутреннего кольца, перекос наружного кольца, износ шариков или роликов, биение или перекос валов и шпинделей, износ каждой шестерни, погрешность зацепления каждой передачи, износ деталей шариковинтовой пары: гайк, винта, шариков, перекос винта. Время для проведения диагностики одного станка и выдача рекомендаций – 2...3 часа.

Целесообразно создание электронного паспорта технического состояния станка, для чего необходимо максимально точно определить стоимость эксплуатации оборудования, запасных частей, стоимость ремонтных работ и точно планировать затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Информация электронного паспорта будет объективной, что обеспечит прозрачность затрат и позволит принимать оптимальные решения при проведении ремонта и замене оборудования.

Организация работ по диагностированию станка

1. В период эксплуатации и технического обслуживания оборудования проводить экспресс анализ технического состояния станка: определять технологическую точность станка, дефекты, и устранять их на этапе возникновения; прогнозировать износ узлов и деталей станка; планировать сроки проведения ремонта.

2. При проведении ремонтных работ: планировать объем ремонтных работ; повышать качество и снижать стоимость ремонта; сокращать сроки выполнения ремонтных работ; контролировать качество ремонта, выполненного сторонними организациями.

3. При закупке оборудования: планировать закупку нового оборудования, осуществлять входной контроль поставляемого оборудования.

4. При проведении организационно-технических мероприятий: применять системы обслуживания и ремонта станков по фактическому техническому состоянию (взамен ППР), проводить аттестацию оборудования.

На каждый вал составлять паспорт шлифованного изделия, форма которого приводится в приложении.

**ПАСПОРТ ШЛИФОВАННОГО ИЗДЕЛИЯ
С БОМБИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

Предприятие	
Цех	
Шлифовальный станок	
Изделие принял в ремонт	
Изделие	
Материал покрытия / твердость	
№ изделия	
Вид ремонта	
Время, дата начала ремонта изделия	
Время и дата сдачи изделия после ремонта	
Изделие принял из ремонта	

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ

Параметры детали	Заданная величина	Параметры задал: должность, ФИО, подпись.	Полученная величина
Величина бомбировки, мм на длину окружности			
Параметры шероховатости, R_a/R_z мкм.			

Время, дата начального и конечного замера	Длина окружности поверхности вала по сечениям, мм.				
	2 пр	1 пр	Ц	1л	2л

Примечание	Должность, ФИО, подпись сделавшего запись

Изделие сдал из ремонта

(Должность, Ф.И.О., подпись)

Изделие принял из ремонта

(Должность, Ф.И.О., подпись)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Шлифование валов и цилиндров бумагоделательных и отделочных машин – наиболее трудоемкий и наукоемкий процесс в целлюлозно-бумажном производстве и бумагоделательном машиностроении.

От качества шлифования валов зависят качественные показатели вырабатываемой бумаги и техническое состояние бумагоделательных и отделочных машин.

В работе приведены общие сведения о назначении и конструкции вальцешлифовальных станков, используемых в ремонтной практике целлюлозно-бумажных производств для шлифования валов и цилиндров бумагоделательных и отделочных машин, рассмотрены технологические процессы шлифования валов, вопросы виброзащиты и вибродиагностики шлифовальных станков, а также техника безопасности и охрана труда при шлифовании валов.

1. Эйдлин, И.Я. Бумагоделательные и отделочные машины / И.Я. Эйдлин. М.: Лесная промышленность, 1970. 624 с.
2. Бумагоделательные и картоноделательные машины / Под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. СПб: изд-во Политех. ун-та, 2011. 598 с.
3. Кучер, А.М. Бомбированные валы /А.М. Кучер. Л: изд-во Ленингр. ун-та, 1976. 192 с.
4. Кудинов, В.А. Динамика станков /В.А. Кудинов. М.: Машиностроение, 1967. 359 с.
5. Кедров, С.С. Колебания металлорежущих станков /С.С. Кедров. М.: Машиностроение, 1978. 199 с.
6. Козочкин, М.П. Выявление дефектов механических узлов виброакустическими методами/ М.П. Козочкин // Главный механик: сб. статей. Москва, 2011. Вып. 2.С. 55-61.
7. Савинов, Ю.И. Диагностика технического состояния деталей станков – объективное обоснование снижения стоимости ремонтных работ /Ю.И. Савинов // Главный механик: сб. статей. Москва, 2011. Вып. 4.С. 38-44.
8. Куцубина, Н.В. Совершенствование технической эксплуатации бумагоделательных и отделочных машин на основе их виброзащиты и вибродиагностики: моногр./Н.В. Куцубина, А.А. Санников. Екатеринбург: Ур.гос. лесотехн. ун-т, 2014. 144 с.
9. Станочные приспособления: справочник: в 2-х томах / Под ред. Б.Н. Вардашкина и др.; М.: Машиностроение, 1984.

Нелли Валерьевна Куцубина
Александр Александрович Санников
Валентин Анатольевич Ягуткин

**ШЛИФОВАНИЕ ВАЛОВ
В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

ISBN 978-5-94984-603-2



Редактор и компьютерная верстка – Каверзина Е.В.

Подписано в печать 29.12.2016 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная №1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,76
Тираж 100 экз. Заказ № 1045.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

Отпечатано с готового оригинал-макета в
ООО «Информационно-вычислительный центр»
620142, г. Екатеринбург, ул. Цвиллинга, 4, оф. 107
Тел/факс (343) 266-13-93
e-mail: kmr@infvc.ru