

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-21-30

*П. В. Малинин¹, П. Ю. Бочкарев^{1, 2}***СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ НАЛАДКИ ОПЕРАЦИЙ
ПРОХОДНОГО БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ**¹ Камышинский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»² Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

E-mail: Mpv92@yandex.ru, bpy@mail.ru

Проходное шлифование как один из методов бесцентрового шлифования отличается высокой производительностью и точностью обработки. Однако его применение в потенциально возможных отраслях промышленности ограничено довольно узкой областью. В большинстве случаев это связано с отсутствием окончательно сформированной методологической базы наладки и управления реализацией технологических операций. В статье на основе результатов кластерного анализа по критерию однотипности выполняемых проектных процедур определена группа методов обработки, имеющая наибольшую производственную востребованность. Для выбранной группы сформированы конструкторско-технологические условия проведения операций проходного бесцентрового шлифования.

Представлен обзор научных исследований, результаты анализа современной реальной производственной сферы в технологическом обеспечении операций проходного бесцентрового шлифования. Описана предложенная последовательность проведения работ по наладке бесцентрово-шлифовального оборудования, отличающаяся назначением и формализованным расчетом наладочных параметров, удобных для их выполнения.

Ключевые слова: технологическая подготовка механообрабатывающих производств, проходное бесцентровое шлифование, наладка технологических операций, конструкторско-технологические характеристики, бесцентрово-шлифовального оборудования

*P. V. Malinin¹, P. Yu. Bochkarev^{1, 2}***REDUCING THE COMPLEXITY OF SETTING UP OPERATIONS
OF THROUGH-PASS CENTERLESS GRINDING**¹ Kamyshinsky Institute of Technology (branch) Volgograd State Technical University
² Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov

Through grinding, as one of the methods of centerless grinding, is characterized by high productivity and processing accuracy. However, its application in potentially possible industries is limited to a rather narrow area. In most cases, this is due to the lack of a fully formed methodological base for setting up and managing the implementation of technological operations. In the article, based on the results of cluster analysis, according to the criterion of uniformity of the performed design procedures, a group of processing methods with the greatest production demand is determined. For the selected group, the design and technological conditions for conducting through-pass centerless grinding operations have been formed. The review of scientific research, the results of the analysis of the modern real production sphere in the technological support of operations of continuous centerless grinding are presented. The proposed sequence of work on the adjustment of centerless grinding equipment is described, which differs in the purpose and formalized calculation of the adjustment parameters convenient for their implementation.

Keywords: technological preparation of machining industries, continuous centerless grinding, adjustment of technological operations, design and technological characteristics, centerless grinding equipment

Несмотря на ряд преимуществ бесцентрового продольного шлифования, область его применения ограничена. Применение технологии бесцентрового шлифования является задачей, требующей научно-обоснованного подхода для расширения возможностей использования. Применение этих методов обработки, прежде всего, ограничивается сложностью настройки и доводки оборудования из-за отсутствия фор-

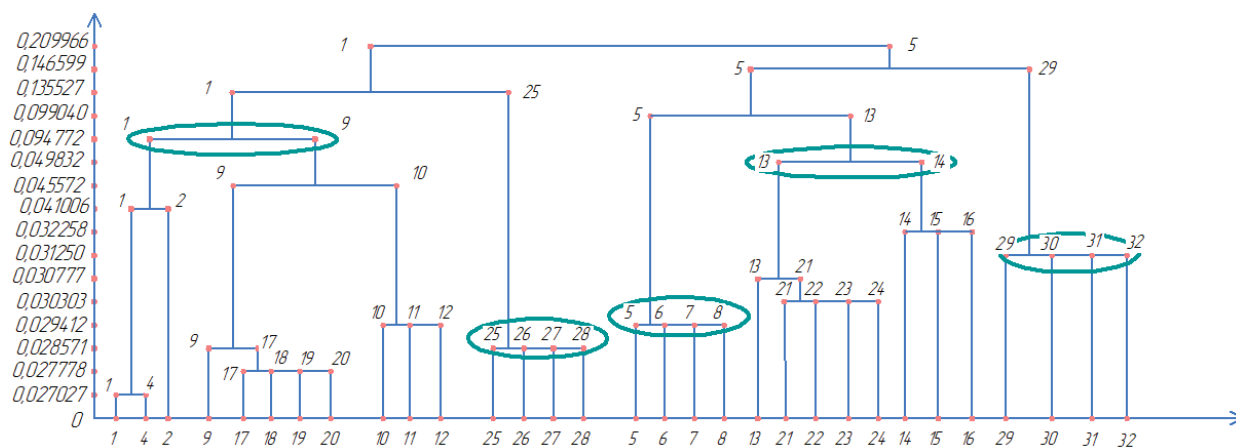
мализованных процедур [1–3]. Эффективность технологической системы зависит от уровня квалификации и опыта работника, что добавляет субъективный элемент не только в результаты выполнения операции, но и в организацию всего производственного процесса. Одной из ключевых задач является проведение исследований для разработки методов определения силовых воздействий между элементами техноло-

гической системы в процессе обработки на всех участках рабочей зоны, с целью обеспечения равномерного вращения детали. Эти факторы приводят к значительным затратам времени и усилий при настройке и управлении процессами, что ограничивает их эффективное применение до условий массового и крупносерийного производства. Учитывая, что операции, проводимые на бесцентровом оборудовании, имеют ограниченные возможности развития в направлениях, связанных с автоматизацией производственного процесса, создание полноценных моделей, описывающих все аспекты, является одной из важнейших задач [4–6]. Получение данного результата невозможно без анализа всех особенностей разнообразных по своим схемам и условиям функционирования способов обработки методом бесцентрового шлифования. С этой целью выполнена структурная класси-

фикации продольного бесцентрового шлифования, включающая группирование процедур отдельных этапов технологического обеспечения на основе критерия однородности проектных процедур [7–10].

Проведенный кластерный анализ позволил объективно сформировать пять групп продольного бесцентрового шлифования и определить множество способов обработки, входящих в каждую из этих групп. Результаты анализа представлены на рисунке. Определены уровни иерархии объединяющие следующие множества способов обработки для бесцентрового проходного шлифования [11]:

- $Y1 = \{1; 4; 2; 9; 17; 18; 19; 20; 10; 11; 12\}$;
- $Y2 = \{25; 26; 27; 28\}$;
- $Y3 = \{5; 6; 7; 8\}$;
- $Y4 = \{13; 21; 22; 23; 24; 14; 15; 16\}$;
- $Y5 = \{29; 30; 31; 32\}$.



Объединение групп способов продольного бесцентрового шлифования по однородности проектных процедур

Выполнены исследования по определению факторов являющимися преимущественными при формировании групп ($Y1$ – $Y5$), связанных с выполнением проектных процедур технологической подготовки операций продольного бесцентрового шлифования. Выявлены важные объединяющие характеристики, присущие только открытым поверхностям, и определены основные факторы, способствующие их объединению. Эти факторы включают в себя форму кругов, кинематические схемы обработки, а также формы и виды опорных поверхностей. В ходе исследования были определены приоритетные объединяющие характеристики для каждой из групп, что позволяет более точно решать поставленные задачи и объективно формировать схемы обработки, учитывая конкретные производственные условия. Для каждой из

сформированных групп были научно обоснованы граничные условия по конструкторско-технологическим характеристикам, что позволяет формализовать методики определения технологических режимов обработки, наладки и управления станками продольного бесцентрового шлифования.

Объединение групп является важным этапом, который отражает набор исходных данных, характерные особенности процесса и структуру алгоритма методических принципов проектирования. Это принципиально отличительный подход от известных исследований в данной области. Научно-обоснованное формирование пяти множеств способов обработки заготовок при продольном бесцентровом шлифовании является ключевым фактором, который позволяет получить более точное решение по-

ставленной задачи, а также осуществить объективное последовательное формирование групп схем. При этом учитываются различные варианты обработки и обеспечивается выбор оптимального способа в каждом конкретном случае.

По итогам эмпирических сведений и ранее проведенного классификации методов продольного бесцентрового шлифования по конструкторско-технологическим признакам установлено [11], что в наибольшей мере на практике используются методы, объединенные в кластер УЗ. В который вошли методы обработки наружных цилиндрических поверхностей с использованием проходного бесцентрового шлифования, по средствам перемещения заготовки в рабочей зоне за счет схемы взаимодействия заготовки с элементами технологической системы, с применением неподвижных направляющих имеющих плоскостную форму и точечными контактами обрабатываемой поверхности с шлифовальным, ведущим кругом и опорной поверхностью в каждом сечении рабочей зоны.

Выполненные исследования позволили сформулировать специфические для данной группы методов обработки бесцентрового шлифования, конструкторско-компоновочные схемы оборудования и технологические условия реализации бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей. Среди них:

– в процессе обработки используется один шлифовальный и один ведущий круг, опорная поверхность в форме наклонной плоской поверхности;

– положение оси шлифовального круга при наладке и подналадке не изменяется;

– возможность наклона оси ведущего круга в вертикальной плоскости;

– вращение шлифовального и ведущего круга по часовой стрелке;

– форма опорного ножа имеет гладкую поверхность, под углом в сторону ведущего круга;

– расположение плоскости опорного ножа не меняется относительно оси шлифовального круга;

– правка шлифовального круга выполняется по прямолинейной траектории;

– форма ведущего круга для обеспечения проходного бесцентрового шлифования имеет форму одно или двуполостного гиперболоида.

Проведенный обзор научной литературы, в которой представлены работы по технологическому обеспечению операций бесцентрового шлифования для рассматриваемого сформированного кластера методов обработки показал, что основополагающие принципы, на которых строится современное методическое обеспечение, представлены в источниках [12–15]. Последующие работы выполнялись на этих принципах, детализируя отдельные вопросы, и не затрагивая их корректировку и серьезное развитие. В табл. 1 сведены формулировки из них, в которых содержатся базовые положения, разнесенные по отдельным разделам в зависимости от задач исследования процессов, организации технологического обеспечения операций проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей.

Таблица 1

Структурное описание известных принципов технологической подготовки операций бесцентрового проходного шлифования

Общие подходы наладки операций проходного бесцентрового шлифования	Работы по наладке можно разделить на два этапа – предварительный и окончательный. Предварительная наладка обеспечивает необходимое для конкретной обработки начальное расположение базирующих элементов и узлов станка, взаимодействие его механизмов. Выбор оптимальных наладочных параметров и режимов определяется путем пробного шлифования деталей. Настройка станка на заданный размер обрабатываемой детали производится при включенном станке. При такой наладке достигается неизменность положения шлифуемой детали при поднастройке станка вызываемой необходимостью компенсировать износ шлифовального круга. Важно влияние на формирование поперечного сечения при бесцентровом шлифовании геометрических параметров наладки. Особенности процесса бесцентрового шлифования – отсутствует жесткая кинематическая связь детали с базирующими элементами станка и шлифовальным кругом, образующими упругую рабочую среду станка. Наладка станка весьма кропотливый и трудоемкий процесс. Ведущий круг совместно с опорным ножом обеспечивает базирование детали. Ведущий круг получает форму гиперболоида со смещенной горловиной, образующая которого не будет параллельна рабочей плоскости опорного ножа и оси шлифовального круга. Организацию рабочей зоны можно приближенно проверить с применением эталонного валика с диаметром равным диаметру обрабатываемой детали.
--	--

Методические принципы наладки операций проходного бесцентрового шлифования	Расчет высоты установки оси детали относительно линий центров ведется в зависимости от диаметра обрабатываемой детали и способа шлифования. В соответствии с принятым технологическим процессом обработки бесцентрово-шлифовальный станок настраивается на предварительное, чистовое или комбинированное шлифование. Высота превышения центра детали h берется в зависимости от диаметра детали по номограмме. Силами резания обеспечивается более плотное соприкосновение деталей с поверхностью опорного ножа, отчего уменьшается дрожание детали при обработке. Номограмма позволяет по известным значениям диаметра обрабатываемой детали d и диаметра ведущего круга D_v определить высоту установки оси детали над линией центров h и <u>величину смещения h_0 державки с правящим инструментом.</u>
Рекомендации по правке кругов на операциях проходного бесцентрового шлифования	Величину смещения державки с правящим инструментом устанавливают исходя из правильного положения детали в рабочей зоне. Для этого необходимо, чтобы линии контакта правящего инструмента и детали при обработке с ведущим кругом совпадали. Правка ведущего круга на однополостный гиперboloид вращения не обеспечивает линейного контакта обработанной заготовки с рабочей поверхностью ведущего круга, поэтому необходимо вводить корректировки в рассчитываемые для правки величины элементов наладки. Форма однополостного гиперboloида, получаемая при правке ведущего круга, ось которого повернута относительно траектории движения алмаза, не может обеспечить линейного контакта с обрабатываемой деталью по прямой линии. Ведущий круг получает форму гиперboloида со смещенной горловиной. Если алмаз сместить вверх, то горловина гиперboloида сместится в сторону входа детали в зону шлифования. За счет разницы скоростей вращения и соответственно скоростей осевой подачи, происходит разрыв столба шлифуемых деталей. Если алмаз сместить вниз, то гиперboloид принимает форму обратного конуса и образует подпол деталей в столбе. Точные формулы для расчета параметров настройки ведущего круга весьма громоздки и для практического применения использовать их затруднительно. Кроме того, в расчетах по этим формулам фигурируют угловые и линейные величины с точностью до минут и микрон. С такой точностью реализовать параметры наладки не представляется возможным. Ведущий круг с формой участка произвольного гиперboloида всегда можно расположить относительно прямолинейного потока обрабатываемых деталей таким образом, что его поверхность будет аппроксимировать некоторую идеальную, совпадая с ней в трех сечениях. Можно обеспечить необходимый угол и расстояние от торца круга до горловины сечения, комбинируя величины углов поворота в каждой из плоскостей. Операция правки шлифовального круга является весьма ответственной. Она определяет правильность распределения съема металла с детали при его прохождении через зону шлифования.
Методические предложения по установке опорного ножа на операциях проходного бесцентрового шлифования	Точность обработки деталей зависит от высоты h установки ножа относительно оси шлифуемого круга, правильной установки боковых направляющих планок, зазора между ножом и рабочей поверхностью шлифуемого круга. Взаимная не параллельность прокладок, основания ножа к его рабочей поверхности, а также ошибка в угле наклона клина вызывает перекося опорной поверхности ножа относительно оси шлифуемого круга. Величина угла скоса ножа зависит от диаметра детали, припуска на обработку и режима шлифования. Материал опорной поверхности ножей оказывает существенное влияние на их стойкость и качество шлифования. Высота установки ножа относительно линии центров кругов станка определяется в зависимости от: диаметра обработанной детали, угла скоса опорной поверхности ножа, высоты установки оси детали относительно центров кругов. Правильность установки опорной поверхности ножа по высоте вдоль оси шлифующего круга проверяют штангенвысотоммером, установленным на базовую плоскость крепления суппорта к каретке. При проверке правильности установки ножа по высоте положение суппорта относительно шлифующего круга должно быть неизменным, контакт детали с кругами (шлифующим и ведущим) достигается перемещением бабки ведущего круга. Установку ножа по высоте следует следующим образом. Определяют опытным путем или из руководства к станку расстояние от базовой плоскости суппорта ножа до линии центров станка h_1. Обрабатываемую заготовку устанавливают на нож и ведущий круг на выходе из зоны шлифования, затем с помощью глубиномера выставляют нож в вертикальной плоскости на требуемую высоту. Операцию повторяют со стороны входа детали в зону обработки. Первоначальное положение ножа проверяют и корректируют после правки ведущего круга.

Представленные положения и результаты их сопоставления, критического анализа и нерешенность многих теоретических вопросов до настоящего времени, позволили определить следующие узкие места в известных методах:

- требование силового замыкания при обработке заготовки, выдвигаемое в большинстве работ для обеспечения высокого качества изготовления, противоречит описанным теоретическим схемам базирования;

- не учитывается изменение диаметра обрабатываемой детали в различных сечениях в обрабатываемой зоне, что влияет на перемещение точек контакта заготовки с элементами технологического оснащения;

- в расчетных формулах для определения параметров наладки у различных авторов не учитывается либо реальный диаметр шлифовального круга, либо угол наклона опорной плоскости ножа;

- не определяется реальное место контакта детали с опорной плоскостью ножа;

- не учитывается изменение диаметра ведущего круга и угол его наклона в различных сечениях обрабатываемой зоны, что влияет на расположение точек контакта заготовки с кругами и опорной поверхностью.

Высказанные замечания и противоречия могут являться предпосылками невозможности создания с использованием существующего методического обеспечения полноценной модели, обеспечивающей определение составляющих сил взаимодействия обрабатываемой поверхности со шлифовальным, ведущим кругами и опорной поверхностью. Без этих данных остается открытым вопрос назначения рациональных режимов обработки и задания наладочных параметров при реализации технологических операций проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей. Как дополнительное доказательст-

во, подтверждающее высокую актуальность совершенствования методических положений, являются содержащаяся в публикациях информация об неиспользовании в практике и отсутствии доказательной апробации ряда теоретических результатов исследований.

С целью выявления реальной ситуации по использованию известных методических подходов в условиях действующих механообрабатывающих комплексов были проведены дескриптивные исследования, направленные на сбор, обобщение и систематизацию используемых в практике подходов к наладке и реализации операций проходного бесцентрового шлифования. Подтвердилась правильность приоритетного выбора в качестве исследования данной сформированной группы технологических операций по результатам выполненного кластерного анализа, так как в общей структуре рассматриваемых производств они занимают не менее 80 процентов. К машиностроительным предприятиям, на которых используется оборудование бесцентрового шлифования, преимущественно относятся заводы, выпускающие подшипники и изделия высокоточного приборостроения. Исследования проводились на предприятиях Поволжского региона и включали анализ технологической документации, сбор информации посредством интервью с работниками технологических служб и наладчиками оборудования, изучение базовых методик наладки станков; технических паспортов на оборудование и абразивные инструменты.

В табл. 2 представлена в качестве примера заполненная форма опроса наладчика, выбранная для представления в статье как, возможно, наиболее полно отражающая связь между проектными процедурами с непосредственным их исполнителем, реализующим весь комплекс известных теоретических разработок непосредственно на оборудовании.

Таблица 2

Пример заполнения информационной формы результатов опроса наладчиков операций проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей

НПО «АЛМАЗ» <u>Подразделение</u> – КМЦ Наладчик – П. В. Е.
<u>Оборудование</u> модель JHC – 125 (JAINNHER) производитель – TAIWAN заводской номер – 12S430Y год выпуска – 09.2010

<u>Предельные размеры используемой технологической оснастки и настроечных параметров</u> Шлифовальные круги – 200–400 мм. Ведущие круги – 100–300 мм. Ширина (высота) кругов 150–200 мм. Угол наклона опорного ножа – 30 °. Угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости – 1.5–2°.
<u>Особенности наладки:</u> – расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода с помощью двух лимбов поперечной подачи с разной точностью; – настройка опорной поверхности - «центр ножа» на 0.1 мм ниже центра шлифовального круга; – расстояние между корпусом опорного ножа и шлифовальным кругом устанавливается минимально возможным, что обеспечивает большую жесткость технологической системы; – между корпусом ножа и шлифовальным кругом зазор должен быть не менее 2 мм для отвода стружки; – настроечным параметром является расстояние между центром обрабатываемой детали и вершиной опорного ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в начале калибрующей части; – износ шлифовального круга (по диаметру) может достигать 50 процентов.
<u>Пример типовой детали:</u> Наименование – Ролик подшипника. Материал – ШХ 15 ГОСТ Р 56299–2014. Номинальный диаметр – 20 мм (допуск – 2 мкм). Припуск при окончательном шлифовании – 10 мкм. Длина – 25 мм. Шлифовальный круг – 7 305 150 120 25A 40 K 6 V 50 1, 7 305 150 120 25A 50 K 6 V 50 1. Ведущий круг – 14A F60 P R.

В табл. 3 сведены полученные сведения по ряду предприятий, касающиеся индивидуальных приемов, которыми пользуются наладчики

на операциях проходного бесцентрового шлифования с указанием используемого оборудования.

Таблица 3

Результат сопоставления индивидуальных подходов к вопросам наладки и реализации технологических операций проходного бесцентрового шлифования

Организация	Оборудование	Применяемые наладчиками методы наладки бесцентрового шлифовального оборудования
НПП «АЛМАЗ» Подразделение – КМЦ	ЗВ182	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода с помощью двух лимбов поперечной подачи с разной точностью; – настройка опорной поверхности - «центр ножа» на 0.1 мм ниже центра шлифовального круга; – расстояние между корпусом опорного ножа и шлифовальным кругом устанавливается минимально возможным, что обеспечивает большую жесткость технологической системы; – между корпусом ножа и шлифовальным кругом зазор должен быть не менее 2 мм для отвода стружки; – настроечным параметром является расстояние между центром обрабатываемой детали и вершиной опорного ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в начале калибрующей части; – износ шлифовального круга (по диаметру) может достигать 40 процентов.

Продолжение табл. 3

Организация	Оборудование	Применяемые наладчиками методы наладки бесцентрового шлифовального оборудования
НПП «АЛМАЗ» Подразделение - КМЦ	JHC – 125 (JAINNHER)	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода с помощью двух лимбов поперечной подачи с разной точностью; – настройка опорной поверхности - «центр ножа» на 0.1 мм ниже центра шлифовального круга; – расстояние между корпусом опорного ножа и шлифовальным кругом устанавливается минимально возможным, что обеспечивает большую жесткость технологической системы; – между корпусом ножа и шлифовальным кругом зазор должен быть не менее 2 мм для отвода стружки; – настроечным параметром является расстояние между центром обрабатываемой детали и вершиной опорного ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в начале калибрующей части; – износ шлифовального круга (по диаметру) может достигать 50 процентов.
НПП «АЛМАЗ» Подразделение – Участок изготовления оснастки и инструмента	ЗА130	– настройка ведется за счет подачи шлифовального и ведущих кругов; – возможность поворота шлифовального круга до 3°; – настроечным параметром является расстояние между центром обрабатываемой детали и вершиной опорного ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости совпадает с передней торцевой плоскостью шлифовального круга; – износ шлифовального круга (по диаметру) может достигать 50 процентов.
«СЭПО» Подразделение – Инструментальный цех	KOENIG&BAUER / HAHN&KOLB	– регулирование угла наклона ведущего круга конструкцией станка не предусмотрено; – обеспечение движение заготовки вдоль оси обеспечивается за счет правки ведущего круга, на основе опыта наладчика; – расположение оси шлифовального круга не изменяется; – ведущий круг при наладке перемещается за счет поперечной подачи; – имеется в наличии комплект опорных ножей, отличающихся высотой и шириной; – при установке опорных ножей, зазор со шлифовальным кругом – 0.05 мм; – наладка осуществляется на основе опыта оператора по пробным проходам (припуск при предварительной обработке – 0.1 мм, окончательной – 0.05 мм); – типовых настроечных параметров нет, решение принимает оператор; – допустимый износ шлифовального круга (по диаметру) – до 40 процентов.
ЕПК Саратов Подразделение Цех высокоточных подшипников (Цех № 8)	SASL 200*500 A	– угол наклона ведущего круга при переналадке не меняется; – расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – максимальный припуск – 100 мкм за проход – износ шлифовального круга (после правок) до 60%, – правка шлифовального круга в среднем примерно через 2 часа работы оборудования; – правка ведущего круга осуществляется редко, не выполняется при обработке колец подшипников разного наружного диаметра в рамках определенного диапазона; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в середине рабочей зоны; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа.

Организация	Оборудование	Применяемые наладчиками методы наладки бесцентрового шлифовального оборудования
ЕПК Саратов Подразделение Цех высокоточных подшипников (Цех № 8)	SASL5/AD	– угол наклона ведущего круга при переналадке не меняется; – расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в середине рабочей зоны; – износ шлифовального круга (после правок) до 60 %; – правка шлифовального круга в среднем примерно через 2 часа работы оборудования; – правка ведущего круга осуществляется редко, не выполняется при обработке колец подшипников разного наружного диаметра в рамках определенного диапазона. – учитывается при наладке расстояние между осями шлифовального и ведущего кругов, но установлено в каком сечении рабочей зоны.
ЕПК Саратов Подразделение Цех № 24 Участок бесцентрового шлифования	SASL 125	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – максимальный припуск – 100 мкм за проход; – износ шлифовального круга (после правок) до 60 %; – правка шлифовального круга в среднем примерно через 2 часа работы оборудования; – правка ведущего круга примерно 1 раз в месяц; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости не определяется и при наладке не учитывается; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа; – учитывается при наладке расстояние между осями шлифовального и ведущего кругов, но установлено в каком сечении рабочей зоны.
ЕПК Саратов Подразделение Цех № 24 Участок бесцентрового шлифования	SASL 200*500	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – максимальный припуск – 100 мкм за проход; – износ шлифовального круга (после правок) до 60 %; – правка шлифовального круга в среднем примерно через 2 часа работы оборудования; – правка ведущего круга примерно 1 раз в месяц; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости не определяется и при наладке не учитывается; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа; – учитывается при наладке расстояние между осями шлифовального и ведущего кругов, но установлено в каком сечении рабочей зоны.
ЕПК Саратов Подразделение Цех № 24 Отделение окончательной обработки	SASL5/AD	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости не определяется и при наладке не учитывается; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа.

Обобщая полученную информацию в данном аспекте можно сделать следующие заключения:

- полностью подтвердилось мнение, представленное в современных публикациях, что качество наладки бесцентрового оборудования в основном зависит от опыта и квалификации наладчиков;

- при наладке в полной мере не используются известные теоретические методики и рекомендации;

- предварительная настройка станка по рекомендованному параметру расстояния между центром заготовки и линией, соединяющей центры кругов, выполняется разнообразными способами, связанными с большими погрешностями;

- имеется значительное варьирование реальных диаметральных размеров, как ведущих, так и шлифовальных кругов, что учитывается при наладке только практическими наработками наладчиков;

- настройка опорного ножа ведется без учета реального места контакта опорной поверхности с заготовкой;

- в большинстве случаев не учитывается, в какой плоскости зоны обработки центры кругов расположены на одной горизонтальной плоскости, что не позволяет обеспечить требуемые настоящие параметры;

- во всех случаях основным способом настройки является подгонка методом шлифования пробных деталей.

Для исправления сложившейся ситуации, на основании выполненных исследований, предложена последовательность наладки проходного бесцентрового шлифования, обеспечивающая в значительной мере снижение роли перечисленных недостатков и снижающая трудоемкость выполнения процесса наладки и подналадки.

На основе зависимостей, представленных в работе [10], алгоритмов и программного обеспечения [16] по реальным данным о диаметрах кругов, заготовки и углам наклона опорной поверхности и оси ведущего круга в вертикальной плоскости, рекомендованному в нормативных материалах параметру расстояния между центром заготовки и линией, соединяющей центры кругов в горизонтальной плоскости, выполняется расчет расстояния между осями шлифовального и ведущего кругов. В случае, если оси кругов не располагаются в одной горизонтальной плоскости, – расстояние

между проекциями осей кругов на горизонтальную плоскость в рассматриваемом сечении рабочей зоны, в которой производится наладка. Данный параметр рассчитывается автоматически и легко настраивается с использованием шкалы привода ведущего круга. Расположение плоскости опорного ножа определяется на основании расчета точки контакта обрабатываемой поверхности с плоскостью [10; 17] относительно центра заготовки и осей кругов по реальным данным, описанным выше. По результатам расчета с учетом конструктивных размеров ножа рассчитывается высота вершины ножа относительно его базовой поверхности крепления с учетом рекомендаций по расстоянию между шлифовальным кругом и ножом. Данный параметр рассчитывается с использованием автоматизированных программ [18], с учетом относительного расположения осей кругов, и настраивается с использованием стандартных средств.

Предлагаемая методика полностью формализует расчет наладочных параметров операций проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей и позволит сократить время настройки оборудования, что обеспечит значительное снижение трудоемкости и повышение производительности выполнения технологических операций.

Выводы

Результаты проведенного кластерного анализа позволили объективно сформировать группы продольного бесцентрового шлифования и определить множество способов обработки, входящих в каждую из этих групп, связанных с выполнением проектных процедур технологической подготовки. Группы создали возможность выявить важные объединяющие характеристики, присущие только выделенным способам обработки, и определить основные факторы, способствующие их объединению. Выполненные исследования позволили сформулировать специфические для данной группы методов обработки бесцентрового шлифования, конструкторско-компоновочные схемы оборудования и технологические условия реализации бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей.

Анализ научных работ, в которых представлены подходы по технологическому обеспечению операций бесцентрового шлифования для рассматриваемого сформированного кластера методов обработки показал, что осново-

полагающие принципы, на которых строится современное методическое обеспечение, не позволяет выполнить формализацию процесса наладки оборудования и управление процессом, что не дает возможность получения стабильного качества и высокой производительности обработки. Данный вывод подтвержден исследованиями, проведенными на действующих машиностроительных предприятиях Поволжского региона, в производственном процессе которых применяется технология обработки заготовок бесцентровым проходным шлифованием.

В целях развития научно-методической базы технологического обеспечения операций проходного бесцентрового шлифования, на основании ранее полученных авторами результатов, предложена последовательность наладки проходного бесцентрового оборудования, обеспечивающая в значительной мере снижение роли субъективных факторов на этапе наладки. Разработанные модели, алгоритмы и программное обеспечение создают предпосылки для создания автоматизированной подсистемы, функционирующей в реальных производственных условиях и позволяющей значительно сократить трудоемкость наладки и повысить качество выполнения операций проходного бесцентрового шлифования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник технолога / под общей ред. А. Г. Суслова. – М. : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
2. Безъязычный, В. Ф. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / В. Ф. Безъязычный. – М. : Машиностроение, 2013. – 568 с.: ил.
3. Ашкиназий, Я. М. Бесцентровые шлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка / Я. М. Ашкиназий. – М. : Машиностроение, 2003. – 352 с.: ил.
4. Бочкарев, П. Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки / П. Ю. Бочкарев // Технология машиностроения. – 2002. – № 1. – С. 10–14.
5. Малинин, П. В. Структуризация способов бесцентрового шлифования с использованием кластерного анализа / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 / ВолгГТУ. – 2022. – С. 36–39.
6. Малинин, П. В. Совершенствование технологической подготовки операций бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, Л. Д. Ульянова, В. В. Ша-лунов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2022. – № 4(64). – С. 147–160.
7. Бочкарев, П. Ю. Структуризация базы данных в САПР ТП с использованием аппарата кластерного анализа / П. Ю. Бочкарев // Вестник машиностроения, № 3. – 1999. – С. 51–55.
8. Митин, С. Г. Определение рациональных уровней отсева вариантов проектных решений в системе автоматизированного планирования технологических процессов / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев, В. В. Шалунов, И. А. Разманов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2021. – № 3 (57). – С. 48–56.
9. Митин, С. Г. Разработка моделей и методик автоматизации проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // Автоматизация в промышленности, 2018. – № 2. – С. 45–51.
10. Малинин, П. В. Определения наладочных параметров операций проходного бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, И. И. Артемов, М. О. Гончаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 144–153.
11. Малинин, П. В. Группирование по технологическим признакам операций продольного бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Воронежский научно-технический Вестник. – С. 61–69.
12. Слонимский, В. И. Теория и практика бесцентрового шлифования / В. И. Слонимский. – Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1952. – 283 с.
13. Прохоров, А. Ф. Наладка и эксплуатация бесцентровых шлифовальных станков / А. Ф. Прохоров, К. Н. Константинов, Л. П. Волков. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.
14. Филькин, В. П. Прогрессивные методы бесцентрового шлифования / В. П. Филькин, И. Б. Колтунов. – М. : Машиностроение, 1971. – 204 с.
15. Муцянюк, В. И. Бесцентровое шлифование / В. И. Муцянюк, А. Я. Братчиков. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 96 с.
16. Малинин, П. В. Программа расчета наладочных параметров операций наружного проходного бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Номер свидетельства: RU 2024617977).
17. Малинин, П. В. Взаимосвязанность сил при проходном бесцентровом шлифовании / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, И. И. Артемов, М. О. Гончаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 4.
18. Малинин, П. В. Программа определения мест контакта обрабатываемой поверхности с элементами оборудования при проходном бесцентровом шлифовании / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Номер свидетельства: RU 2024617988).