Ульяновский государственный технический университет

Стенографический отчет

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д999.003.02

Повестка дня

ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ **Ардашевым Дмитрием Валерьевичем**
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАЦИЙ ШЛИФОВАНИЯ В МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ»

Специальности:
05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки
05.02.08 – Технология машиностроения

Официальные оппоненты:

Волков Дмитрий Иванович – д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева», кафедра «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина», заведующий;
Носенко Владимир Андреевич – д-р техн. наук, профессор
Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», кафедра «Технология и оборудование машиностроительных производств», заведующий;
Козлов Александр Михайлович – д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кафедра «Технология машиностроения», заведующий

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ), г. Пермь

Ульяновск – 2018

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д999.003.02
26 октября 2018 г.

На заседании присутствовали члены Совета:

1.	Табаков В.П.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07-технические науки
2.	Веткасов Н.И.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07-технические науки
3.	Бобровский Н.М.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08-технические науки
4.	Булыжев Е.М.	д-р техн. наук, доцент	05.02.08-технические науки
5.	Денисенко А.Ф.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07-технические науки
6.	Драчев О.И.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07-технические науки
7.	Дьяконов А.А.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08-технические науки
8.	Захаров О.В.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07-технические науки
9.	Зибров П.Ф.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08-технические науки
10.	Кирилин Ю.В.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07-технические науки
11.	Киселев Е.С.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08-технические науки
12.	Клячкин В.Н.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07-технические науки
13.	Ковальногов В.Н.	д-р техн. наук	05.02.07-технические науки
14.	Носов Н.В.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08-технические науки
15.	Полянсков Ю.В.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08-технические науки
16.	Салов П.М.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08-технические науки
17.	Унянин А.Н.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07-технические науки
18.	Худобин Л.В.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08-технические науки

Председатель Совета,
д-р техн. наук, профессор В.П. Табаков

Ученый секретарь Совета,
д-р техн. наук, доцент Н.И. Веткасов

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Уважаемые члены совета, минуточку внимания. Мы начинаем наше заседание. Я напоминаю Вам, что согласно Положению мы с Вами работаем, никуда не выходим, до объявления технического перерыва. Технический перерыв я буду предлагать, мы обычно делаем его два раза – когда голосуем и в промежутке между этими процессами. Если организуем, то выходим, отдохнуть пять минут и опять продолжение. Так, да? Итак, объявляю повестку дня нашего заседания. Защита диссертации Ардашевым Дмитрием Валерьевичем на соискание ученой степени доктора технических наук. Название диссертации – «Повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов». Диссертация по двум специальностям: 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки и 05.02.08 – Технология машиностроения.

Официальные оппоненты:

Волков Дмитрий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина» Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева;

Носенко Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института Волгоградского государственного технического университета;

Козлов Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Липецкого государственного технического университета.

Ведущая организация – Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Вопросы по повестке дня. Нет? Все, принимаем. Ну и начинаем, так сказать, наше заседание.

На заседании нашего совета из 20 членов совета присутствует 18 человек. Необходимый кворум у нас с Вами есть. Повестка дня сейчас была озвучена. Будем считать, что приняли ее единогласно.

По специальности защищаемой диссертации 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки на заседании присутствует 9 докторов наук. По специальности 05.02.08 – Технология машиностроения тоже 9 докторов наук, то есть наше с Вами заседание правомочно. По Положению должно быть по 7 докторов наук по каждой специальности защищаемой диссертации.

Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Ардашевым Дмитрием Валерьевичем по теме «Повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов».

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете, (национальном исследовательском университете). Научный консультант – доктор технических наук, профессор Гузеев Виктор Иванович.

Официальные оппоненты:

Волков Дмитрий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева на заседании присутствует;

Носенко Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института Волгоградского государственного технического университета на заседании присутствует;

Козлов Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Липецкого государственного технического университета тоже присутствует на нашем заседании.

Письменные согласия на оппонирование данной работы от них были своевременно получены.

Ведущая организация, как я уже говорил, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Слово предоставляется ученому секретарю совета Николаю Ивановичу Веткасову для оглашения документов из личного дела соискателя.

Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Уважаемые коллеги, в диссертационный совет поступили документы от Ардашева Дмитрия Валерьевича, из которых следует, что Дмитрий Валерьевич 1979 года рождения, окончил в 2002 Южно-Уральский государственный университет, в 2005 году окончил аспирантуру и защитил кандидатскую диссертацию и в 2014 году окончил докторантуру и представил диссертацию к защите. В личном деле имеется заявление соискателя с визой председателя диссертационного совета. Имеется диплом кандидата наук, заверенный нотариально, имеется выписка с сайта с объявлением о представлении диссертации на соискание доктора наук к защите. Имеется выписка из приказа Южно-Уральского государственного университета о зачислении Ардашева Дмитрия Валерьевича в очную докторантуру. Имеется справка об обучении в очной докторантуре, в период с 01.11.2011 по 31.10.2014 года. Имеется заключение федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Южно-Уральский государственный университет, национальный исследовательский университет, которое утверждено ректором университета Шестаковым А.Л. В заключении дается положительная оценка работы и рекомендуется работа к защите. Имеется отзыв научного консультанта Гузеева Виктора Ивановича, в котором также дается положительная оценка. Имеется список опубликованных работ и приравненных к ним работ в общем количестве 163 позиции. Имеется заключение о возможности открытого опубликования результатов работы. Содержатся сведения о

ведущей организации и оппонентах. Имеются согласия оппонентов и отзывы оппонентов. Отзывы положительные. Имеется список рассылки автореферата, который включает 69 позиций. Имеется письмо Южно-Уральского государственного университета ректору Пинкову А.П. о принятии диссертации к защите. Вот, в общем-то, все документы.

Председатель.

Все, да? Вопросы есть к Николаю Ивановичу?

Ученый секретарь.

Да! И отзывы, 18 отзывов, которые поступили на автореферат и диссертацию Ардашева Дмитрия Валерьевича.

Председатель.

Вопросы есть к Николаю Ивановичу есть? (нет). А к Дмитрию Валерьевичу? Нет вопросов.

Так, тогда, Дмитрий Валерьевич, Вам предоставляется слово для изложения Вашей работы, время Вы знаете, да?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Добрый день, уважаемые члены диссертационного совета, уважаемый председатель и ученый секретарь. Тема работы – «Повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов». В настоящее время для машиностроения характерна многономенклатурность, отсутствие производственных заделов, работа под заказ. В таких условиях обязательным атрибутом любого конкурентоспособного машиностроительного предприятия является высокий уровень его гибкости – способности перестроиться на выпуск различных изделий. При этом на первый план выходит задача сокращения затрат на технологическую подготовку производства, а также задача максимального использования ресурса оборудования и металлорежущего инструмента. Эти задачи вполне успешно могут быть решены за счет применения систем сквозного проектирования, которые позволяют оперативно, в виртуальном пространстве выполнять реализацию спроектированного технологического процесса, выявить его недостатки, сформировать корректирующие действия. Отмечу, что в САПР технологического направления для обработки материалов резанием в настоящее время такая возможность отсутствует. Исключения лишь представляют частные решения этой задачи.

В прошедшие годы, не смотря на мировые кризисные явления, в машиностроении диагностируется если не постоянный рост, то, по крайней мере, стабильный спрос на абразивную продукцию. Разнообразие шлифовальных станков, различные схемы шлифования ставят этот процесс на лидирующие позиции среди других методов чистовой и отделочной обработки. При этом основным методом проектирования операций шлифования по сей день остаются рекомендации различного рода справочников, в т.ч. нормативных. Методику проектирования операций по таким справочникам можно представить в виде трех этапов: на первом этапе принимается характеристика шлифовального инструмента, на втором выбираются режимы шлифования, на тре-

тьем принимается ряд поправочных коэффициентов для приведения выбранных на втором этапе режимов шлифования к тем технологическим условиям, для которых проектируется конкретная операция шлифования. Основной особенностью таких рекомендация является то, что их успешное применение возможно лишь в условиях крупносерийного и массового производства, поскольку для обработки каждой конкретной партии заготовок изготовленной из своего материала и со своими требованиями по точности и шероховатости такие рекомендации предписывать использовать шлифовальные круги (ШК) конкретных характеристик. Кроме этого, обращаю Ваше внимание на то, что отсутствует взаимосвязь между выбранной на первом этапе характеристикой инструмента и назначенными на втором этапе режимами шлифования, что не позволяет говорить о последних, как о наиболее эффективных для выбранной характеристики инструмента. Применение рассмотренной выше методики в условиях многономенклатурного производства приводит к тому, что суммарное время обработки партии заготовок становится сопоставимым со временем, затрачиваемым на наладку шлифовального станка, связанную с заменой на нем шлифовального круга (ШК). При этом суммарный ресурс инструмента используется крайне не рационально – на 3…5, максимум 7 %. Описанная ситуация приводит к длительным простоям оборудования, которые вызваны частой заменой ШК, возникают дополнительные финансовые затраты на складские ресурсы предприятия, поскольку снятый со станка ШК должен быть отправлен на склад, и неизвестно в дальнейшем – будет ли он использоваться когда либо вообще, поскольку в соответствии с рекомендациями нормативных справочников приобретался для обработки конкретной партии заготовок. В связи с этим, в настоящее время на предприятиях машиностроения нередко шлифовальным кругом одной конкретной характеристики производят обработку различных заготовок, отличающихся друг от друга, как основным материалом, так и требованиями по точности и шероховатости. При этом проектирование таких операций шлифования осуществляется интуитивно, на основе субъективного опыта рабочего-шлифовщика.

Анализ производственных данных таких операций показал, что в ряде случаев разница между нормативными рекомендациями и реальными результатами проектирования операций при сопоставлении суммарного основного времени обработки партии заготовок достигает порой 7 раз. Вместе с тем были выявлены операции, на которых эта величина представляет небольшое значение – от 5 до 25 %, что вполне сопоставимо со временем, затрачиваемым на замену ШК на станке. Из вышесказанного можно заключить, что работоспособность любого ШК не ограничивается технологическими условиями, которые описаны в нормативных справочниках, работоспособность ШК – континуальна, однако спрогнозировать ее в настоящее время не представляется возможным в связи с отсутствием необходимого научно-методического аппарата.

Анализ информационных источников ведущих мировых лидеров по производству абразивной продукции показал, что в большинстве своем ими

предлагаются очень укрупненные рекомендации по проектированию операций шлифования. Очень узкий ряд компаний предлагает довольно дорогостоящую услугу по полному технологическому сопровождению своей продукции. Нормативная документация, в соответствии с которой в настоящее время изготавливается абразивная продукция, содержит в себе лишь требования конструктивного характера, и очень скупые данные по двум эксплуатационным показателям – шероховатости шлифованной поверхности и коэффициенту шлифования, которые получены в конкретных технологических условиях после испытаний абразивных инструментов. Анализ научно-технической литературы глубиной в 45 лет, посвященной описанию работоспособности различных абразивных инструментов показал, что существует целый ряд научных работ, которые предлагают оценивать работоспособность инструмента отдельным показателем. Скажу, что полезность такой оценки заключается лишь в возможности сравнения двух ШК, к примеру, разных характеристик, либо разных производителей, для выбора наиболее подходящего, либо для оценки эффективности того или иного технологического мероприятия применяемого для операции шлифования в общей эффективности процесса. Ни проектировать операцию шлифования, ни тем более прогнозировать работоспособность инструмента для различных технологических условий с помощью отдельно взятого показателя не представляется возможным. Следующим этапом развития данного вектора научных работ стали работы по комплексной оценке работоспособности абразивных инструментов. В частности, японскими исследователями была предложена карта шлифуемости материала, которая включала в себя 7 различных показателей, французскими исследователями была разработана карта шлифования включающая в себя уже 6 показателей, в Челябинском политехническом институте был предложен проект эксплуатационной характеристики ШК, который в дальнейшем превратился в паспорт ШК, включающий в себя 5 показателей и в начале 2000-х годов был разработан технологический эксплуатационный паспорт ШК, который включал в себя 6 показателей. Общими недостатками рассмотренных выше работ по комплексной оценке работоспособности ШК является то, что все они получены по результатам стендовых испытаний абразивных инструментов. То есть для получения сведений в различных технологических условиях необходимо осуществлять очень затратные по времени и по другим ресурсам стендовые испытания ШК. Кроме этого, в рассмотренных выше работах отсутствует возможность прогнозирования работоспособности инструмента для широкого диапазона технологических условий его эксплуатации.

Учет различных технологических условий проектируемой операции шлифования возможно реализовать при помощи метода поправочных коэффициентов, как это было рассмотрено выше и реализовано в нормативных справочниках, с использованием теоретико-эмпирических расчетных моделей, которые можно применять для расчета эксплуатационных показателей, либо при помощи методов имитационного моделирования процесса, который

за прошедшие 45 лет набрал достаточно большую распространенность в научной среде. Именно последний метод принят в качестве основного метода в настоящей работе для прогнозирования работоспособности ШК. Анализ научно-технической литературы посвященной вопросам шлифования показал, что в подавляющем большинстве случаев авторами основная роль по определению работоспособности абразивных инструментов отдается износу рабочих абразивных зерен. При этом сами параметры износа в математических моделях, которые применяются для определения показателей работоспособности предлагается рядом авторов определять при помощи различных математических моделей, которые носят в общем случае обобщенный характер, укрупненный, либо носят относительный характер, качественный характер. Оговорюсь, что прогнозирование работоспособности ШК можно вести за счет учета изменения величины износа его абразивных зерен. Анализ научно-технической литературы посвященной вопросам износа абразивных инструментов показал, что в подавляющем большинстве работ выделяется несколько основных механизмов износа единичных абразивных зерен. Эти механизмы действуют при шлифовании совместно с различной интенсивностью, при этом первые два механизма – механический износ и физико-химический подавляющим количеством авторов выделяются как основные, действующие совместно при обработке большинства различных марок сталей и сплавов. В настоящей работе рассмотрено совместное влияние первых двух механизмов износа.

Традиционные теории прочности твердых тел представляют собой теории предельных состояний, которые трактуют прочность твердого тела при помощи определенного параметра, при превышении которого происходит разрушение тела. Рассматривая процесс шлифования, как процесс с параметрами, изменяющимися во времени работы инструмента, аналогичным образом нужно подходить и к вопросу механического износа единичного абразивного зерна. Это позволяет сделать кинетическая теория прочности твердого тела, предложенная и развитая академиком Журковым С.Н., в которой в качестве параметра прочности предлагается использовать параметр «долговечность». Академиком Журковым С.Н. была получена математическая модель для определения долговечности твердого тела, испытывающего циклические нагрузки, что вполне соответствует режиму работы единичного абразивного зерна в шлифовальном круге. Анализ научно-технической литературы, посвященной вопросам физико-химического износа единичного абразивного зерна при шлифовании показал, что в процессе шлифования возникает, по-крайней мере, три предпосылки для протекания данного вида износа: это химическое сродство контактирующих материалов – абразивного и обрабатываемого, высокая температура в зоне шлифования, являющаяся катализатором физико-химических процессов, а также наличие на поверхности шлифуемой заготовки окисных пленок, которые при температурах шлифования интенсивно взаимодействуют с абразивным материалом, разрушая его. Двойные и тройные диаграммы силикатной технологии, а также выполнен-

ное в пакете «Терра» моделирование физико-химического взаимодействия абразивного и различных обрабатываемых материалов также показало высокую вероятность протекания данного вида износа.

Таким образом, конъюнктура современного машиностроения вынуждает предприятия существенно сокращать сроки технологической подготовки производства с целью быстрого освоения выпуска новых продуктов. Существующие методики проектирования операций шлифования работают в очень узком диапазоне технологических условий и не могут использоваться в современном многономенклатурном производстве. Существует необходимость в разработке концептуально нового подхода к проектированию операций шлифования, основанного на эффективном использовании ресурса работоспособности инструмента в широком диапазоне технологических условий его эксплуатации. Отсутствует комплексная модель износа абразивного зерна, учитывающая его основные механизмы и позволяющая прогнозировать его величину в различных технологических условиях эксплуатации инструмента. Отсутствуют методики прогнозирования эксплуатационных показателей абразивных инструментов, позволяющие определить его работоспособность для различных технологических условий. Необходима инженерная методика проектирования операций шлифования для многономенклатурного производства, позволяющая повысить их эффективность за счет учета работоспособности инструмента в широком диапазоне технологических условий.

Таким образом, обозначена актуальная научная проблема, имеющая важной экономическое хозяйственное значение, а именно: низкая эффективность операций абразивной обработки вследствие отсутствия комплексной методики проектирования операций шлифования, с учетом эксплуатационных возможностей инструмента для условий многономенклатурного производства. Целью настоящей работы является повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности ШК. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: разработать методику континуального проектирования операций шлифования, разработать математическую модель износа абразивного зерна, разработать методику прогнозирования эксплуатационных показателей ШК, разработать методику определения периода стойкости ШК, разработать комплекс инженерных методик континуального проектирования операций шлифования и реализовать их в виде программного контура, выполнить практическую реализацию и внедрение результатов работы.

В основу разрабатываемой методики континуального проектирования операций шлифования положена континуальная система обработки информации, предложенная профессором Путилиным А.Б. В ней объект управления помещается в континуальную среду, в которой взаимодействует с рядом внутренних и внешних информационных потоков. Применительно к абразивной обработке в качестве объекта управления выступает ШК, а задачами континуального проектирования являются прогнозирование его работоспо-

собности и определение режимно-временной области возможной эксплуатации для реализации конкретной операции шлифования. Суть разработанной методики континуального проектирования в следующем. Известны партии заготовок, запланированные к обработки в ближайшую перспективу времени. Каждая партия заготовок изготовлена из своей марки материала, к каждой партии предъявляются свои требования по точности и шероховатости. По существующим рекомендациям формируется номенклатура ШК, возможных к применению. Прогнозируется их работоспособность, на которую в дальнейшем накладываются технологические ограничения, в результате чего формируется для каждого ШК режимно-временная область его возможной эксплуатации. В которой формируется ряд конкурирующих точек – различных режимов шлифования, из которых выбирается один, обеспечивающий минимум оперативного времени. В дальнейшем, сопоставлением и суммированием оперативного времени по всем партиям заготовок выбирается тот ШК, который обеспечивает суммарное минимальное время. Таким образом, определяется пара «характеристика ШК-режим шлифования» наибольшей производительности для всех партий заготовок, планируемых к обработке, с выполнением требований, предъявляемых к качеству готовых деталей.

Вариативный характер разработанной методики заключается в том, что вариант обработки всех партий заготовок запланированных к производству шлифовальным кругом одной характеристики не является исключающим. В методике предусматривается замена ШК, установленного на станке, на другой ШК, если он будет более эффективным в сравнении с тем, который установлен на станке. В результате, в настоящем исследовании в качестве целевой функции принята техническая норма времени, включающая в себя суммарное основное время обработки всех партий заготовок, суммарное вспомогательное время, затрачиваемое на правку ШК, а также время, затрачиваемое на замену инструмента на станке, если это событие будет предусмотрено по результатам применения разработанной методики. Таким образом, определяется рациональный порядок замены ШК на станке, для обработки всех партий заготовок в планируемом периоде времени.

Поскольку в основу разработанной методики континуального проектирования положен учет работоспособности ШК, то в качестве комплекса эксплуатационных показателей для осуществления описания работоспособности предлагается использовать следующий набор показателей. Он сформирован исходя из основных требований, предъявляемых к операции шлифования. Для прогнозирования износа единичного абразивного зерна был рассмотрен дискретный контакт ШК с обрабатываемой заготовкой, то есть, рассмотрен контакт одного единичного абразивного зерна. Механический износ предлагается прогнозировать на основе математической модели долговечности твердого тела, испытывающего циклические нагрузки. Для этого была выполнена адаптация представленной модели долговечности к условиям работы единичного абразивного зерна. В результате была получена математическая модель, позволяющая определить величину изношенной части единич-

ного абразивного зерна в результате действия механического износа при шлифовании. Трудноопределимым параметром в данной модели является величина напряжений, действующих в теле абразивного зерна. Для определения которых была сформирована имитационная твердотельная модель взаимодействия единичного абразивного зерна с обрабатываемой заготовкой. Моделирование велось для различных температур в зоне контакта и для действительного сопротивления обрабатываемого материала шлифованию. В результате был получена зависимость напряжений, действующих в теле единичного абразивного зерна от величины исходной площадки затупления, для различных температур, для различных зернистостей. На промежуточном этапе было выполнено сопоставление полученных результатов с моделью обрабатываемого материала профессора Дьяконова А.А. Установлено, что при уменьшении интенсивности сопротивления материала деформациям напряжения в теле абразивного зерна также уменьшаются. В дальнейшем была получена зависимость долговечности абразивного зерна от величины исходной площадки затупления, для различных температур, для различных зернистостей. В итоге, была получена зависимость величины механического износа единичного абразивного зерна от времени работы инструмента для различных температур, для различных зернистостей. Установлено прямое влияние на общую величину износа времени работы инструмента и обратное влияние температуры в зоне шлифования и зернистости абразивного инструмента. Для определения величины физико-химического износа абразивного зерна предлагается использовать математическую модель, предложенную Лоладзе Т.Н. и Бокучавой Г.В. Трудноопределимыми параметрами в этой модели являются коэффициент предельной растворимости материалов и коэффициент диффузии. Для прогнозирования коэффициента предельной растворимости предлагается использовать соотношение стехиометрических коэффициентов в соответствующих уравнениях химических реакций. А для определения коэффициента диффузии или коэффициента химического сродства предлагается использовать параболический закон диффузии Фика, из которого можно выразить искомый коэффициент. Для его определения была разработана специальная экспериментальная методика, которая заключалась в том, что образцы абразивного материала вводились в контакт с различными обрабатываемыми материалами, помещались в печь, нагревались до различных температур, выдерживались определенное время и затем полученные образцы исследовались при помощи электронного сканирующего микроскопа. В результате после проведения линейного химического анализа перпендикулярно границе раздела контактирующих материалов удалось установить размеры толщины диффузионной прослойки, возникшей в результате физико-химического взаимодействия абразивного и различных обрабатываемых материалов. В результате, после определения величины коэффициента химического сродства вся номенклатура исследуемых марок обрабатываемых материалов была разделена на две группы – материалы со слабым химическим сродством и материалы с сильным химическим сродством. Проведенный

объем экспериментальных данных по исследованию коэффициента сродства позволил установить эмпирические зависимости для расчетного определения величины данного коэффициента в зависимости химического состава обрабатываемых материалов. В дальнейшем была определена зависимость массы изношенной части абразивного единичного зерна в результате действия физико-химического износа от величины исходной площадки затупления на абразивном зерне, для различных температур, для различных марок обрабатываемых материалов. Установлено прямое влияние на общую величину физико-химического износа абразивного зерна температуры, площадки затупления и времени работы инструмента. В результате была разработана математическая модель величины износа абразивного зерна при шлифовании, которая впервые учитывает два основных механизма его протекания – это механический износ и физико-химический износ. Кроме этого, разработанная математическая модель учитывает большое количество различных технологических условий эксплуатации абразивных инструментов и позволяет прогнозировать величину износа абразивного зерна в различных технологических условиях. Анализ расчетных величины износа единичного абразивного зерна показал, что в ряде случаев соотношение механического и физико-химического износа достигает 60 к 40, что в условиях многономенклатурного производства является довольно важным фактом, поскольку обработка на станке может вестись шлифовальным кругом, который крайне не рекомендован для обработки данного материала и поэтому так или иная величина износа может играть определяющую роль при определении работоспособности всего ШК в целом. После аппроксимации единичного абразивного зерна конусом была получена математическая модель для расчетного определения величины размера площадки затупления на единичном абразивном зерне. Модель носит рекурсивный характер, то есть в ней учитывается нелинейная обратная связь по величине площадки затупления. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных полученных по результатам прямого замера площадки затупления на реальном шлифовальном круге показало, что разница между этими значениями не превышает 10 %. Переходим к разработке системы прогнозных моделей.

Для определения величины радиальной составляющей силы шлифования предлагается использовать имитационную стохастическую модель профессора Дьяконова А.А. Прогнозирование изменения величины радиальной составляющей силы шлифования во времени работы круга становится возможным благодаря встраиванию в общий алгоритм и методику расчета силы модуля определения величины площадки затупления единичного абразивного зерна. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных, полученных по результатам прямого измерения прямого измерения радиальной составляющей силы шлифования на специальном испытательном стенде показало, что разница между этими параметрами не превышает 10…12 %. Для определения величины шероховатости шлифованной поверхности предлагается использовать имитационную стохастическую модель, разработанную

Шипулиным Л.В. Прогнозирование изменения величины шероховатости во времени работы ШК становится возможным благодаря встраиванию в общий алгоритм и методику расчета модуля определения величины площадки затупления единичного абразивного зерна. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных, полученных после прямого замера шероховатости шлифованной поверхности показало, что разница между этими показателями не превышает 10…12 %. Ну и наконец, для определения величины контактной температуры в зоне шлифования предлагается использовать имитационную стохастическую модель профессора Дьяконова А.А. Прогнозирование изменения величины температуры во времени работы ШК становится возможным благодаря встраиванию в общий алгоритм и методику расчета модуля определения величины площадки затупления единичного абразивного зерна. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных также показало, что разница между ними не превышает 10…12 %. Таким образом появляется возможность прогнозирования работоспособности ШК в различных технологических условиях после наложения на которую комплекса ограничений появляется режимно-временная область возможной эффективной эксплуатации ШК для конкретных технологических условий. Для реализации методики континуального проектирования, разработанной ранее была создана методика определения периода стойкости ШК, в которую входит прогнозирование работоспособности инструмента при помощи системы прогнозных моделей, которая была разработана ранее, определение режимно-временной области возможной эксплуатации инструмента за счет наложения комплекса ограничений на спрогнозированную работоспособность и в дальнейшем определение множества различных периодов стойкости для различных режимов работы инструмента.

В завершении работы была создана инженерная методика континуального проектирования операций шлифования, включающая в себя 2 сценария. Первый сценарий подразумевает выбор режима шлифования кругом конкретной характеристики. Для этого прогнозируется работоспособность ШК, на которую накладывается комплекс технологических ограничений, формируется область возможной эксплуатации ШК в данных технологических условиях, строится зависимость технической нормы времени от величины режима шлифования и в итоге определяется тот режим шлифования, который обеспечивает выполнение целевой функции, а именно минимум технической нормы времени. В результате реализации первого сценария определяется режим обработки кругом конкретной характеристики, обеспечивающий выполнение всех требований, предъявляемых к операции и минимум технической нормы времени. Второй сценарий инженерной методики подразумевает одновременный выбор характеристики ШК и режима шлифования. Для этого для сформированной номенклатуры ШК прогнозируется работоспособность каждого круга, на которую накладывается комплекс технологических ограничений – требований, предъявляемых к операции шлифования, для каждого круга формируется режимно-временная область его возможной эксплуата-

ции, строится зависимость технической нормы времени от величины режима шлифования для каждого круга. В результате определяется пара «характеристика ШК-режим шлифования», обеспечивающие как выполнение всех требований, предъявляемых к операции шлифования, так и минимум технической нормы времени. Указанные сценарии инженерной методики – первый и второй – реализованы в виде модуля технологической подготовки производства «Титул».

В заключении работы была выполнена практическая реализация полученных результатов, а именно: реализован сценарий 1. Для операций шлифования, реализуемых в производственных условиях на различных предприятиях Уральского региона, была спрогнозирована работоспособность каждого ШК в каждом конкретном случае и установлено, что инструмент в ряде случае эксплуатировался на заниженных режимах шлифования. Также было установлено, что в некоторых случаях инструмент работал на предельных режимах шлифования. В результате удалось снизить суммарное основное время обработки партии заготовок на 10…20 %. Был реализован сценарий 2: для двух партий различных заготовок для имеющихся на предприятии ШК была спрогнозирована область их возможной режимно-экспл….область режимно-временной эксплуатации и в результате удалось обработать обе партии заготовок кругом одной характеристики. Несмотря на незначительное увеличение суммарного времени и технической нормы времени удалось снизить технологическую себестоимость этих операций на 40 % за счет того, что отпала необходимость в приобретении ШК характеристики, отличной от имеющейся на станке. И третий пункт. Для известной производственной программы на ближайшую перспективу был сформирован рациональный порядок замены ШК на станке, а также определен для каждого ШК режим обработки, что привело к сокращению суммарного времени обработки всех партий заготовок примерно в 1,7 раза.

Обобщение результатов исследования параметра «долговечность» абразивного зерна позволило сформировать рекомендации по назначению характеристики ШК в части выбора марки материала абразивного зерна. Кроме этого были сформированы данные по величинам периода стойкости инструмента, полученного на основе разработанной методики определения этой величины. Указанные результаты внесены в справочник по режимам шлифования 2007 и 2012 года издания, который прошел промышленную апробацию и успешно используется на почти ста машиностроительных предприятиях Российской Федерации, принят к использованию в учебном процессе в 16 учреждениях высшего и 8 учреждениях среднего образования. Также был разработан ряд локальных нормативных документов – это стандарт предприятия, руководящие технические материалы, которые прошли промышленную апробацию и успешно используются на машиностроительных предприятиях Уральского региона, а также в компаниях, занимающихся производством, изготовлением, сбытом и сопровождением абразивной продукции.

Таким образом, в диссертационной работе решена крупная научная проблема, имеющая важное государственное хозяйственное значение, связанная с повышением эффективности операций шлифования в условиях современного многономенклатурного производства на основе применения разработанной методики континуального проектирования операций шлифования, базирующейся на прогнозировании работоспособности ШК в широком диапазоне технологических условий их эксплуатации. Суммарный экономический эффект от внедрения результатов работы – почти 1 миллион 300 тысяч рублей. Основные выводы и результаты приведены на слайде, имеются в раздаточном материале и в автореферате. Благодарю Вас за внимание, мой доклад окончен, готов ответить на Ваши вопросы.

Председатель.

Спасибо. 32 минуты, это нормально.

Так, вопросы, пожалуйста. Леонид Викторович Худобин.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Дмитрий Валерьевич, у меня несколько вопросов к Вам. Первое, начнем. Во всем Вашем докладе, очень хорошо произнесенном, Вы ни слова не сказали о применении смазочно-охлаждающих технологических средств. Жидких, газообразных, твердых – каких хотите. А ведь в зависимости от того насколько правильно для данной операции будет выбрано это средство могут «полететь» все Ваши рекомендации. Вы что, всухую что ли все Ваши работы выполнили?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Значит, при формировании комплекса эксплуатационных показателей для описания работоспособности инструмента мы заранее оговариваем то, что работоспособность прогнозируется дл конкретных условий. В том числе необходимо учитывать применяемое смазочно-охлаждающее технологическое средство, вот оно здесь оговорено. Т.е. прогнозирование работоспособности вот по этим показателям ведется для определенной марки материала, определенного вида шлифования и определенного состава и метода подачи СОТС. Что касается конкретики по результатам данной работы я могу сказать, что мы на этапе практической реализации использовали систему поправочных коэффициентов на применяемую марку СОТС, которая изложена вот в этом справочнике. Есть здесь такая таблица, в которой приводится ряд поправочных коэффициентов. А, в основном, на слайде, где были показаны операции шлифования, которые мы исследовали на конкретных предприятиях, там использовалась базовая СОЖ – содовый водный раствор.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Ну, это вообще, наверное, запрещенная охлаждающая жидкость. И как же так, почти единственная. Вы рекомендуете для всех операций шлифования в зависимости от того как подобрана пара «ШК-материал заготовки» применять один и тот же содовый раствор?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Ни в коем случае, мы этого не рекомендуем. Я могу здесь сказать, что вот этот вопрос оно очень сложный, поскольку ситуация с подбором СОЖ в многономенклатурном производстве не решена. О выборе СОТС мы не можем говорить, когда у нас материалы обрабатываемой заготовки меняются довольно часто. Одна СОЖ заправлена на станке, и вот какая то есть и мы вынуждены менять круги и разные партии заготовок в ней обрабатывать. Поэтому, на мой взгляд, уточнение разработок может заключаться в том, что вот этот вот состав и методика подачи, способ подачи СОТС в зону резания может выступать как одно из ограничений на применение вот этих вот разработок. То есть если мы будем иметь, скажем, модели, которые учитывают как изменяется работоспособность конкретного ШК в конкретных технологических условиях при изменении разных марок сталей и сплавов и методов подачи СОТС, то мы будем во всеоружии и будем полностью использовать ресурс работоспособности инструмента. Пока мы вынуждены ограничиваться вот этими данными, которые в справочнике.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Но ведь в том самом справочнике, на который Вы ссылаетесь и где были опубликованы Ваши работы есть и наш фрагмент, посвященный выбору и применению смазочно-охлаждающих жидкостей? Или у Вас какой-то другой еще справочник?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Нет, я говорил о поправочных коэффициентах на применяемую СОЖ. Вот если сейчас, скажем, для операции шлифования, которая подразумевает использование любой другой СОЖ, которая есть в справочнике, выполнить вот эту вот всю методику проектирования операции шлифования и применить тот поправочный коэффициент, о котором я говорю, что есть в этом справочнике таблица, то тогда можно использовать эти результаты для различных СОТС. Но только в рамках тех поправочных коэффициентов, которые есть в справочнике.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Не только в рамках применения содового раствора, переводя на русский язык, да?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Абсолютно нет. Не только в рамках применения содового раствора.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Хорошо. Второй вопрос. Скажите, пожалуйста, а как вот в Ваших рекомендациях учитывается требуемая точность? Ну, допустим, шероховатость, физико-механические свойства поверхностного слоя и так далее, если уж зашла речь о режимах, да и о характеристике круга.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Значит, про точность сначала и шероховатость. Как точность, так и шероховатость и требования по бесприжоговости обработки выступают в качестве технологических ограничений, которые накладываются на спрогнозированную работоспособность ШК, в результате чего и формируется возможная

режимно-временная область – это зависимость режима работы ШК, ну там, подачи, скажем, да, и времени его работы на этом режиме для конкретных технологических условий, для обеспечения конкретных требований по шероховатости и по точности. А что касается характеристики инструмента, то характеристика инструмента в данном случае – зернистость, твердость, структура – она формируется в прогнозных моделях. Как в модели радиальной составляющей силы шлифования, так и в модели шероховатости поверхности на первом этапе формируется рабочая поверхность ШК. То есть, грубо говоря, имитационными методами… вот она.. вот развертка, на которой эти точки – это есть абразивные зерна. Так вот, расталкивание зерен по поверхности круга происходит в соответствии с заданными величинами твердости, структуры и зернистости.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

В зависимости от заданной точности, ведь режимы-то резания «полетят» же в самом широком диапазоне. При всем Вашем сродстве характеристики круга и материала обрабатываемой заготовки.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Так в зависимости от требуемой точности и шероховатости определяются возможные режимы шлифования данным кругом, который задан уже. А в начале определяется его работоспособность.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

И последний третий вопрос, для Вас более легкий вероятно. Скажите, пожалуйста, вот в Вашем раздаточном материале, также как и в реферате, очень много всякого рода графиков. На этих графиках (зависимостях), разных каких-то, есть плавные кривые, без указания точек, есть плавные кривые с указанием точек, есть ломаные кривые… Как в этом всем разобраться-то? Что это означает?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Ломаные кривые это, например, результаты экспериментальных исследований величин площадок затупления.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Вот, 4, 14, 33, 34 и 35 слайд, если их сравнивать. Вроде об одном и том же идет речь, а кривые совершенно разные. Почему?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Слайды 4, 33, 34…

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

33, 34, 35.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Так. Пусть слайд 34. Вот ломаные сверху кривые и снизу плавные кривые. Значит, ломаные кривые получены путем соединения конкретных значений величин в теле абразивного зерна для конкретных температур.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Понятно, понятно…

Соискатель, Д.В. Ардашев.

А значит, здесь, в докладе я не говорил об этом, а в диссертации об этом сказано, вот исследовали долговечность, получили вот такой вид и, значит, исследовательский компонент был такой, что долговечность абразивного зерна имеет экстремум в определенной точке. И чтобы показать вот эту вот особенность точки были соединены плавно.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Так..странновато… Все.

Председатель.

Может быть у Вас математически обработано?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Здесь нет…

Председатель.

А как же тогда плавно построено?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

С помощью пакета компьютерных программ.

Председатель.

Расчетным путем?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Да, да, расчетным.

Председатель.

Подобрали кривую и соединили точки. Евгений Михайлович Булыжев, пожалуйста.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

У меня продолжение вопроса, который задавал Леонид Викторович. Вот по поводу жидкости – мы поняли, что, в общем-то по вопросу жидкости у Вас белое пятно. Вы пытаетесь отвечать, но белое пятно. А вот к вопросу загрязненности этой жидкости. Загрязненность жидкости может вообще свести все к худшему варианту. У Вас ни слова нет, а есть ведь ГОСТ такой, на концентрацию механических примесей, а у вас ни слова… А уж не говоря о том, что для различных марок сталей, допустим, это загрязнение, оно вообще будет по разному… превратит в размазню Вашу поверхность, понимаете…Тем более, если Вы круг стараетесь не менять. Вот что Вы можете по этому поводу сказать?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Ну, во-первых, я скажу, что я абсолютно не настаивал на том, что мы шлифовальным кругом одной характеристики обрабатываем все подряд. В начале своего доклада я говорил о том, что многовариантность использования данной методики подразумевает замену ШК, если имеющийся ШК покажет свою эффективность на минимуме. Теперь, что касается смазочно-охлаждающей жидкости и рекомендаций по применению различных марок СОТС для различных обрабатываемых марок материалов. Еще раз скажу, что ситуация с СОТС примерно такая же как со шлифовальным кругом, с заменой круга на станке. Однако, трудоемкость замены марки СОТС на станке гораздо выше, чем трудоемкость по замены круга. И поэтому в качестве од-

ного из таких глобальных ограничений на в принципе всю методологию «континуального» проектирования, представленную здесь, можно еще добавить ограничение по имеющейся марке СОЖ на конкретном станке. Если имеющийся круг и подошедшая партия заготовок, которую сейчас надо обрабатывать, при СОЖ которая есть, будут плохо себя показывать, то нужно менять круг и подбирать такой круг, чтобы в рамках данной имеющейся жидкости он показывал свою эффективность на самом максимуме, что можно выжать из круга. Т.е. СОТС и метод подачи и состав – одно из ограничений использования данной методики.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Я говорил о загрязнении жидкости. О той стружке мелкой, осколках абразивных зерен.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

В рамках данной работы это не является областью исследования.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Станок хороший, древний, у станка прекрасная система очистки жидкости. Для вас это безразлично?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Либо поправочные коэффициенты можно использовать, если они есть.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Они у вас есть?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Я не встречал. На марку СОЖ есть.

Председатель.

Николай Васильевич, пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Я встану, потому что здесь много вопросов. Можно я буду много вопросов задавать? Начнем.. Итак, первый. какие основные показатели качества инструментов? И как Вы анализировали их перед тем, как Вы начинали свои исследования? И есть ли сравнительные данные по разным производителям?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Я не совсем расслышал…Качество инструмента?

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Да. Что понимается под качеством инструмента? Я нашел только одну характеристику абразивного инструмента, одну всего во всей Вашей работе. Вы делали все на одной характеристике?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Нет. Сейчас я постараюсь объяснить. Тогда давайте говорить так. Что мы вкладываем в понятие качества?

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Вот я у Вас и спрашиваю.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Хорошо. В настоящее время нормативная документация под названием «ГОСТ Р 52781» говорит нам, что круг должен быть изготовлен из определенной марки материала зерна, зернистость и все. О работоспособности круга ни слова нет.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Производитель, завод, выпускает круги и контролирует их качество.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Он контролирует характеристику круга.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Что? Конкретно? Как? Какими приборами?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Твердость – пескоструем по лунке, зернистость – рассевом.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Вы это делали?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

А зачем нам это делать? Нет. Мы брали готовые ШК.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Понятно. Теперь скажите, Вы производителей по качеству ШК не сравнивали? Челябинский абразивный завод, Волжский абразивный завод, Московский абразивный завод. Не сравнивали?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Все ШК, которые использовали в данной работе, были производства Челябинского абразивного завода, чтобы не вносить еще и различие по производителям.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Хорошо, дальше идем, все, закрыли этот вопрос. Все-таки, Вы ответьте, я не знаю, я смотрел Ваш автореферат, что значит работоспособность ШК континуальна?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Континуальность – это понятие.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Не надо понятие. Что это значит работоспособность ШК континуальна?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Это значит, что работоспособность ШК изменяется непрерывно в диапазоне определенного аргумента. В качестве аргумента могут выступать разные марки материалов обрабатываемых заготовок, разные требования по точности и шероховатости и так далее, в том числе и время работы инструмента.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Так, ясно. Время работы ШК. Скажите, Вы учитывали выхаживание или не учитывали выхаживание? Потому что время, которое Вы указали на графиках – одно и то же. Что с выхаживанием, что без выхаживания.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Этап выхаживания он возникает, когда мы будем проектировать конкретную операцию шлифования.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Мы знаем, что такое этап выхаживания. Вы в графиках применили одно и то же время, временной период. Но Вы указали, что эта работа с выхаживанием, эта работа без выхаживания. Вот объясните – как это сделать? Я не понял.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Если в течение 1 минуты шлифуют ШК без выхаживания, получают одну шероховатость, а если в течение 1 минуты с выхаживанием, то будет другая шероховатость…

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Как учитывалась в модели износа связка?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Связка?

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Да, бакелит, там, вулканит, керамика.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Влияние связки в настоящей работе не учитывали, поскольку рассматривался режим работы круга.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Какая связка у Вас была?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Все ШК были на керамической связке

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Какой марки?

Соискатель, Ардашев Д.В.

К11.

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

Сейчас марка не указывается.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Итак, у Вас указано экспериментальное значение температуры на зерне. Вы экспериментально определяли температуру?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Нет, мы сопоставляли результаты расчетов с результатами прямого измерения, выполненного профессором Дьяконовым А.А.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну, температура на зерне и температура шлифования – это разные характеристики.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Контактная температура.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Что значит контактная?

Соискатель, Ардашев Д.В.

В зоне контакта единичного абразивного зерна с заготовкой.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Но Вы не определяли температуру экспериментально?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Сам лично – нет. Я сопоставлял ее с другими данными.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

И вот есть график, его недавно показывали. Прогнозирование износа абразивного зерна, 40 слайд. Титановые сплавы меня интересуют. Концентрация титана 1 %. Что это такое?

Соискатель, Ардашев Д.В.

0,90, 0,95…

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну, хорошо, 0,95%. Что это за сплав?

Соискатель, Ардашев Д.В.

ВТ-5, ВТ-10, ВТ-15

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Титановый сплав. Вы что обрабатывали электрокорундом белым?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Мы их не обрабатывали. Мы на них исследовали коэффициент химического сродства. Спекали титановый сплав с электрокорундом белым.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А зачем? Потому что титановые сплавы, всем известно, хорошо обрабатываются ШК из карбида кремния.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Согласен.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

И надо было спекать с карбидом кремния зеленым. Все понятно…Скажите, как получен конус на абразивном зерне?

Соискатель, Ардашев Д.В.

В смысле – получен конус?

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну вот Вы в матмодели приняли абразивное зерно в виде конуса. Как Вы это обосновали?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Одной из форм геометрического тела, при помощи которого аппроксимируется единичное абразивное зерно является конус. Это указывается различными авторами, в том числе ими используется парабалоид, цилиндр, сфера, в том числе конус. В данном случае былл принят конус для того, чтобы получить математическую модель расчета площадки затупления, потому что именно площадка затупления используется в прогнозных моделях.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Это у Вас теоретическая модель.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Нам надо было принять форму зерна, чтобы получить математическую модель износа абразивного зерна.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну а почему сразу не принять форму зерна с площадкой износа, как С.Н. Корчак делал?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Мы приняли усеченный конус.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну, ладно. Дальше идем. Я так и не понял из доклада и из материалов, которые я посмотрел, у Вас что за шлифование – с продольной подачей, врезанием, черновое, чистовое, окончательное…ничего не сказано. Приводятся такие режимные параметры, что не понятно, как Вы их используете.

Соискатель, Ардашев Д.В.

На последних слайдах было рассмотрено круглое врезное шлифование.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

То есть врезное шлифование.

Соискатель, Ардашев Д.В.

В конце – да. Практическая реализация методики выполнена на примере круглого врезного шлифования. Но разработанная модель износа может быть очень легко адаптирована к различным схемам шлифования, поскольку в ее составе учитывается длина дуги контакта по формуле Е.Н. Маслова.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну мы еще перейдем к формуле Е.Н. Маслова. Так. Понятно, но черновое, чистовое, окончательное – какое?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Мы сейчас говорим о циклах шлифования? Или о шлифовании с постоянной подачей?

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Но шлифование с постоянной подачей бывает черновое, чистовое. У Вас – какое?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Скажем чистовое, поскольку чистовое шлифование подразумевает как раз формирование на единичном зерне площадки износа и обеспечение работы круга в режиме затупления.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Но ведь это черновые режимы – 0,2, 0,3…0,5 мм/мин.

Соискатель, Ардашев Д.В.

0,2…0,5? Это средние режимы. Вот из этого справочника. Здесь еще есть до 1,5 мм/мин и это считается чистовым шлифованием.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

И это чистовое шлифование?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да, вот здесь указанны эти цифры. Я могу Вам показать.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Чистовое шлифование? Я не рецензировал этот справочник. Теперь дальше, Вы рассматриваете какие зерна – режущие зерна, зерна, которые пластически деформируют, упругие? Какие?

Вы все контакты учитываете?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Никак нет.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Или только те, которые режут? И как Вы определяли режущие зерна?

Соискатель, Ардашев Д.В.

В прогнозных моделях вначале формируется рабочая поверхность ШК. И тот параметр, о котором Вы сейчас сказали – есть режущие, давящие, трущие зерна. Все это учитывается в прогнозных моделях. Режет всего 10 % зерен.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Понятно, но они где здесь?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Внутри, вот здесь вот, внутри алгоритмов прогнозных моделей шероховатости, силы и температуры.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

А чем правили?

Соискатель, Ардашев Д.В.

При экспериментальных исследованиях использовали правку алмазным карандашом.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

На каких режимах?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Режимы правки принимали те, которые указаны в справочнике.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

В работе Вы сказали, что если круг не удовлетворяет предъявляемым требованиям, то его снимают и ставят новый. Но если Вы ошиблись при прогнозировании? И для того, чтобы исправить ошибку ставится новый круг. Той же характеристики ставите или Вы снова пересчитываете?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Нет, ведь задачей вот этих разработок и всей методики как раз было решение двух задач: если у нас есть выбор кругов, то мы можем выбрать из имеющихся самый лучший. Может быть этим кругом будет круг, который стоит на станке уже, его нет необходимости менять. Но если по расчетам мы получим, что даже с заменой круга мы будем иметь эффект больше чем от того круга, который стоит на станке, то мы уже принимаем решении о замене круга, и пересчитывать ничего не надо.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Нет, ну, безусловно, прежде чем поставить новый круг мы его возможности анализируем.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Прогнозируем, получаем режимно-временную область и узнаем – какой из имеющихся кругов лучше того, который стоит на станке.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

По названию доклада легче Вам сменить заготовку, предположим, обработать этим кругом, раз у Вас многономенклатурное производство.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Совершенно верно, это один из ресурсов, дополнительных ресурсов методики континуального проектирования. Вы сейчас сказали об управлении заказами. Если стоит ШК, который больше годится для того заказа, который на следующий день у нас запланирован, если есть возможность, то мы его сейчас обработаем, чтобы избежать замены круга, конечно. Но это если позволяют временные рамки заказов.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Потом такой вопрос. Вы сказали, что Вы исследовали ШК, работающие в неоптимальной области. Для чего Вы тратили время?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Возможно да. Смотрите, в многономенклатурном производстве, как я сказал в докладе, мы не имеем возможности постоянно менять круги. Это довольно невыгодно – простои оборудования и так далее. Поэтому, в ряде случаев получается так, что мы вынуждены обрабатывать небольшую партию заготовок кругом, который не рекомендован к применению, то есть не оптимальным.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Самый элементарный вопрос. Сколько стоили те круги, с которыми Вы работали?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Стоимость кругов? Чуть больше 1000 рублей. Но это было давно.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

На какой связке?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Это керамика, К11, ЧАЗ.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

А другие керамики? Мы вот тут в кулуарах рассуждали, говорят, что не указывается полная характеристика ШК. Как же заказать оптимальный круг и как Вы сможете этот круг проанализировать если, предположим, нет четких характеристик. И нет четкой стабильности у тех кругов, даже, которые поступают в партии.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Ну, на счет стабильности, как сказать, если продукция сертифицирована и изготовитель несет ответственность за качество своей продукции тут уже говорить о дисциплине нужно тогда, о стабильности продукции. А то, что Вы сказали, что не маркируется сейчас – для работы вот этой всей методики, изложенной в докладе, нужно знать все равно характеристики круга в

соответствии с ГОСТом – марку материала зерна, зернистость, твердость, связку и так далее. Это нужно знать.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Ну, ясно. А температура, как оценивалась температура?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Температура – по прогнозной имитационной стохастической модели. Вот она приведена на слайде.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Продолжительность, теплового источника, наверное, а не интенсивность.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Не интенсивность, величина теплового источника.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Это что – температура?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Нет, величина площадки износа на зерне, это величина контакта, площадь контакта.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Как учитывалась температура – повторяю вопрос.

Соискатель, Ардашев Д.В.

В чем?

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Ну, температура, как оценивалась температура?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Теоретически, по модели.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Ну, в общем-то, наверное, пока все.

Председатель.

Александр Анатольевич.

Д-р техн. наук, профессор Дьяконов А.А.

Подскажите, пожалуйста, вот все мы знаем, круглое врезное шлифование на 90% представляет из себя цикл шлифования. Как вот эти рекомендации можно применить для проектирования циклов шлифования.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Понятно. Значит, ну начнем с того, что первым этапом при проектировании любого цикла шлифования является выбор характеристики круга. Методика, которая изложена в настоящей работе, может послужить основой для выбора характеристики круга. Потому, что сейчас изложено в нормативных рекомендациях, оно малоработоспособно. Далее, на каждой ступени цикла у нас есть все исходные данные, чтобы использовать вот эту методику. Есть величина снимаемого припуска, есть величины по ограничениям на каждой ступени, поэтому можно сказать, что каждая ступень цикла шлифования может быть спроектирована с использованием методики континуального проектирования. И еще здесь добавляет то, что мы можем отслеживать в пределах

каждого цикла, ведь на циклах есть ось времени, а в имеющихся рекомендациях это время нигде не учитывается, абсолютно. Отсюда и название работы – континуальность, использован такой термин. Вот в данном случае на каждой ступени мы можем оценить изменение показателей-ограничений во времени работы круга с ростом площадки затупления на абразивном зерне. Поэтому циклы – это вполне здесь можно использовать.

Д-р техн. наук, профессор Дьяконов А.А.

Еще второй вопрос. Вот Вы знаете – на ЧТЗ выпускают двигатель для нового танка «Армата» и стоят импортные станки, применяются импортные круги. Вот с помощью этой методики можно, например, наподобие того, что справочник Ивашинникова, перевести это все производство с импортных кругов на отечественные?

Соискатель, Ардашев Д.В.

С импортных на отечественные?

Д-р техн. наук, профессор Дьяконов А.А.

Известен материал коленвала, например. То есть надо просто на импортный станок поставить наш, отечественный круг. Так как мы изготавливаем такие ответственные детали, от которых зависит обороноспособность страны.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Надо проанализировать, спрогнозировать работоспособность.

Д-р техн. наук, профессор Дьяконов А.А.

Теоретически это возможно?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Возможно, конечно. Спрогнозировать работоспособность наших отечественных кругов, применить к тем условиям, в которых используются в настоящее время импортные круги.

Председатель.

Д-р техн. наук Ковальногов В.Н.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

У меня несколько вопросов. Первый вопрос. Поясните, пожалуйста, связь причинно-следственную или логическую между прогнозированием работоспособности и повышением эффективности шлифования.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Значит, связь в следующем. Во-первых, после того, как мы расчетным образом спрогнозируем работоспособность ШК, который не установлен на станке, это позволит нам отказаться от производства пробной партии, от отладки техпроцесса. Мы заранее, в виртуальном пространстве, как я сказал в самом начале, будем знать как себя этот круг будет вести, если мы его поставим на станок и будем использовать в реальных условиях операции. То есть мы будем знать заранее. Кроме этого, в процессе прогнозирования и определения возможности использования данного круга мы получим наиболее эффективные режимы работы этим кругом, конкретным кругом в конкретных условиях. То есть мы за счет симуляции технологического процесса в вирту-

альном пространстве при помощи системы прогнозных моделей как бы симулируем техпроцесс и получаем, что будем иметь, но только в цифровом виде, заранее.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

А что показателем эффективности шлифования у Вас является?

Соискатель, Ардашев Д.В.

В данном случае рассмотрена техническая норма времени, минимум технической нормы времени, которая учитывает режущие свойства ШК – основное время, время, затрачиваемое на правку круга, поскольку это суммарное время оно зависит в том числе и от периода стойкости круга, от количества деталей, обработанных от правки до правки и время на замену круга. То есть здесь целевой функцией является минимум технической нормы времени.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Хорошо. Еще вопрос. Основной изюминкой Вашей работы, я так понимаю, является как раз континуальное проектирование.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Совершенно верно.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Поясните все-таки, что это такое? Континуальное, ну непрерывное.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да, да, постоянное.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Непрерывное – в процессе чего? Когда оно завершается и каков результат этого проектирования?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Континуальное проектирование я бы здесь пояснил с двух сторон. Первое, как Вы правильно сказали, непрерывное, в процессе производства, в принципе. То есть стоит ШК, на станке. Завтра запланирована партия заготовок для обработки. Мы обязаны выполнить континуальное проектирование. Послезавтра – следующая партия и так далее, постоянно. Непрерывно в производстве, проектирование.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

А результат проектирования мы когда увидим?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Сейчас. И второе. Вторая сторона этого термина, я бы сказал так: это эксплуатационные показатели рассмотрены во времени, рассматривается изменение показателей во времени. Этого нет ни в одном справочнике режимов шлифования. Аргумента – время нет ни в одном справочнике, ни в одних рекомендациях Вы не встретите. Только вот, впервые, в кандидатской диссертации и вот здесь мы рассматриваем изменение работоспособности круга во времени. И в связи с этим анализируем износ во времени, поскольку это как ключик, инструмент к прогнозированию всей работоспособности. Теперь что является результатом. Результатом может явиться режим шлифования, если у нас один круг конкретной характеристики и мы его «катаем», как говорится,

по этой методике, или характеристика круга и режим шлифования, если у нас несколько кругов на выбор.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Я правильно понял, что этот результат тоже будет меняться во времени, поскольку проектирование непрерывное.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Для каждой партии заготовок этот результат может быть свой. Может быть. А может быть один, если, например, у нас, мелкое предприятие и только один ШК. И на сегодня, и на завтра, и на послезавтра. И задача стоит эффективно использовать ресурс именно этого круга.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Хорошо. Еще немножко из другой оперы, по другой части вопрос. Вот основным объектом внедрения Вашей работы, как я понял, является справочник по режимам резания.

Соискатель, Ардашев Д.В.

В том числе, я бы так сказал.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Судя по презентации, по слайдам такой вывод напрашивается. В этой связи два вопроса. Первый вопрос. Справочник это работа целого коллектива, в чем здесь Ваш авторский вклад? А второй вопрос – справочник вышел в 12 году, если я не ошибаюсь, сейчас у нас на дворе 18 год.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Это второе издание. Первый то мы делали еще раньше.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Вот почему такой временной разрыв большой?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Значит, в плане авторства скажу, что в издании справочника 7 и 12 годов разработаны два раздела: это раздел по назначению марки материала абразивного зерна и раздел по выбору ориентировочного периода стойкости ШК, в котором впервые связана характеристика инструмента и режимы работы инструмента. Обращаю Ваше внимание, что в предыдущей версии издания 78 года, период стойкости определялся только исходя из виды шлифования, т.е. круглое, плоское и так далее и геометрии детали, то есть не даже было связи с характеристикой круга. Поэтому вот, что касается разделов справочника. А также я бы хотел еще раз заострить Ваше внимание, что были разработаны локальные нормативные документы – стандарт предприятия и руководящий технический материал, которые внедрялись уже не по всей России в целом, а на предприятиях Уральского региона. Это тоже результат применения методики континуального проектирования. Рекомендации, которые в справочнике, они, конечно, очень укрупненные, обобщенные, поскольку разработать рекомендации по проектированию операций в многономенклатурном производстве в виде какого-то издания, книги, ну на наш взгляд крайне затруднительно. Это надо перебрать не одну сотню тысяч возможных вариантов. А вот эти материалы, они позволяют как раз конкретному пред-

приятию, для конкретной операции, которая реализуется либо кругом конкретной характеристики, либо ставится задача выбора характеристики и режима шлифования, реализовать методику, которая представлена в данной работе.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

И теперь последний вопрос. Максимально кратко и емко поясните, пожалуйста, в чем состоит научная новизна и значимость Вашей работы? Так, чтобы мы поняли это все просто, но не упустили главного.

Соискатель, Ардашев Д.В.

В качестве научной новизны отмечу ее основные пункты. Прежде всего – разработана новая методика проектирования операций шлифования с учетом эксплуатационных возможностей ШК.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Хотелось бы слышать не общие слова – разработана методика, а в чем конкретно?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Методика, отличающаяся от существующих тем, что работоспособность любого ШК рассматривается для широкого диапазона различных технологических условий. Чего раньше не было сделано. Второй пункт научной новизны – разработана математическая модель износа единичного абразивного зерна. Третий пункт – разработана математическая модель величины площадки затупления на абразивном зерне, чего тоже раньше не было сделано, которая учитывает различные механизмы износа. Следующий пункт – разработана система прогнозных моделей для расчетного прогнозирования работоспособности ШК. Далее, разработана методика определения периода стойкости ШК в связи с его работоспособностью. Это тоже впервые сделано. И разработана методика прогнозирования работоспособности ШК в различных технологических условиях. Все эти пункты обладают научной новизной на мой взгляд.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Спасибо.

Председатель.

Все, да? Профессор Киселев Е.С., пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Я заинтересовался Вашими исследованиями в области износа. В частности, прогнозированием износа абразивного зерна, физико-химический износом. Можно открыть 36 слайд? Вы ссылаетесь на модель Лоладзе и Бокучавы. Дальше – очень интересная табличка. Значит, марки обработанных материалов и по каждой марке Вы представляете то, что является соединением, вступающим в реакцию с растворителем. Вот объясните, пожалуйста, почему для стали Вы считаете, что в реакцию вступает FeO, а для чугунов в реакцию вступает углерод?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Я понял Ваш вопрос. Нужно еще открыть слайд 23. Там указан ряд хи-

мического сродства со ссылкой на Владимира Юрьевича Шамина, он исследовал электро-химическое шлифование и вот в принципе, эти все задачи тоже поднимал. Значит, если мы посмотрим, то увидим, что, например, никель находится левее, чем феррум.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Я не про никель спрашиваю.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Нет, я говорю и поэтому феррум будет сильнее взаимодействовать с абразивным материалом, чем никель, например. Что касается кремнистой стали, легированной кремнием, здесь то же самое. Кремний находится гораздо правее, чем, например, железо.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Я не задавал этот вопрос. Я спрашиваю Вас конкретно. Вот для стали Вы в качестве растворителя утверждаете, что FeO, а для чугунов, это тоже сплав железа с углеродом, углерод. Вот почему так? Я же не говорю ни про кремнистые стали, ни про титановый сплав. Вот сталь – сплав «железо-углерод».

Соискатель, Ардашев Д.В.

Этот вопрос определения коэффициента предельной растворимости, эта таблица сформирована на основе большого количества литературных источников. В диссертации приведены они все, я, к сожалению, на память не могу сказать, и вот эти вот цифры, они получены как из соотношения стехиометрических коэффициентов в том числе, и вот эти уравнения реакций они тоже описаны в научной литературе, в том числе не посвященной шлифованию, а физхимии.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Здесь ссылок нет, значит я вправе утверждать, что это Ваши данные. Сошлитесь, что Шамин, Дьяконов, Носов говорит, что для чугунов вступает в реакцию углерод, а для сталей вступает FeO.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Если мы посмотрим на вот этот ряд активности, мы увидим, что углерод гораздо активнее, чем феррум. Поэтому в чугуне он рассматривается как основное вещество.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

В стали почему углерод не рассматривается?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Его мало. Железа больше.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну, это еще вопрос. Здесь тоже одна и та же концентрация. Вы же берете одну марку чугуна – СЧ-20.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Евгений Степанович, Вы поднимаете очень большой вопрос. Если здесь будет находиться, например, какой-нибудь сплав 36НХТЮ или 12Х18Н10Т, то это надо будет выполнять анализ каждого элемента, вступа-

ющего в физико-химическое взаимодействие и система гораздо усложнится. Я в принципе согласен с Вами, что нужно проводить в дальнейшем, возможно уточнение вот этой методики.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Вы преподносите нам эту таблицу, не вполне уверены Вы в этом.

Соискатель, Ардашев Д.В.

В том, что в таблице я уверен абсолютно.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну, вот Леонид Викторович Вам задавал вопрос. Тогда почему у Вас физико-химический износ, почему здесь нет СОЖ? Химически активные внешние среды, наверное.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Согласен.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Выбросили все из концепции, сосредоточились и заставляете нас поверить, что в чугунах это углерод самое главное, а в стали – окись железа. Следующая страница. Просто вот чисто вопрос. Вот здесь формула коэффициента сродства. О какой прослойке идет речь?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Диффузионной прослойке, вот она здесь. Ее плохо видно. Возникшая в результате физико-химического взаимодействия абразивного и обрабатываемого материалов.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

И это Вы вот таким образом считаете.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Расчетным образом, да.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ее можно определить эту прослойку, толщину?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да, вот.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Экспериментально получается?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да, экспериментальным путем.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ладно, 39 страница. Вот опять некая таблица, матрица марок материалов. Ну ладно, там что касается углерода, можно еще чего-то говорить. От 0,2 до 0,4. Ну а дальше, какие могут быть выводы по хрому? По никелю. Там 0,1…1…3, две точки, если по химсоставу ориентироваться. Тоже самое, значит, по хрому. Ладно, 0,2, 0,3, 0,5. Вообще экспериментальные данные по трем точкам нельзя, а Вы делаете какие-то выводы по двум точкам.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Почему по двум? По трем.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну, вот никель возьмите. 0 – это точка?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Ну, то есть, нет никеля.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну как можно вывод делать? А на следующей странице до нулевой точки вообще нет ничего.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Потому что он в качестве примеси может там присутствовать.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Откуда? Примесь может присутствовать? В стали. Это не марганец. Не сера. Откуда никель там может присутствовать? Никакой примеси там нет. И здесь. Снова к 39 странице. Ну тот вопрос, который Николай Васильевич задавал, он мне вообще выглядит странным. ВТ-3, ВТ-5, ВТ-15. Это вот зачем такие марки титановых сплавов Вы выбрали? С какой целью? Для чего?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Потому что по справочным данным в них концентрация титана разная.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

А покажите мне этот справочник, где есть расшифровка титанового сплава ВТ-3, ВТ-5 и ВТ-15. Я вот что-то таких справочников не знаю. И насколько мне известно все эти марки они закрытые, не публикуются.

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

Нет, есть ГОСТ, открытый ГОСТ на все марки титанового сплава.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

И химсостав?

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

И химсостав.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

И что – 3%, 5%, 15% что ли? Как это? Из каких соображений взяли?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Нет, не 3, не 5…

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну а сколько?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Вот здесь проценты лишние, это доли, целые доли…Там 0,85…85 %...

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

1,0 это какой сплав? 100% титана.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да нет тут точки 1,0, это на шкале просто 1,00.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

А 0,85 это какая партия?

Соискатель, Ардашев Д.В.

По-моему это ВТ-3, но я могу ошибаться.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Да это не ВТ-3. ВТ-1.0.

Председатель.

ВТ-1.0 – это чистый титан.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Вот он и имеет 95…98%. Все. А ВТ-3 никогда не имел.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Я могу ошибаться, но ВТ-3, ВТ-5 и ВТ-15 отличаются и имеют разное количество титана. Сколько, какой – я не помню просто. В диссертации у меня указано.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Вот Вы дальше, на следующей странице, приводите прогнозирование коэффициента сродства по уравнению, где х – концентрация элемента. Так что, здесь подставлять на основании предыдущей Вашей страницы?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Совершенно верно.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Что, вот титан я возьму и подставлю, да?

Соискатель, Ардашев Д.В.

0,85 подставите и получите величину коэффициента сродства. 0,83 подставите …

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Формула проверена?

Соискатель, Ардашев Д.В.

С 90% вероятностью.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну, я думаю, что не 90% а 0,09%. Не больше, поскольку что касается титанового сплава вот ни за что Вам не поверю. Значит есть какой то массив информации у Вас по сталям, может быть по углероду, но по титану взяли первые попавшиеся три марки и делаете такие выводы, что у Вас 90% – нет. Это несколько самоуверенно. Спасибо. Нет вопросов.

Председатель.

Профессор Захаров О.В.

Д-р техн. наук, доцент Захаров О.В.

Когда Вы говорит об износе ШК, то оперируете износом единичного зерна. Ну, это износ рабочей поверхности он ведь этим не исчерпывается. Зерно может раскалываться, зерно может выкрашиваться. Это каким то образом учитывается?

Соискатель, Ардашев Д.В.

В рамках настоящего исследования мы рассматривали ШК, работающие в режиме затупления, то есть с преимущественным формированием площадок износа на зернах. То есть ни скалывание, ни выкрашивание, ни вырывание зерна из связки не рассматривалось, поскольку это уже соответствует режимы частичного самозатачивания, либо режиму затачивания, что

характерно для нагруженных операций – для обдирочного шлифования в частности.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

А засаливание?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Относительно засаливания могу сказать, что в работе, в диссертации об этом у меня указано. Мы использовали критерий, предложенный профессором Худобиным Л.В. и профессором Уняниным А.Н. Ими предложен критерий – температура, которая обеспечивает формирование налипа в поре круга. Но если она не превышает определенной величины, то этот налип со временем отваливается и уносится в шлам. То есть температура, которую мы спрогнозируем, она может быть использована не только для обеспечения бесприжоговости обработки, но и для обеспечения условий, которые обеспечивают отсутствие засаливания. Если это условие не выполняется, то появляется еще одно ограничение работоспособности круга.

Д-р техн. наук, доцент Захаров О.В.

И второй вопрос. Там где Вы говорите об оптимизации. Не совсем понятно, может быть, поясните. Там дискретная оптимизация?

Соискатель, Ардашев Д.В.

А где конкретно? Какой слайд?

Д-р техн. наук, доцент Захаров О.В.

Вот Вы приводите целевую функцию.

Соискатель, Ардашев Д.В.

График зависимости целевой функции от режима, от величины радиальной подачи.

Д-р техн. наук, доцент Захаров О.В.

Это все-таки дискретная оптимизация?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да. Там, где мы уже вынуждены выбирать режим шлифования, мы назначаем их с определенным шагом, там дискретная оптимизация.

Д-р техн. наук, доцент Захаров О.В.

А какой метод решения тогда используется, ибо от этого существенно зависит результат?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Метод решения – полный перебор. Полный перебор всех возможных вариантов. Их не так много…

Д-р техн. наук, доцент Захаров О.В.

Хорошо, полный перебор является как бы строгим методом решения, но не производительным. Хорошо, спасибо.

Председатель.

Евгений Степанович.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Еще вопрос забыл. По 42 странице. Вот модель величины износа абразивного зерна. Вот дальше Вы пишите: разработанная модель учитывает раз-

личные механизмы протекания износа абразивного зерна. Покажите вот, у Вас там два механизма – механический и физико-химический, как они в этой модели учитываются.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Первое слагаемое – это модель, полученная из долговечности, из модели долговечности – механический износ, второе слагаемое – полученное из модели Лоладзе Т.Н. и Бокучавы Г.В.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Второе – текущее состояние рабочей части абразивного зерна.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Совершенно верно.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Во-первых, что включает в себя понятие текущее состояние? Степень износа абразивного зерна?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Величина площадки износа, имеющейся на зерне.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну, износа.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да, величина площадки износа.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

И что вот здесь вот есть?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Во втором слагаемом вот она – *l*з.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Вы их как то можете просто проверить что ли? Вот эту площадку износа? Как ей воспользоваться?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Это площадка, рассчитанная на предыдущем этапе расчета, на предыдущем шаге расчета.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Но ведь, согласитесь, ориентация зерен может быть самой различной.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Согласен.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Так. Технологические условия эксплуатации инструмента. Что Вы понимаете под технологическими условиями и вот Ваши модели. Где они видны? Кроме диаметра, скорости… что еще?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Поскольку приведенная на слайде модель величины износа при шлифовании реализована для схемы круглого врезного шлифования, то есть здесь в качестве технологических условий выступают скорость вращения заготовки, скорость вращения круга, геометрические их параметры – диаметры и скорость радиальной подачи круга. Вот она – vSрад.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Я вижу здесь наследие Маслова Е.Н.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Конечно, длина дуги контакта.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну эту теорию давно вроде бы похоронили, во всяком случае ее раскритиковали, это еще сделал Королев А.В. и все остальные. Вот сейчас, значит по данным Тольяттинской школы, они нам приводили публикации, в Соединенных Штатах Америки осуществляется процесс шлифования на скоростях, кольца подшипников шлифуют, 200…300 метров секунду. Неужели Вы думаете Ваша модель, она подходит в свете того, что модель Маслова вообще использовать практически нельзя и она дает неправильный результат.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Напрямую, наверное, нельзя использовать. Но в общем, методика не изменится. Подход то не изменится. А уточнение модели износа и уточнение прогнозных моделей для различных скоростей, для различных марок материалов – керметов, керамик и так далее, оно возможно, конечно. Методологически то проектирование не изменится.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Для чего у нас пытаются создать модели? Чтобы ими можно было воспользоваться. Вашей моделью воспользоваться нельзя.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Ну в нашей стране 200…300 метров не распространены. Вот когда мы к этом придем…

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Любая научная работа она должна учитывать перспективы, а не то, что было 100 лет назад.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Согласен. Перспектива здесь в многономенклатурном производстве.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

И четвертое здесь – механические и физико-химические свойства абразивного и обрабатываемого материалов. Где в Вашей формуле механические характеристики, например стали 20Х13. Как это уложить в эту формулу, модель износа. И титанового сплава. Какие?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Механические характеристики используются при моделировании контактного взаимодействия единичного абразивного зерна с заготовкой для определения напряжений в теле абразивного зерна, которое используется в расчете долговечности абразивного зерна, при помощи которой можно перейти к механическому износу абразивного зерна, то есть первому слагаемому этой модели, которая у Вас открыта в слайдах.

Председатель.

Спасибо. Профессор Бобровский Н.М., пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Я так понял, страница 24, жидкость – это СОЖ?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да, здесь в том числе, с натрием было.

Д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

СОЖ или не СОЖ?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Судя по всему да.

Д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Дальше – страница 32. Вот у Вас видите – материал сталь 45. Это в состоянии поставки или как?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Материал сталь 45, это ее характеристики в том состоянии, в котором она шлифуется, закаленная.

Д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Можно ли на все вот эти материалы…они уже закаленные что ли?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Не обязательно. Просто в данной таблице приведены исходные данные, в качестве обрабатываемого материала здесь просто приведена сталь 45. В качестве примера.

Д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Меня просто интересует, в качестве примера, из гаммы материалов выбран какой-то конкретный.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да. Для примера. Можно было и другой материал взять. В любом состоянии.

Д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Страница следующая – 33. А вот размеры площадки затупления, они в миллиметрах квадратных или вот как-то линейно?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Нет, здесь линейно. Зерно аппроксимировалось конусом.

Д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

А, для этой модели – аппроксимация, Вы выбрали критерий – линейный. Понял. А я думал миллиметр квадратный. Все, спасибо!

Председатель.

Так, есть еще вопросы? Тогда давайте я в завершении вопросы задам тоже. Вот, пожалуйста, вот у Вас достаточно большое количество моделей – износа, еще, периода стойкости…Адекватность Вы проверяли?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Результаты прогнозирования величины площадки затупления расчетные мы сопоставляли с результатами прямого измерения площадок на реальном ШК, сопоставляли с данными профессора Дьяконова А.А., которые он излагал в своих работах, ну вот профессор Корчак С.Н. и Маталин А.А. они

принимали константу. Значит, сопоставляли с рядом экспериментальных данных.

Председатель.

Вот 45, 46, 47 страницы. Вы ссылаетесь на результаты вроде бы использования модели Дьяконова А.А., а говорите про сопоставление адекватности.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Но расчет-то велся вот по этой модели с учетом модуля расчета площадки, которая разработан по модели, предложенной в этой работе.

Председатель.

То есть Вы сравнили свои результаты с моделью, которая была Дьяконовым А.А. сделана?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Да. Расчетные данные сравнили с данными эксперимента.

Председатель.

И еще один вопрос. Вы сказали, что прогнозируете работоспособность ШК для каких-то технологических условий. Вот, что это за условия?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Это схема шлифования, геометрия обрабатываемой заготовки – диаметр, длина, марка материала, характеристики круга – марка материала зерна, зернистость, твердость круга,

Председатель.

В эти условия входит, марка материала обрабатываемой заготовки, которая может быть не только разной геометрической формы, а еще изготовляться разных материалов?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Конечно. Разные марки это тоже составляющая технологических условий.

Председатель.

Хорошо, тогда вот поясните, пожалуйста, как можно прогнозировать работоспособность во времени? Не могу что-то понять… Работоспособность это, как мы всегда говорим – состояние режущего инструмента выполнять свою заданную функцию.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Совершенно верно.

Председатель.

А вот во времени…Я понимаю так, если она с течением времени меняется, но не выходит за пределы тех, которые мы еще не достигли. То есть она вот потеряет тогда работоспособность, когда не обеспечит, допустим, параметр шероховатости, параметр точности.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Согласен, абсолютно правильно.

Председатель.

А вот что значит во времени?

Соискатель, Ардашев Д.В.

Прогнозирование ведется не работоспособности во времени, а показателей работоспособности. А вот эти три показателя применяются для описания таких выходных показателей процесса, как температура, шероховатость… Они в целом характеризуют работоспособность круга.

Председатель.

Так, это вот идет речь о плакате… 48…50

Соискатель, Ардашев Д.В.

Определение режимно-временной области возможной эксплуатации круга уже определяется с учетом ограничений, например, по шероховатости шлифуемой поверхности.

Председатель.

Еще вот Вы отвечая на вопрос, мне кажется, произнесли фразу про стойкость инструмента. Как я понял, Вы оцениваете период стойкости ШК в зависимости от его работоспособности.

Соискатель, Ардашев Д.В.

Конечно!

Председатель.

На мой взгляд, период стойкости ШК и работоспособность вроде бы синонимы, это одно и то же. Что работоспособность инструмента характеризуется периодом стойкости. От и до. Как вот здесь?...

Соискатель, Ардашев Д.В.

Ведь, смотрите, если мы обратимся к справочным данным, то увидим следующие сведения. Круг определенного диаметра при обработке заготовки диаметром, допустим 100, имеет вот такой период стойкости. Ни требований по точности и шероховатости, ни марки материала, ни условий, в которых круг работает. Как можно тогда всем кругам говорить, что у них стойкость 20 минут. Определение периода стойкости должно вестись исключительно во взаимосвязи с двумя величинами – это работоспособность круга или показатели работоспособности и обязательно наличие технологических ограничений, потому что стойкость ШК может измениться только на определенной операции шлифования, когда известны все условия, в которых ШК работает.

Председатель.

Все. Спасибо! Есть еще вопросы? (нет). Так, вопросов нет. Пожалуйста, присаживайтесь. Есть предложение – будем делать технический перерыв? (да). Делаем, да? Давайте – 5…7 минут. И не разбегайтесь, а через 7 минут – все на месте.

Технический перерыв.

После перерыва.

Председатель.

Все в сборе, да? Продолжаем наше заседание. Слово предоставляется научному консультанту работы – д-ру техн. наук, профессору Гузееву Виктору Ивановичу. Виктор Иванович, пожалуйста.

Научный консультант, д-р техн. наук, профессор Гузеев В.И.

Уважаемые члены диссертационного совета, уважаемый председатель, отзыв мой в деле есть, поэтому разрешите мне, тезисно охарактеризовать соискателя. Я хочу сказать то, что Дмитрий Валерьевич практически все свою сознательную жизнь занимался шлифованием. Начиная с магистратуры и с учетом того, что он уже обучаясь в магистратуре на втором курсе поступил работать во ВНИИАШ, в наш филиал Челябинский, вот и, соответственно, там он, начиная с инженера-исследователя, доработал до начальника отдела. Работая в этом научно-исследовательском институте, соответственно у него была возможность, а точнее необходимость, внедрения на заводах, которые в этом НИИ были. Поэтому, у него образовался некий запас, кругозор технологический, ну и, будучи в аспирантуре, он занимался тоже шлифованием. И вот тогда на этом этапе уже стало видно, что те характеристики круга, которые выдает производитель, они очень скудные для того, чтобы воспользоваться ими для проектирования технологического процесса, необходимо знать набор характеристик, показателей, который должен быть расширен. Стало ясно, что, действительно, есть некая область работоспособности круга, и она не такая узкая, как ее рекомендуют справочники. То было еще временем массового производства, и, собственно, по всем другим видам обработки проектирование технологических процессов велось в основном с использованием справочников. Я скажу совершенно точно, потому что на нашей кафедре занимались как раз очень много лет разработкой справочных нормативов под эгидой Центрального комитета по труду, ЦБНТ, и вот тогда выпускались эти справочники. Значит то, что Вы сказали о том что справочники выпуска 2012 года, а сейчас 18, да, если посмотреть справочники технолога-машиностроителя, то последний справочник был, если мне помнится, в 2005 году и до сих пор нового нет справочника, вот, а пользоваться этим старым, на мой взгляд, просто невозможно. Изменилось все. И, соответственно, вот это многономенклатурное производство, которое, сегодня как раз и требует совершенно новых подходов собственно к проектированию технологических процессов. Таких вот подходов пока нет. Производство есть, а подходов пока очень мало. Единственное – могу привести пример, буквально, меньше чем полгода назад, в Пензе защищалась диссертация, которая была подготовлена в Саратовском университете. Она примерно такого же плана, собственно направлена на эффективное использование лезвийного инструмента. Как сегодня мы проектируем технологический процесс? Справочниками пользоваться практически нельзя. Что есть у технолога? Практически ничего нет. Поэтому когда ведется анализ операций шлифования, чем как раз занимался Дмитрий Валерьевич, там стало ясно, ну, что действительно берут то, что есть, и шлифуют то, что надо. Шлифуют на каких режимах? Какая эффективность обработки? А сегодня у Правительства есть программа по повышению производительности труда. И в регионы сейчас спускают эти документы с тем, чтобы организовывать центры компетенций по производительности труда. В регионы. Вот. За счет чего эта производительность труда может

быть повышена? В первую очередь – за счет того, что, это собственно требование производства. Мы вынуждены работать с меньшим временем, затрачиваемым, именно, на проектные работы. На проектирование технологических процессов. Но при этом, это проектирование должно обеспечивать качественную продукцию, выполненную в какой-то определенный срок. Как это сделать? Лично мне представляется, что сегодня можно проектировать технологический процесс только на основе прогнозного проектирования. То есть мы заранее должны что-то уже хотя бы, не на 100%, но мы должны понимать, получится у нас требование, которое в чертеже указано или не получится, получится данная производительность или не получится. Какие при этом будут затраты? Это надо знать заранее, потому что времени на проектирование нет. Вот имеются САПРы, которые, можно сказать, существуют. Значит, если мы посмотрим, на решение технологических вопросов – ни один производитель САПРов на себя ответственности не берет. Потому что они понимают, что если там что-нибудь не так, у них не купят этот САПР. Только и всего. А раз новое производство, то нужны новые методики, новые подходы к проектированию самих технологических процессов. Значит, конечно, они должны быть построены на имеющихся, либо вновь создаваемых моделях, которые используют данное проектирование. Естественно, что чем лучше, качественнее эти модели, тем и качественнее будет эта методика. Лучше будет результат использования этой методики. Ну мне, про работу то…

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

Про работу-то вообще не надо.

Научный консультант, д-р техн. наук, профессор Гузеев В.И.

Ну вот собственно сегодня как раз и представлен вариант вот такой методики проектирования, который позволяет уменьшить время на подготовку производства, но при этом обеспечить наименьшие затраты на выполнение самой операции и наименьшие затраты на использование инструмента за счет его более эффективного использования. И, конечно, для того, чтобы это обеспечить, нужны вот эти вот все модели. Понятно, что прогнозное проектирование сегодня строится на основе неких комплексных моделей или моделей имитационного моделирования, собственно, что в этой работе и представлялось. Методы решения могут быть разные. Когда речь идет об одном диапазоне тех же самых подач, тут прямой перебор – это, как бы, самое простое решение. Второе, связанное как бы с организацией самого технологического процесса, это использование инструмента в связи с тем, что время смены инструмента достаточно большое, что повышает саму эффективность его использования. Поэтому результат – это уменьшение времени проектирования и времени на смену инструмента, за счет рациональных режимов, которые привязаны, именно, к конкретным технологическим процессам, то есть конкретной детали, конкретным условиям производства и, соответственно, конкретному кругу.

Теперь я скажу о соискателе. Во-первых, опубликовано достаточно много статей. Когда обычно встает такой вопрос степень участия соискателя,

да? Ну я могу с сказать совершенно точно, что степень весьма высокая, Почему? Потому что, скажем, все эксперименты проведены его собственными руками, иных лабораторий, честно говоря, уже и нет, все работы проведены самостоятельно. Поэтому уровень участия большой. Ну а все остальное Вы оцените сами.

Председатель.

Спасибо Виктор Иванович. Слово предоставляется ученому секретарю Николаю Ивановичу Веткасову для оглашения заключения организации, где выполнялась работа и отзыва ведущей организации. Пожалуйста.

Ученый секретарь.

Заключение федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» подписано Шаламовым Павлом Викторовичем и утверждено ректором университета профессором Шестаковым А.Л. Отмечается, что диссертация Ардашева Дмитрия Валерьевича «Повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов» выполнена на кафедре технологии автоматизированного машиностроения. В период подготовки диссертации Ардашев Дмитрий Валерьевич работал в Южно-Уральском государственном университете, отмечается актуальность работы, которая заключается в разработке новой методики проектирования операций шлифования, разработке технологических условий. Показано, что перспективным направлением повышения эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве является создание новой методики проектирования операций шлифования, основанной на прогнозировании работоспособности ШК. Отмечается, что соискатель лично предложил концептуально новый, научно-обоснованный подход к проектированию операций шлифования в многономенклатурном производстве. В результате выполнения работы соискателем создано научное и технологическое обеспечение проектирования операций шлифования в условиях современного производства, что позволило повысить эффективность таких операций за счет сокращения времени обработки. Отмечается научная новизна полученных в диссертации результатов. Например, отмечается, что разработана математическая модель долговечности абразивного зерна при шлифовании, разработана математическая модель величины износа абразивного зерна, учитывающая время его работы, разработана методика определения периода стойкости ШК. Отмечается практическая значимость результатов, полученных в работе. В частности, отмечается комплекс инженерных методик континуального проектирования операций шлифования в условиях многономенклатурного производства, алгоритмическое и информационное обеспечение модуля технологической подготовки производства, реализующего методику континуального проектирования операций шлифования. Отмечаются результаты опытно-промышленных испытаний. Степень достоверности достаточная, для того, чтобы говорить о достоверности результатов, полученных в результате

работы. Отмечается, что основные положения диссертационной работы доложены на 33-х Всероссийских и Международных конференциях и семинарах. Отражены в многочисленных публикациях, в том числе в 18 статьях в журналах из списка ВАК, 14 статьях в зарубежных журналах (цитируемых Scopus и Web of Science). Автором издано 2 монографии, 2 справочника по режимам шлифования, получено 3 патента на полезные модели, выполнено 4 отчета о НИР. Автореферат отражает основное содержание работы. Отмечаются, как я уже говорил, высокая публикационная активность соискателя, в частности, отмечается 32 статьи, технологические рекомендации (3), 2 монографии, 4 отчета по НИР, 2 патента и другие публикации. В заключении организации отмечается, что диссертация Д.В. Ардашева является завершенной самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложена новая методика проектирования операций шлифования, позволяющая повысить их эффективность за счет прогнозирования работоспособности и определения режимно-временной области эффективной эксплуатации инструмента в широком диапазоне технологических условий, что позволило решить актуальную научную проблему, имеющую важное хозяйственное значение. Диссертация «Повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов» Ардашева Дмитрия Валерьевича удовлетворяет требованиям ВАК к диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Тема и содержание диссертации полностью соответствует выбранным специальностям 05.02.07 и 05.02.08. Заключение принято на заседании кафедры технологии автоматизированного машиностроения Южно-Уральского государственного университета. Присутствовало 18 человек, в том числе 4 доктора техн. наук. Результаты голосования: за – 18, против –нет, воздержались – нет. Протокол заседания № 6 от 27 марта 2018 года.

Председатель.

Так. Отзыв ведущей организации.

Ученый секретарь.

Ведущая организация – Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Отзыв составлен заместителем заведующего кафедрой «Инновационные технологии машиностроения» д-ром техн. наук, профессором Макаровым В.Ф. и утвержден проректором по науке и инновациям Пермского национального исследовательского политехнического университета Каратаевым В.Н. Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет», состоит из введения, списка основных сокращений и условных обозначений, семи глав, общих результатов и выводов, списка использованных источников – 465 наименований, четырех приложений. Основное содержание работы изложено на 351 странице, включая 88 рисунков и 59 таблиц. Также, как и в отзыве организации, в которой выполнена диссертация, в отзыве ведущей организации отме-

чается актуальность темы диссертации, в заключении отмечается, что тема диссертации Ардашева Д.В. является, несомненно, актуальной. Отмечаются основные научные результаты исследований и разработки, которые составляют научную ценность и новизну диссертации и выносятся на защиту. Математическая модель размера площадки затупления абразивного зерна, в которой впервые произведена дифференциация механизмов износа на механический и физико-химический и учтено время работы абразивного зерна, создана методика прогнозирования эксплуатационных показателей ШК, разработана методика определения периода стойкости ШК, которая основывается на определении режимно-временной области возможной эксплуатации ШК. Отмечается степень обоснованности и достоверности научных положений, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Отмечается, что достоверность результатов аналитических разработок подтверждается совпадением результатов расчета с результатами натурных экспериментов. Подчеркивается практическая значимость результатов работы, которая, в частности, заключается в разработке раздела справочника по режимам шлифования, позволяющего назначать марку абразивного зерна при выборе характеристики ШК, разработан руководящий технический материал «Круги шлифовальные. Прогнозирование эксплуатационных показателей шлифовальных кругов при обработке различных марок сталей и сплавов». Результаты, полученные в диссертационной работе Д.В. Ардашева, открывают перспективы создания нормативно-справочной литературы новой концепции, подразумевающей эффективное использование ресурса работоспособности инструмента в различных технологических условиях.

Замечания по диссертационной работе (4 замечания). 1 замечание. Работа посвящена многономенклатурному производству – условиям, в которых осуществляется частая смена изготавливаемых деталей. При этом не рассматриваются предприятия с устойчивой номенклатурой выпускаемых изделий. Не ясно – могут ли результаты работы применяться в условиях таких предприятий. 2 замечание. В работе рассмотрены ШК, изготовленные из электрокорунда, работающие по схеме круглого врезного шлифования. Не ясно, можно ли применять разработанную автором модель размера площадки затупления абразивного зерна для инструментов из других абразивных или сверхтвердых материалов, других схем шлифования. 3 замечание. В работе не прослеживается четко форма представления результатов прогнозирования работоспособности инструмента. В некоторых местах диссертации употребляется термин «технологический паспорт», в других – «карта применимости». Последнее замечание. Процесс шлифования – процесс цикловой. Не понятно, каким образом можно «встроить» методические разработки автора в методологию проектирования циклов шлифования.

Приводится общая характеристика диссертационной работы Дмитрия Валерьевича Ардашева. Диссертация Дмитрия Валерьевича Ардашева является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся

новые научно-обоснованные технологические и технические разработки направленные на повышение эффективности операций шлифования, реализуемых в условиях многономенклатурного производства. На основании выполненных автором исследований разработаны теоретические и практические положения, в совокупности решающие научную проблему, имеющую важное значение для предприятий машиностроения, осуществляющих технологические процессы абразивной обработки. Тем самым диссертация соответствует разделу II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют заявленным специальностям 05.02.07 и 05.02.08. Работа выполнена на достаточно высоком научно-теоретическом уровне, методики и средства выполненных исследований соответствуют решаемым задачам. Результаты математического и численного моделирования и натурного эксперимента, полученные соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов. Диссертация имеет определенную практическую ценность, так как предложенная соискателем методика проектирования операций шлифования, выполняемых в условиях многономенклатурного производства, обеспечивает существенное повышение их эффективности за счет учета работоспособности инструмента. Содержание автореферата отражает основные положения работы и доказательства их истинности. На основании вышеизложенного считаем, что диссертация Ардашева отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Ардашев Дмитрий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.02.07 и 05.02.08. Отзыв обсужден и принят на расширенном заседании кафедры «Инновационные технологии машиностроения» Пермского национального исследовательского политехнического университета, протокол № 12, от 31 мая 2018 г.

Председатель

Все, да? На автореферат диссертации поступило 18 отзывов. Все они положительные. Если не возражают члены совета – предлагаю заслушать отзывы. Как мы обычно это делаем. Не возражаете? Согласны? У каждого члена совета в этот раз у нас есть, они перед глазами у Вас. Николай Иванович, пожалуйста.

Ученый секретарь.

Всего поступило 18 отзывов.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Зачем, нам это доложено же уже. Тут же есть – отзыв, организация, подписанты, все есть!

Председатель.

Краткий обзор надо сделать.

Д-р техн. наук, Ковальногов В.Н.

Краткий обзор уже сделан – 18 отзывов, все положительные.

Д-р техн. наук, профессор Дьяконов А.А.

Просто – от каких организаций тогда и все.

Председатель.

Тогда какие организации прислали?

Ученый секретарь.

Ограничимся тогда перечнем организаций, которые прислали отзывы. Все отзывы положительные, есть замечания. Из федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» поступил отзыв, 2 замечания. Второй отзыв поступил из Санкт-Петербургского политехнического университета, 2 замечания. Третий отзыв поступил из Сибирского государственного университета путей сообщения, г. Новосибирск, 3 замечания. Четвертый отзыв поступил из Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, 2 замечания.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Зачем, все-таки я не пойму, перечислять все эти отзывы. Перед нами есть хорошая бумага, где все перечислено. И ответы есть. Зачем мы теряем время?

Председатель.

У нас так первый раз, в том плане, что роздано членам совета. Обычно не раздавали. Зачитывали. По Положению ученый секретарь обязан сделать обзор отзывов. Поэтому, значит, в соответствии с Положением. Три минуты потерпим.

Ученый секретарь.

Пятый отзыв из Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 3 замечания. Шестой отзыв из Владимирского государственного университета, одно замечание. Седьмой отзыв из Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, 2 замечания. Восьмой отзыв из Омского государственного технического университета, 3 замечания. Девятый отзыв из Иркутского национального исследовательского технического университета, 2 замечания. Десятый отзыв из Комсомольского-на-Амуре государственного университета, замечания 4. Одиннадцатый отзыв из Уфимского государственного авиационного технического университета, замечаний 5. Двенадцатый отзыв из Юго-Западного государственного университета, г. Курск, замечаний 4. Из Севастопольского государственного университета, замечаний 5. Четырнадцатый из Тюменского индустриального университета, 1 замечание. Пятнадцатый отзыв из Воронежского государственного технического университета, 2 замечания. Шестнадцатый отзыв из Новосибирского государственного технического университета, 3 замечания. Семнадцатый отзыв из Белорусского национального технического университета, 2 замечания. И последний отзыв из Московского политехнического университета, 1 замечание.

Председатель.

Все, да? Вот как Вы видите в этом обзоре все отзывы, я еще раз повто-

ряю, положительные и подписаны все, без исключения докторами наук.

Ученый секретарь.

Так, озвучить нужно было для аудио-видео записи, надо знать сколько отзывов поступило на автореферат.

Председатель.

Слово предоставляется Дмитрию Валерьевичу, пожалуйста, ответьте на замечания ведущей организации и ответы на отзывы.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Что, зачитывать будут ответы? Что соискателю нужно зачитывать эти ответы? Которые у нас тут в печатном виде.

Председатель.

А где ответы-то? Мы так редко собираемся, что стали забывать, что нужно делать. Здесь написаны вопросы. На вопросы всегда соискатель отвечал. С чем он согласен, чему он возразил и так дальше. Что этого никогда не было что ли? Никаких ответов тут нет. Вот сейчас мы его послушаем.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Ответы на замечания ведущей организации.

Что касается возможности использования разработок на предприятиях с устойчивой номенклатурой выпускаемых изделий, скажу, что да, естественно эти методики могут использоваться на таких предприятиях, поскольку рекомендации, которые изложены в справочниках, они в ряде случае просто не срабатывают. А метод, изложенный в настоящем исследовании, так сказать, индивидуального проектирования для конкретной операции шлифования оправдает себя в любом случае и будет приносить определенный эффект. Второе замечание на счет того, что можно ли использовать этот метод для различных кругов и для различных схем шлифования. Да, конечно, мы уже говорили о том, что в моделях учитываются такие параметры как длина дуги контакта, режимы шлифования, скорость вращения круга, заготовки, есть геометрические параметры заготовки, поэтому данные модели могут применяться как для различных схем шлифования, так и для различных заготовок. В качестве примера в данной работе был рассмотрен электрокорунд белый, но, безусловно, ничего не мешает рассмотреть и другие абразивные материалы и выполнить тот комплекс исследований, который был представлен. Далее, по поводу представления формы прогнозирования. Значит, когда речь идет о прогнозировании работоспособности, тогда формируется паспорт ШК, а когда мы накладываем на эту работоспособность технологические ограничения конкретной операции шлифования, то появляется карта возможной применимости данного круга в конкретных технологических условиях. И по поводу проектирования циклов я уже сказал, но повторю еще коротко, что на первом этапе при разработке цикла шлифования необходимо выбрать характеристику круга. Это можно сделать на основе разработок, представленных в настоящей работе, кроме этого, по данной методике можно построить как минимум одноступенчатый, самый простейший цикл на постоянной подаче, он тоже будет одним из рациональных циклов, ну и на каж-

дой ступени в методологии проектирования циклов известны все параметры, которые необходимы для использования данной методики: это величина припуска, ограничения на каждую ступень и, таким образом, на каждой ступени можно использовать представленные разработки, тем самым спрогнозировав работоспособность и построив рациональный цикл шлифования.

Председатель.

Все у Вас?

Соискатель, Д.В. Ардашев.

По ведущей организации все.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

По отзывам на автореферат. Все замечания были разделены на 4 группы. Они в Ваших раздаточных материалах. Я остановлюсь на 4 группе, на которые мне бы хотелось ответить. По поводу первого замечания профессора Кузнецовой В.Н. отмечу, что исследование взаимодействия единичного абразивного зерна с обрабатываемы материалом, имеется в виду имитационное моделирование контактного взаимодействия, выполнялось в различных научных школах шлифования. Однако в большинстве своем эти исследования носили характер изучения остаточных напряжений и поведения обрабатываемого материала. Никто не рассматривал абразивные зерна. На замечание доцента Ильиных А.С. отвечу, что при разработке зависимостей нет необходимости учитывать форму абразивного зерна. Речь идет о зависимостях 4 и 5. На замечание профессора Леонова С.Л. скажу, что возможно более корректно было бы использовать термин средняя суммарная погрешность, поэтому отчасти мы с замечанием согласны. На второе замечание скажу, что в прогнозных моделях стохастический характер процесса шлифования учитывается тем, что площадка затупления, рассчитанная по математической модели, разработанной в данной работе, задается своей величиной и величиной дисперсии. По поводу точности прогноза скажу, что любое уточнение предложенных прогнозных моделей приведет к повышению точности прогнозирования и, как следствие, точности проектирования операции шлифования. В ответ на замечание проф. Моргунова А.П. и доц. Реченко Д.С. отвечу, форма аппроксимации единичного абразивного зерна могла быть любой – эллипсоид, гиперболоид, пирамида, конус и так далее. Нами выбран конус, как одно из наиболее распространенных геометрических тел, применяемых различными учеными. Принципиально на саму методику это не влияет. На второе замечание профессора Мухина В.С. отвечу, что после изучения литературы, мы поняли, что характеризовать прочность абразивного зерна каким либо критерием который имеет значение либо тело целое, либо тело разрушено невозможно. Поэтому было принято решение использовать кинетическую теорию прочности, рассматривающую прочность твердого тела как изменяющуюся во времени нагружения. На четвертое замечание профессора Мухина В.С. скажу, что коэффициент химического сродства является функцией от температуры контактируемых материалов. Поэтому одним из аргументов в этом исследовании была принята величина температуры. На заме-

чание профессора Калмыкова В.И. и доцента Малыхина В.В. отвечу, что точность и шероховатость в настоящем исследовании являются технологическими ограничениями при проектировании операции шлифования именно так они и учитываются. В ответ на четвертое замечание скажу, что представление конкретных рекомендаций в виде справочника, либо в виде каких-то других материалов без взаимосвязи с конкретными условиями для которых проектируется операция шлифования крайне затруднительно. Одним из перспективных векторов развития данного направления является разработка САПР, которые включают имитационные модули. На замечание профессора Братана С.М. отвечу, что в прогнозных моделях силы и температуры величина площадки задается как среднее значение и величина дисперсии. Кроме этого динамичность процесса шлифования учитывается за счет того, что все рассмотренные эксплуатационные показатели являются функциями времени работы круга, как указано в ГОСТ 21445-84. В ответ на третье его замечание скажу, что для учета жесткости при моделировании процесса шлифования, жесткости технологической системы, необходимо использовать фактическую подачу, которая имеется на операции. Кроме этого, на четвертое замечание замечу, что ГОСТ, устанавливающий требования к структуре и правилам оформления автореферата, не содержит указания на то, что описания предмета и объекта исследования являются обязательными. В ответ на замечание профессора Рахимянова Х.М. отвечу, что была разработана вначале модель износа, позволяющая определить в массовом выражении величину износа абразивного зерна. А для того, чтобы встроить эти разработки в прогнозные модели необходима была модель площадки затупления, поэтому они была разработана в дальнейшем. В ответ на второе замечание профессора Рахимянова Х.М. также отвечу, что основное время обработки зависит от работоспособности инструмента, от его режущих свойств, поэтому оно было включено в целевую функцию.

В заключении хочу выразить благодарность всем ученым, которые прислали отзывы на автореферат за их критические замечания. Спасибо.

Председатель.

Спасибо, садитесь. Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту – д-ру техн. наук, профессору Волкову Дмитрию Ивановичу.

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.

Уважаемый председатель, уважаемые члены диссертационного совета. Разрешите не зачитывать подробно весь имеющийся отзыв, а только замечания и заключение.

Председатель.

По всем разделам, как положено, зачитывайте отзыв.

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.

Актуальность темы обусловлена тем, что повышение эффективности производства во многом определяется совершенствованием методов механической обработки, в том числе шлифования. К результатам предъявляются все более высокие требования по производительности обработки, стойкости

инструмента и параметрам качества обработанной детали, особенно на операциях окончательной обработки, определяющих надежность и долговечность детали. Для современного машиностроения характерна многономенклатурность, то есть выпуск малых партий изделий, из различных материалов, с разными требованиями к качеству. В таких условиях на первый план выходит задача сокращения времени на технологическую подготовку производства, а также задача максимального использования ресурсов оборудования и инструмента. Автор данной работы предлагает в условиях многономенклатурного производства использовать новую методику проектирования операций шлифования, которая основана на прогнозировании работоспособности абразивного инструмента и определении параметров его эффективной эксплуатации в конкретных технологических условиях. Методика предполагает использование математической модели прогнозирования износа абразивного зерна, учитывающей время его работы, технологические условия эксплуатации, а также основные механизмы его износа при шлифовании, а именно: механический и физико-химический. Разработанные автором теоретические и методические основы прогнозирования работоспособности абразивного инструмента позволили создать методику определения периода стойкости ШК, основанную на определении режимно-временной области рациональной эксплуатации, а также определение эффективной работы инструмента исходя из его работоспособности и требований к качеству обработки. На основании этого тема диссертационной работы является актуальной, как для науки, так и для повышения эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве. Новизна проведенных исследований и полученных результатов. Наиболее важными научными результатами исследований на мой взгляд являются: методика континуального проектирования операций шлифования, реализуемая на основе учета работоспособности ШК и позволяющая проектировать эффективные операции шлифования в многономенклатурном производстве с учетом требований к качеству обработки с минимальными затратами времени на обработку; а также математическая модель изменения размера площадки затупления абразивного зерна, связывающая ее величину с параметрами эксплуатации инструмента, а именно: обрабатываемые материалы, режимы шлифования; установление влияния химического состава материала обрабатываемой заготовки на величину физико-химического износа единичного абразивного зерна посредством коэффициента сродства, определяющего интенсивность физико-химического взаимодействия между абразивным и обрабатываемым материалом; также здесь можно еще ответить, что методика прогнозирования эксплуатационных показателей ШК, позволяющая за счет учета текущей величины размера площадки затупления единичного абразивного зерна прогнозировать работоспособность инструмента; также создан комплекс методик континуального проектирования операций шлифования в условиях многономенклатурного производства, позволяющий повысить их эффективность за счет учета работоспособности инструмента. Степень обоснованности и достоверности основных

положений и выводов диссертационной работы. Автором работы выделены 14 основных выводов и научных положений. Все выводы обосновываются результатами исследований, представленными в соответствующих главах диссертации. Первый вывод обосновывает необходимость проектирования операций шлифования на основе учета сведений о шлифовальном круге, которые отражают его работоспособность в широком диапазоне технологических условий. Доказано, что работоспособность ШК можно представить как континуальный параметр, изменяющийся в зависимости от условий выполняемой операции, времени работы инструмента и характеризующийся режимно-временной областью, в которой показывает показатели работоспособности. Данный вывод основан на исследованиях главы 1. А в дальнейшем результаты представленные используются при определении задач исследования и в главе 7 при определении технологических условий обработки. Второй вывод показывает, что на основе учета свойств континуальности ШК разработана новая методика проектирования, позволяющая проектировать операции шлифования с учетом работоспособности инструмента. Вывод основан на результатах главы 2, соответствующие страницы указаны. Разработанная методика используется в главе 6 при разработке технологического обеспечения проектирования операций шлифования для условий многономенклатурного производства и включает комплекс инженерных методик и рекомендаций по проектированию и реализации операций шлифования. Третий вывод констатирует, что разработана математическая модель долговечности абразивного зерна. Модель реализована на основе кинетической теории прочности твердых тел и позволила установить взаимосвязь между технологическими условиями эксплуатации ШК и механическим износом единичного абразивного зерна. В результате установлено, что увеличение температуры в зоне шлифования с 400 до 800 °С повышает долговечность абразивного зерна более чем на 60 %, изменение зернистости с F90 до F46 – более чем на 50 %. Увеличение площадки затупления также оказывает влияние на долговечность абразивного зерна. Установлено, что для каждой зернистости существует определенная площадка затупления, при которой долговечность абразивного зерна максимальна. Вывод обоснован результатами, представленными в главе 3 (с.135-147). Четвертый вывод показывает, что оценка интенсивности физико-химического износа, характеризуемого коэффициентом химического сродства, позволила исследовать номенклатуру шлифуемых материалов различного химсостава. В результате установлена степень влияния различных компонентов обрабатываемого материала на интенсивность протекания данного вида износа. Установлено, что увеличение в 2 раза содержания углерода в обрабатываемом материале снижает коэффициент сродства более чем в 1,2 раза; увеличение содержания хрома снижает коэффициент сродства в 2,4...6,4 раза; рост концентрации более 1 % увеличивает коэффициент сродства в 1,2...2 раза; увеличение в обрабатываемом материале содержания никеля до 1 % приводит к увеличению коэффициента сродства в 1,3...2,6 раза. Вывод основан на результатах, представленных в главе 3 (стра-

ницы 152-171). Пятый вывод констатирует, что разработана математическая модель износа абразивного зерна, учитывающая механический и физико-химический механизмы износа. Это позволило определять величину износа в зависимости от времени работы инструмента и условий его эксплуатации. Вывод основан на результатах главы 3. Шестой вывод показывает, что определено соотношение механического и физико-химического износа абразивного зерна при обработке различных обрабатываемых материалов, необходимое для количественной оценки каждого из механизмов износа при эксплуатации ШК в широком диапазоне технологических условий. Установлено, что соотношение составило: для стали, легированной хромом и кремнием – 60/40; для стали, легированной марганцем – 70/30; для титанового сплава – 60/40. Вывод основан на результатах главы 3 (страницы 172-174). Седьмой вывод констатирует, что разработана математическая модель размера площадки затупления абразивного зерна, которая позволяет спрогнозировать ее величину с учетом основных факторов эксплуатации инструмента – обрабатываемого материала, режимов шлифования, времени работы, характеристики абразивного инструмента. Установлено, что за время работы инструмента происходит изменение величины площадки: при работе шлифовальным кругом зернистостью F60 – на 15 %, F46 – от 20 до 40 %. Модель позволяет определить размер площадки затупления единичного зерна ШК для различных технологических условий эксплуатации, что дает возможность прогнозировать работоспособность инструмента. Вывод основан на результатах главы 3. Восьмой вывод констатирует, что разработана методика прогнозирования работоспособности ШК, позволяющая на основе комплекса имитационных стохастических моделей с учетом разработанной математической модели размера площадки затупления единичного абразивного зерна прогнозировать работоспособность инструмента в широком диапазоне технологических условий его эксплуатации. Однако нет указаний, с какими распределениями работает данная модель. В основу методики положен учет изменения размера площадки затупления абразивного зерна во время работы инструмента. Это позволяет расчетным путем определять область его работоспособности, что создает предпосылки для повышения эффективности операций шлифования для широкого диапазона технологических условий их реализации. Вывод на мой взгляд недостаточно обоснован в части стохастического подхода к расчетам. Результаты изложены в главе 4 на соответствующих страницах. Вывод девятый констатирует, что разработана методика определения периода стойкости ШК, учитывающая характеристику абразивного инструмента и технологические условия его эксплуатации (различные обрабатываемые материалы, режимы шлифования). Методика основана на определении режимно-временной области эксплуатации инструмента, полученной по результатам прогнозирования его работоспособности, с одновременным выполнением всех технологических ограничений операции. Вывод основан на результатах главы 4. Десятый вывод констатирует, что разработан комплекс инженерных методик проектирования операций шлифования для усло-

вий многономенклатурного производства, в котором учитывается работоспособность инструмента. Методики базируются на сравнительном анализе эксплуатационных свойств различных ШК, выделении режимно-временной области их рациональной эксплуатации и одновременном определении пары «характеристика ШК и режим шлифования» для выполнения операции шлифования в конкретных технологических условиях с обеспечением всех требований чертежа детали при минимуме технической нормы времени. Вывод основан на результатах главы 5. Одиннадцатый вывод констатирует, что разработано алгоритмическое и информационное обеспечение модуля технологической подготовки производства «T&TooL», позволяющего выполнять проектирование операций шлифования (выбор характеристики ШК и режима шлифования) для партий различных заготовок, подлежащих обработке в планируемом периоде времени. Вывод основан на результатах главы 5. Двенадцатый вывод показывает, что в результате работы создана методика назначения марки абразивного материала при проектировании операций шлифования, а также получены данные со средними величинами периода стойкости различных ШК. Данные материалы оформлены в виде соответствующих разделов справочника по режимам шлифования. И разработан руководящий технический материал «Круги шлифовальные. Прогнозирование эксплуатационных показателей шлифовальных кругов при обработке различных марок сталей и сплавов», и предложена методика прогнозирования работоспособности инструмента, а также инженерные методики проектирования операций шлифования в многономенклатурном производстве. Вывод основан на результатах главы 7. Тринадцатый вывод обосновывает возможности практического использования методики континуального проектирования операций шлифования, методики прогнозирования работоспособности ШК, а также инженерной методики проектирования операций шлифования, это позволило: определить режим шлифования для ШК определенной характеристики, определить пару «характеристика ШК - режим шлифования» для изготовления партий различных деталей, сформировать рациональный порядок замены ШК различных характеристик на станке для обработки различных партий заготовок в планируемом периоде времени, это привело к повышению эффективности операций шлифования на 40 % за счет сокращения суммарного времени обработки всех партий заготовок. Вывод основан на результатах главы 6. Четырнадцатый вывод показывает результаты внедрения результатов работы в производственных условиях. Здесь перечислено очень много предприятий. Вывод основан на документах приложения Г диссертации. В целом представленные в диссертации научные положения, математические модели и приведенные результаты компьютерных расчетов подтверждают обоснованность сделанных выводов. Автором использовались современные измерительные приборы и методики исследования, при проведении экспериментов. Выполнялось сравнение экспериментальных результатов с результатами расчетов других авторов, которое подтверждается хорошим соответствием. Также достоверность результатов исследований подтверждена апро-

бацией на конференциях и актами внедрения в производство. Теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Теоретическая значимость результатов состоит в разработке и установлении: математической модели долговечности абразивного зерна при шлифовании, реализованной на основе кинетической теории прочности твердых тел, устанавливающей взаимосвязь между технологическими условиями эксплуатации круга и механическим износом единичного абразивного зерна; установлении влияния химического состава материала обрабатываемой заготовки на величину физико-химического износа единичного зерна посредством коэффициента сродства, определяющего интенсивность физико-химического взаимодействия между абразивным и обрабатываемым материалом; разработке математической модели износа абразивного зерна, учитывающей время его работы, технологические условия его эксплуатации, а также основные механизмы его износа при шлифовании - механический и физико-химический; также в разработке математической модели изменения размера площадки затупления, учитывающей время работы инструмента, позволяющей определять ее величину для широкого диапазона параметров эксплуатации инструмента (обрабатываемые материалы, режимы шлифования) ну и дальше прогнозировать величину износа зерна с учетом основных механизмов износа в данной теории, а именно: механического и физико-химического. Практическая значимость результатов работы заключается в разработке комплекса инженерных методик континуального проектирования операций шлифования в условиях многономенклатурного производства на основе прогнозирования работоспособности ШК; также рекомендаций по выбору характеристики абразивного инструмента при назначения марки материала абразивного зерна ШК для различных технологических условий; рекомендаций по определению периода стойкости ШК различных характеристик, эксплуатирующихся в заданном диапазоне технологических условий; также важным практическим результатом является разработка алгоритмического и информационного обеспечения, а именно модуля технологической подготовки «T&TooL», реализующего методику континуального проектирования операций шлифования. Модель, которая положена в основу программы. Оценка содержания и оформления диссертации. Диссертация изложена на 351 странице, состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы на 465 наименований и 4 приложений. Представленная диссертация характеризуется логичностью изложения, завершенностью, аккуратным оформлением. Работа выполнена на хорошем научном уровне. Проведенные исследования решают крупную научно-техническую проблему и вносят существенный вклад в теорию и практику абразивной обработки в многономенклатурном производстве. Представленные материалы написаны корректным, грамотным языком, сопровождаются наглядными графическими иллюстрациями. Для подтверждения результатов диссертации автором проведен необходимый и достаточный объем теоретических и экспериментальных исследований. В автореферате и публикациях автора достаточно полно отражены содержание диссертационной работы и выдвигаемые

на защиту научные положения. Замечания по диссертационной работе. К недостаткам работы следует отнести: 1. В работе имеются опечатки: на странице 121 формула (2.1.1) верхние индексы, то римские то арабские (по замыслу автора, как я понимаю, должны быть римские); на странице 136 формула (3.2.1) в знаменателе отсутствует коэффициент 1000, приводящий миллиметры к метрам. Я ориентировался на те расшифровки параметров, которые приведены в листке, где список обозначений, их размерности. Ориентировался на эти вещи. Страница 137 таблица 3.2.1 вместо знака умножить стоит запятая; страница 194 вместо буквы гамма стоит буква лямбда. 2. Раздел анализа применимости CAD-CAM-CAE пакетов, которые в принципе и не проектировались для данного употребления, можно было бы из работы исключить без большого вреда для остального содержания. 3. Нарушена размерность в формуле (3.2.4), формуле (3.2.6) и др., куда входит формула (3.2.4). 4. Размерность аргументов функций экспоненты и Бесселя, входящих в формулу (3.2.4) отличны от безразмерной. Возникает вопрос о назначении запятой в аргументе функции Бесселя. 5. Как определялась масса изношенного абразивного материала по формуле (3.2.6) страница 148 от зернистости и затупления зерна (результаты в таблице 3.2.5 и на рисунке 3.2.8), если в самой формуле таких аргументов нет. А ссылка на формулу. 6. Нарушена размерность формулы (4.4.1) страница 194 для расчета температуры. При переходе к другой переменной интегрирования обозначенной гамма меняется также размерность пределов интегрирования. 7. В работе указывается страница 195, что предлагаемая модель по формуле (4.4.1) является стохастической, однако никаких ссылок на использование каких-либо распределений нет и оценок вероятности того, или иного результата тоже. 8. На странице 94, таблица 1.6.3 приведены основные физические механизмы износа абразивного инструмента. Почему автор не рассматривает механизмы скалывания крупных частиц абразивного зерна и вырывание целого зерна из рабочей поверхности круга при самозатачивании. Хотя известно, что это один из основных механизмов, который стараются шлифовщики использовать для того, чтобы круг хорошо работал. 9. В расчетные модели не входят такие параметры абразивного инструмента, как структура, твердость, вид связки. Можно ли подбирать круги без учета этих параметров. 10. Разработанные математические модели ориентированы на круглое врезное шлифование, можно ли их использовать для других схем шлифования. Замечания все. Данные замечания, приведенные в отзыве, не являются принципиальными, а отмеченные недостатки не снижают значимости диссертационной работы и общей положительной оценки.

Заключение. Диссертационная работа Ардашева Д.В. «Повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов», является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема повышения эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве

на основе прогнозирования работоспособности ШК. Работа содержит новые научно-обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Предложенные автором решения аргументированы, работа содержит новые научные результаты и положения, свидетельствующие о личном вкладе соискателя в науку. Содержание опубликованных работ и автореферат раскрывают основные положения и выводы диссертационного исследования. В целом считаю, что диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям и соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор Ардашев Дмитрий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки и 05.02.08 – Технология машиностроения.

Председатель.

Спасибо, Дмитрий Иванович. Пожалуйста. Присаживайтесь.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

По замечаниям оппонента 1, 3, 4, 6, связанными с недочетами в математических моделях, с разночтениями в единицах измерения, мы согласны. Возможно бы, следовало более внимательно отнестись к этому, такие описки и опечатки не были бы допущены. На счет исключения раздела по анализу CAD-CAM систем я не согласен. Считаю, что этот раздел подчеркивает остроту проблемы, которая решается в данной работе и подчеркивает необходимость ее решения. Масса изношенной части абразивного материала в зависимости от зернистости и величины затупления зерна решалась следующим образом. И величина зернистости, и величина площадки затупления на зерне входят в исходные данные при моделировании контактного взаимодействия единичного абразивного зерна с обрабатываемой заготовкой. Седьмое замечание, что модель является стохастической. Ссылок на нее нет. Повторюсь, что стохастичность процесса учитывается в самих прогнозных моделях при формировании рабочей поверхности ШК, задается величина площадки затупления и дисперсия этой величины. По поводу учета различных механизмов износа. В начале самом исследования мы оговорили, что рассматриваем работу ШК в режиме затупления, то есть преимущественно с формированием на зернах площадок затупления. И поэтому износ скалыванием, вырыванием из круга мы не рассматривали. На 9 замечание отвечу, что и структура и твердость моделируются и учитываются в моделировании при прогнозировании работоспособности круга. То есть параметров радиальной составляющей силы шлифования, шероховатости и температуры при формировании рабочей поверхности ШК. На 10 замечание отвечу так. Можно ли использовать для других схем шлифования – да, конечно, можно. Для этого нужно выполнить небольшую адаптацию математических моделей, которые приняты в данной работе и распространить их действие для других схем шлифования. У меня все, спасибо.

Председатель.

Дмитрий Иванович, Вас устраивает?

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.

Да, вполне. Спасибо.

Председатель.

Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту – д-ру техн. наук, профессору Носенко Владимиру Андреевичу.

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

Уважаемые коллеги. Мне, как никому близка эта работа, потому что я проработал в НИИАШе, правда, в Волжском, с 72 по 95 гг. до последнего дня его закрытия. И за это время посетил, практически, все крупные предприятия бывшего СССР. Я еще раз обращаюсь к председателю и членам. То, что уже повторялось несколько раз, это будет всего два-три раздела, я на них очень кратенько остановлюсь, ну чтобы не зачитывать полностью. Вы не возражаете?

Председатель.

Совет не возражает? (нет)

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

Спасибо. Итак. Содержание и оформление диссертации. Хочу остановиться только на одном моменте, что автор рассмотрел свыше 450 источников, из них почти четвертая часть – это зарубежные. Актуальность темы диссертации. Ну, здесь, наверное, лучше, чем сказал консультант – вряд ли скажешь. Еще раз хочу подчеркнуть, что многономенклатурное производство в современном машиностроении реализуется, действительно, достаточно широко. А если взять прошлое, то в ремонтных цехах и подразделениях предприятий индивидуальное производство существовало и ранее. То есть актуальность здесь безусловна. Основные научные результаты. Полностью согласен с предыдущим оппонентом. И он, и я выделяем 6 основных моментов научной новизны. Дмитрий Иванович очень тщательно их перечислил, в этом плане мы с ним абсолютно единодушны. Если он не возражает, я полностью присоединяюсь к этим шести моментам. О которых говорил и соискатель. Степень обоснованности научных положений. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендация, сформулированных в диссертации подтверждается корректным использованием методов математического и численного моделирования, кроме того автором изучен и критически проанализирован достаточно обширный отечественный и зарубежный опыт, поэтому это можно считать достаточным обоснованием его подходов к основным научным положениям. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций. Автором представлена актуальная научная задача повышения эффективности операций шлифования на основе разработанного нового подхода к проектированию операций, который заключается в максимальном использовании ресурс работоспособности ШК в различных технологических условиях. Работа отличается комплексным подходом к исследованию процесса шлифования. Полученные научные результаты могут приме-

няться для достаточно широкого спектра технологических условий реализации операций, т.е. разные характеристики, схемы шлифования, материалы заготовки, диапазон точности и шероховатости. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертации подтверждается сопоставлением расчетных данных с производственными данными машиностроительных предприятий, широкой апробацией на региональных, всероссийских и международных научно-технических конференциях и семинарах, а также на обширном числе машиностроительных и абразивных предприятий Челябинской области. Практическая значимость заключается в созданной автором инженерной методике проектирования операций шлифования на основе учета работоспособности ШК различных характеристик. Методика подразумевает два сценария проектирования: назначение режима шлифования ШК конкретной характеристики для различных технологических условий и назначение пары «характеристика ШК-режим шлифования» для обработки конкретной партии заготовок. Кроме того практическая ценность представляет методика построения рационального порядка замены ШК на станке при обработке различных партий заготовок в планируемом периоде. Практическая реализация работы выражается в нормативно-технических материалах, справочнике. Указанный справочник внедрен почти на 100 предприятиях, также автором разработаны руководящие материалы, содержащие методику прогнозирования эксплуатационных показателей ШК для различных технологических условий. РТМ прошел опытно-промышленную апробацию на машиностроительных предприятиях Челябинской области. Суммарный экономический эффект небольшой, но более 1 млн. рублей. Публикации и апробация работ. Об этом тоже говорилось неоднократно. Работа и ее отдельные результаты неоднократно докладывались на региональных, всероссийских и международных конференциях и семинарах в период с 2004 по 2017 год. Это дает основание считать, что основные научные и практические положения диссертации прошли необходимую апробацию на конференциях и в открытой печати. Оформление материалов диссертации. Диссертация обладает внутренним единством, написана на высоком квалифицированном уровне, содержит достаточное количество иллюстративного и табличного материала, ссылки на работы других авторов, то соответствует пункту 14 Положения о присуждении ученый степеней. Выводы позволяют оценить результативность выполненных исследований. Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы, и позволяет оценить основные результаты, полученные лично автором, а также выводы и рекомендации, вытекающие из ее основных положений.

Замечания по диссертационной работе. 1. Несмотря на большое количество литературных источников, автор не анализирует работы одного из основоположников теоретико-вероятностного подхода к процессу шлифования и динамике изменения показателей процесса Юрия Константиновича Новоселова. 2. Рисунки 4.3.2а и В.3Г, это приложение, свидетельствуют о неравномерной скорости подачи образца. Есть такие картиночки. В отдельных

случаях царапины расположены настолько близко, что возможно царапание по навалам предыдущей царапины. Это отразится, конечно, на фактической глубине царапины и износостойкости абразивного материала. Не ясно, как добивались установки рабочей поверхности образца, для данной методики это весьма проблематично, параллельно оси круга и перпендикулярно основной плоскости? 3. Чем обоснован выбор глубины микроцарапания 70 и 35 мкм? Какому реальному режиму шлифования соответствуют данные глубины? 4. В таблице 4.4.1 приведены расчетные и экспериментальные данные температуры в зоне шлифования. Расчетные данные температуры даны с точностью до сотого знака после запятой. В связи с этим возникает вопрос – какая погрешность измерения температуры и статистическая погрешность с учетом числа параллельных измерений? Подобные вопросы возникают к экспериментальным данным по составляющим силы резания и параметру шероховатости Ra. 5. Судя по рисунку 3.3.1, образцы корунда не имеют строгой геометрической формы. Контакт куска корунда с образцом металла будет точечным. После отжига, особенно при небольшой температуре, сила сцепления между образцами будет невысокая. Поэтому целесообразно более подробно изложить методику приготовления поперечного сечения с обеспечением монолитности соединения и методику измерения длины модифицированной зоны, особенно со стороны низкой концентрации химического элемента. Она меняется от максимума до нуля, а приближаясь, погрешность превышает 50 %, поэтому как определили здесь эту границу – следует пояснить более подробно. 7. Известно, что исходный химический состав материала оказывает значительное влияние на диффузионное взаимодействие с материалом контртела. Экспериментальное определение коэффициента химического сродства выполнено на примере электрокорунда белого. Каким образом полученные данные переносили на электрокорунд нормальный или электрокорунды легированные? 8. Условия динамического взаимодействия зерна с металлом существенно отличаются от условий взаимодействия в статике, по крайней мере, давлением, температурой и скоростями их изменения. Реальные коэффициенты химического сродства при шлифовании будут, несомненно, иными. Соответственно, использование коэффициентов химического сродства, полученных в статике для расчета износа в результате взаимодействия в конкретных условиях весьма проблематично. 9. Сила резания вершиной зерна в пределах толщины зоны контакта в общем случае изменяется от максимальной до нуля. Вероятность контакта вершины зерна с обрабатываемым материалом в этом же направлении уменьшается от единицы до нуля. Поэтому формирование площадки износа на вершине зерна будет также зависеть от положения в зоне контакта. Как учитывали распределение вершин зерен по толщине зоны контакта при расчете показателей в динамике процесса? 10. Как учитывали изменение площадки износа в результате скалывания вершины и возможное в связи с этим изменение первоначального положения? 11. В связи с тем, что диффузионное взаимодействие исследовано на электрокорунде. Целесообразно внести ограничения на области применения

соответствующих математических моделей.

Заключение. Диссертационная работа является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для машиностроительных предприятий страны, заключающаяся в повышении эффективности операций шлифования на основе разработанной новой методики континуального проектирования операций, базирующейся на учете работоспособности ШК, прогнозируемой при помощи системы моделей. Тем самым диссертация соответствует критериям в разделе II Положения о присуждении ученых степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют заявленным специальностям: 05.02.07 и 05.02.08. Работа выполнена на достаточном научно-техническом уровне. Методики и средства выполнения исследований адекватны. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов. Диссертация имеет существенную практическую ценность, так как предложенная соискателем методика проектирования операций шлифования и математические методы средства ее реализации обеспечивают существенное повышение эффективности операций шлифования. Степень апробации результатов работы путем опубликования основных положений в печати, выступлений на научно-технических конференциях, семинарах и внедрения в действующее производство достаточна. Общая подготовленность и научный потенциал соискателя соответствуют сложившемуся уровню требований. Общие выводы отражают в полном объёме полученные в ходе диссертационного исследования основные результаты работы. Содержание автореферата диссертации отражает основные положения работы и доказательства их достоверности. Сделанные замечания не снижают важности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку работы. На основании вышеизложенного считаю, что рецензируемая диссертационная работа по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует требованиям раздела II Положения о присуждении ученых степеней. Автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по двум специальностям – 05.02.07 и 05.02.08. Научная специальность рецензента – 05.03.01 «Процессы механический и физико-технической обработки, станки и инструмент».

Председатель.

Спасибо, Владимир Андреевич, присаживайтесь. На замечания, пожалуйста, ответьте.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

С замечаниями оппонента позиции 1, 8 и 11 мы согласны, рассматриваем их как рекомендации для дальнейшей научной деятельности. По замечанию 2 скажу, что царапины, образованные вблизи предыдущего следа еди-

ничного зерна в исследовании не учитывались. Возможно, стоило подробнее описать методику микрорезания. Глубины для микроцарапания были выбраны произвольно, целью этого исследования было исследовать чувствительность разработанной модели к глубинам микрорезания. Это соответствует в реальности 6,7 и 3,4 мм/мин, что достаточно много для шлифования. На четвертое замечание поясню, что составляющие силы шлифования измерялись системой с ценой деления 0,0005 мм, по тарировочному графику соответствует 2 Н/мм рабочей ширины круга. Шероховатость поверхности контролировалась при помощи системы «Абрис ПМ7». По нормативной документации он позволяет измерять шероховатость до 3 знака после запятой. А его погрешность в соответствии с ГОСТ 19300-86 «Средства измерений шероховатости» составляет 0,3 мкм. По поводу измерения температур, я уже говорил, что я не измерял температуру, а сопоставлял ее с данными профессора Дьяконова А.А. На шестое замечание по поводу погрешности измерения химсостава диффузионной прослойки скажу, что когда мы приближались к границе диффузионной прослойки, мы видели это на результатах химического анализа и сокращали шаг для точек, в которых производился химический анализ. Естественно с какой-то погрешностью мы границу, которую использовали для измерения ширины этой зоны. Надежный контакт образцов электрокорунда и обрабатываемых материалов обеспечивался за счет предварительной операции притирки как тех, так и других. Седьмое замечание речь, по-видимому, идет о разработке практических рекомендаций, которые внедрены в справочник. На самом деле, в работе не совсем понятно, я с этим отчасти согласен, как мы распространили данные на другие абразивные материалы. Скажу, что физико-химический износ абразивного зерна принимался как константа, а изменялась только величина механического износа, которая определяется долговечностью абразивного материала. На девятое замечание скажу, что разновысотность абразивных зерен по толщине срезаемого слоя моделировалась за счет учета в прогнозных моделях не просто величины площадки затупления, а еще и величины дисперсии. Таким образом, можно считать, что этот параметр также учитывался. По десятому замечанию скажу, что в данной работе только износ механический и физико-химический. Ни скалывание, ни изменение положения режущей кромки зерна в настоящей работе не исследовалось. Работа предназначена для изучения работы ШК в режиме затупления, то есть преимущественно с образованием площадок затупления.

Председатель.

Владимир Андреевич, Вас удовлетворяет?

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

Удовлетворяет.

Председатель.

Спасибо. Слово предоставляется официальному оппоненту – д-ру техн. наук, профессору Козлову Александру Михайловичу.

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Козлов А.М.

Уважаемый председатель, уважаемые члены совета. Я обращаюсь с той же просьбой, потому что мне сложнее других оппонентов выступать – уж очень многие вещи мы вынуждены повторить. Поэтому позвольте мне немножко вот эту часть, которая совпадает опустить, а выделить только то, чем мой отзыв отличается от моих коллег. Можно?

Председатель.

Да, пожалуйста.

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Козлов А.М.

Во-первых, как обычно, общие сведения о диссертации. Хотел бы подчеркнуть, что данная работа соответствует именно двум направлениям, научным паспортам специальностей 05.02.07 – Технология, оборудование механической и физико-технической обработки по пунктам: 3. Исследование механических и физико-технических процессов в целях определения параметров оборудования, агрегатов, механизмов и других комплектующих, обеспечивающих выполнение заданных технологических операций и повышение производительности, качества, экологичности и экономичности. Четвертый пункт этой же специальности – Создание, включая проектирование, расчеты и оптимизацию, параметров инструмента и других компонентов оборудования, обеспечивающих технически и экономически эффективные процессы обработки. По специальности 05.02.08 – Технология машиностроения работа соответствует следующим пунктам: 5. Методы проектирования и оптимизации технологических процессов. 7. Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин.

Уже говорили о том, что работа прошла достаточно широкую апробацию на конференциях, тематика которых соответствует направлению выполненной работы. Мне хотелось бы отметить, что личный вклад соискателя, на мой взгляд, заключается в решении поставленных задач исследования, не вызывает сомнений и состоит в том, что им разработаны математические модели износа абразивного зерна и площадки затупления на абразивном зерне, а также комплекс имитационных моделей, позволяющих прогнозировать работоспособность ШК в широком диапазоне технологических условий проектируемой операции. Что касается актуальности, про нее, конечно, было много сказано, но, на мой взгляд, здесь следует отметить следующее, что как мне кажется в настоящее время все больше и больше у нас тенденция к автоматизации процессов проектирования и в этом плане, вот те условия в реальном производстве, когда наладчик или оператор станка экспериментально подбирает режимы обработки под каждую конкретную деталь, а когда многономенклатурное производство – это занимает много времени, вот это очень востребовано и перспективно – автоматизированная подборка режимов обработки. Это снижает и время, и повышает достоверность полученных результатов. Поэтому, на мой взгляд, работа, конечно, актуальна. Какие результаты в этой работе мне представляется, следует отметить? Ну, во-первых, разработана методика континуального проектирования. У меня там будут замечания,

по этой теме, но соискатель взял термин, не сам придумал, он заимствовал, хотя, на мой взгляд, не совсем удачно. Далее, предложена новая методика прогнозирования эксплуатационных показателей ШК, которая реализуется при помощи системы имитационных моделей. Далее, доказано влияние химического состава материала обрабатываемой заготовки на величину физико-химического износа единичного абразивного зерна посредством коэффициента сродства. Дальше, обоснованность научных положений доказана тем, что представлены в диссертации результаты экспериментальных исследований, в четвертой главе работы, а также сопоставление производственных данных различных предприятий машиностроения с данными, полученными в результате применения разработанной методики проектирования, это глава номер 6, дают основания сделать заключение о достоверности полученных результатов, что там достаточно высокая степень совпадения. В конце работы представлены выводы, включающие 14 пунктов, на мой взгляд, все выводы достоверны и базируются на материалах исследования, представленных в диссертационной работе. Теперь научная новизна. Она заключается в том, что в работе представлены новые закономерности о влиянии условий эксплуатации инструмента, имеются в виду обрабатываемые материалы, режимы шлифования, на размер площадки затупления абразивного зерна, Это глава 3. Далее решение задачи прогнозирования работоспособности ШК – глава 4. Методика прогнозирования эксплуатационных показателей ШК, впервые позволяющая за счет учета текущей величины размера площадки затупления единичного зерна прогнозировать работоспособность инструмента в целом. Научная новизна полученных автором диссертации результатов подтверждается тем, что в ней: разработаны математические модели долговечности абразивного зерна, механизмов его износа, формирования площадки затупления и так далее. Получены и проанализированы зависимости формирования площадки износа единичного абразивного зерна от совокупности технологических параметров и условий обработки. Изучено влияние различного химического состава обрабатываемого материала, температуры в зоне контакта, характеристик абразивного инструмента на производительность процесса. Достоверность полученных научных результатов подтверждена экспериментальными исследованиями, расчетами в среде лицензионного программного обеспечения Asnsys и непротиворечивостью расчетных данных с результатами экспериментальных и производственных исследований.

Теперь замечания. Замечания такие, что многие члены совета, я без всякой связи с ними писал отзыв, но Вы эти замечания предвосхитили. 1. Первая глава диссертации перегружена описанием различных подходов к проектированию операций шлифования. Объем главы – 79 страниц. Ну, Вы обратили внимание, что и в докладе соискатель половину доклада посвятил только обзору, т.е. подходу к своей задаче. В то же время не упомянуты работы известных отечественных ученых, про это и Владимир Андреевич говорил, которые занимались процессами шлифования – Королев А.В., Новоселов Ю.К., Горленко О.А., Бишутин С.Г. 2. На странице 133 автор искажает

смысловое понятие «континуальность». Если взять толковый словарь, посмотреть как это рассматривается, это непрерывность. Даже дословный перевод с английского – непрерывный. А автор его трактует как «… изменчивость во времени». Это близко, но не одно и то же. Что такое непрерывность? Непрерывность работы, непрерывность проектирования, непрерывность отслеживания результатов. Это не изменчивость. При непрерывном наблюдении может оказаться, что какой-то параметр постоянен, не изменяется. Поэтому здесь несколько подмена понятий. 3. На страницах 199, 200, тут и в докладе это было, представлены логико-технологические карты ШК и проводится анализ работоспособности этих карт. Неясно, как принимается решение – человек делает, или принимается решение автоматически в режиме модели. Не представлены сравнительные результаты проектирования операций шлифования по традиционной технологии и предлагаемой методике, т.е. имеется в виду данные по времени, затрачиваемому на подбор ШК, на моделирование, определение наиболее рациональных режимов обработки. К сожалению в работе это не отмечено. Следующее замечание. В Приложении Г представлено внедрение результатов работы. Ссылки на справочники по абразивной обработке. Однако, уже вот и коллеги говорили об этом, в этом приложении не содержится указания на долевое участие. Обычно в справочниках пишется: глава такая то, автор, ссылки. Здесь этого нет, поэтому определить долевое участие становится несколько затруднительно. 5. В главе 3 приводятся иные, по сравнению с представленными в списке основных сокращений и условных обозначений определения величин. Т.е. соискатель на страницах 6…12 приводит таблицу величины, обозначений и их расшифровку. А потом он их начинает дублировать и допускает перефразировку определенную. Это неточность, которая несколько «смазывает» общее впечатление от работы. Дальше, на ряде графиков, вот об этом чуть ли не первый вопрос был, на ряде графиков, представленных по материалам работы в 3, 4 главе, отображены результаты исследований, экспериментальных исследований. Однако, не указан диапазон варьирования полученных данных. Т.е. графики есть, но диапазона изменения нет. Очень точные данные, получены и усреднение практически совпадают с трехкратным повторением или огромный диапазон разброса – об этом судить очень трудно. Далее, следующее замечание. При прогнозировании шероховатости шлифованной поверхности автор ссылается на имитационную модель Шипулина Л.В. Так получилось, что я диссертацию Шипулина Л.В. тоже оппонировал, кандидатскую работу. И вот в выводе 2 по работе Шипулина Л.В. отмечается, что, дословно, цитирую: «На основе комплексного имитационного моделирования процесса плоского шлифования установлено, что количество взаимодействующих абразивных зерен составляет в среднем 30% от общего числа зерен в объеме рабочей поверхности круга». Это противоречит данным других исследователей. И соискатель об этом в докладе упомянул, что порядка 10…12% активных. А вот он ссылается на модель, 30%. Далее. Следующее замечание. На странице 202 указывается, опять же – цитата: «Как только какое-либо требо-

вание на операцию перестает выполняться, происходит функциональный отказ инструмента и ШК необходимо править». Вот в этой фразе – две ошибки. Во-первых, если говорить о том, такой то параметр выходит, то вот в теории надежности это называется «параметрический отказ». Есть «функциональный», когда ШК вообще надо убрать, он работать не может. И «параметрический», т.е. когда какой то параметр выходит, мы поправили круг, шероховатость там, еще что-то, форму потерял – он продолжает работать, это – «параметрический» отказ. Вот это терминологическая неточность. Далее. Есть ссылка на ГОСТ, 86 ссылка это ссылка на ГОСТ. Поднимаем ГОСТ, а в ГОСТе вообще нет таких определений. То есть вот здесь двойная ошибка, то есть «параметрический», «функциональный» отказ перепутаны и ссылка на литературу. В литературе это несоответствие. Там есть другие виды отказа, нет «функционального», «параметрического» отказа. Ну и последнее замечание. Выводы по главам просто констатируют полученные результат. Т.е. как аннотация, это не выводы. К сожалению, многие этим грешат, мне за это в свое время досталось, Обратите внимание на выводы. Толковый словарь откройте: вывод, что такое вывод? Это посыл от частного к общему. Т.е. Вы сначала должны написать, что проведено что то, что дает возможность, позволяет, т.е. обобщить свой результат. К сожалении, по главам этого нет. Общие выводы на выводы больше похожи, но я здесь делаю замечание, что общие выводы по работе весьма громоздки. Если Вы откроете, посмотрите – там каждый вывод чуть ли не на полстраницы.

Тем не менее, общее заключение. Диссертационная работа Дмитрия Валерьевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития машиностроительной отрасли страны. Разработанные автором математические модели формирования износа единичного абразивного зерна в процессе шлифования, позволяют с достаточно высокой точностью и достоверностью прогнозировать как работоспособность абразивного инструмента, так и параметры точности и шероховатости обработанной поверхности, что вносит существенный научный и практический вклад в решение проблем современной металлообработки. Тема диссертационной работы актуальна, полученные результаты исследований обладают научной новизной и практической значимостью. Материал диссертации представлен достаточно четко, структурирован, обладает внутренним единством, изложен на грамотном техническом языке с использованием общепринятой терминологии. Положения, выводы и рекомендации работы обоснованы и достоверны. Автореферат диссертационной работы правильно отражает содержание диссертации и дает возможность судить о целях и задачах исследования, научных выводах и результатах. Основные результаты достаточно полно отражены в публикациях. И заключение. Считаю, что работа по своему содержанию, объему, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к диссертациям на со-

искание ученой степени доктора технических наук, п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор – Ардашев Дмитрий Валерьевич – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, 05.02.08 – Технология машиностроения. Подпись, данные и уточнение, что я свою докторскую защищал по этим же двум специальностям – 05.03.01 Технологии и оборудование механической, физико-технической обработки и 05.02.08 Технология машиностроения.

Председатель.

У Вас все, Александр Михайлович?

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Козлов А.М.

Да.

Председатель.

Спасибо, присаживайтесь. Пожалуйста, ответьте.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

С замечанием оппонента позиция 1, 5, 6, и 9 мы согласны, рассматриваем их, в том числе, как некоторые рекомендации для дальнейшей научной деятельности. По второму замечанию об искажении понятия «континуальность» я частично согласен. Возможно, не совсем удачно употреблено словосочетание «изменчивость во времени». Видимо, это сделано на фоне того, что во всей работе эксплуатационные показатели, работоспособность ШК рассматриваются как изменяющиеся во времени. Отчасти я согласен с этим замечанием. Третье замечание по разработке логико-технологических карт и принятии решений. Построение, как эксплуатационных паспортов, так и логико-технологических карт применимости может осуществляться как человеком, а по мере накопления сведений о работоспособности ШК в рамках одного предприятия, потом может осуществляться автоматизированный выбор и проектирование операций шлифования при помощи персонального компьютера и соответствующих компьютерных программ. Также то, что не исследовалось повышение эффективности операций на фоне сокращения времени на проектирование. Целью работы было повысить эффективность операций с точки зрения работоспособности ШК, поэтому именно в этом направлении сделан был акцент. Но по мере накопления информации о работоспособности можно прогнозировать существенное сокращение трудоемкости процесса проектирования операции, поскольку основную работу будет выполнять персональный компьютер и соответствующие программы. Четвертое замечание по авторскому вкладу в справочник. В главе 7 содержится указание на конкретные разделы справочника, которые разрабатывались по результатам работы. В седьмом замечании по модели Шипулина Л.В. При дополнительном анализе его работы было установлено, что у него в выводе тоже не совсем корректно сказано, что эти в 30% входят, в том числе, и режущие, и давящие, и трущие зерна. И в своей работе он в конце тоже признает, что 10…12% режущих зерен он учитывает. Также замечу, что любое уточнение прогнозных моделей, представленных в настоящей работе приведет к повышению точно-

сти прогнозирования и повышению качества проектирования операций шлифования. По поводу «функционального» отказа. Частично я соглашусь и с не совсем корректной ссылкой на ГОСТ я согласен, но выражу мнение, что если речь идет о конкретной операции шлифования и если имеющийся ШК по окончании периода стойкости нельзя использовать, то на смысловом уровне речь можно вести о функциональном отказе. Как сказал Александр Михайлович – нужно снять этот круг и убрать его. То есть отказ работоспособности ШК возник по причине нарушения параметров операции, причина возникновения параметрическая, но характер отказа очень схож с функциональным. То есть дальнейшее функционирование этого ШК на этой операции невозможно. Отчасти я согласен.

В завершении ответов на замечания оппонентов я выражаю глубокую благодарность и признательность Дмитрию Ивановичу Волкову, Владимиру Андреевичу Носенко, Александру Михайловичу Козлову за тщательный критический анализ моей работы, за высказанные замечания и пожелания по дальнейшей научной деятельности. Большое Вам спасибо.

Председатель.

Спасибо. Александр Михайлович, как?

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор Козлов А.М.

Я удовлетворен. Спасибо.

Председатель.

Ну что, приступаем мы с Вами к одной из последних наших процедур – выступлениям. Кто хочет выступить? Профессор Носов Н.В.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Уважаемые коллеги, члены диссертационного совета. В своем выступлении я хотел бы отметить, что диссертантом выполнен большой объем аналитических исследований, как уже сказал один из оппонентов, я посчитал 25 иллюстраций из 50 посвящены аналитическому обзору. Это многовато. Посмотреть в какой временной фактор, я тут посчитал – 476 лет. Это тоже многовато. Вот такое исследование провести, почтив 500 лет. Это здорово. Можно было бы и сократить эти временные рамки. Дальше, я хотел бы отметить, что работа посвящена, безусловно, повышению эффективности врезного круглого наружного…теоретические модели посвящены круглому наружному врезному шлифованию. Вот то несколько сужает область полученных результатов. Я бы отметил, что нет, конечно, оценки качества ШК, это один важных показателей, которого нельзя было избежать. А этого нет. Нет исследования влияния, так как специальность 05.02.07, хорошо бы исследовать влияние характеристик абразивного инструмента на образование площадок износа. Дальше, несколько противоречивые модели. Мне так кажется. Потому что диссертант не разделил черновые циклы шлифования, когда снимается основной припуск, повышается производительность, эффективность черновых же операций. Он вышел на эффективность черновых операций, а второе – заключительный цикл, это формирование качества поверхности. И качество поверхности здесь вот я бы считал, что это недостаточное исследова-

ние качества, он взял в оценку только один параметр – шероховатость поверхности, хотя мы знаем, что в процессе образования площадок износа растет температура, это очень сильно будет влиять на остаточные напряжения в детали. Вот этот фактор он не учитывал, а надо бы учитывать. И большое внимание в работе уделено модели температурных явлений, которыми сопровождаются процессы шлифования. Это тоже очень правильно, с одной стороны, с другой стороны он говорит о зерне, а оценивает температуру шлифования. Я думаю, что это такой довольно неточный переход от процесса шлифования к температуре на зерне. Температура на зерне может достигать 3000 градусов, А этого я не увидел, в связи с этим возникает сомнение в применении теории Журкова С.Н. Особенно для керамических материалов. Мы знаем, что в теории Журкова С.Н. это число циклов нагружения до появления усталостного разрушения. А тут Вы приводите значение долговечности зерна 1 секунда. А сколько циклов нагружения? Теперь одна секунда в течение 6 минут работы круга. Это непонятно что за долговечность такая. Количественная оценка может быть так, но это вызывает сомнение. Дальше. Я бы хотел отметить, что диссертант показал свою техническую эрудицию, и в докладе, и в ответах на вопросы. Но ошибки в трактовках понятий и результатов исследований встречаются. В целом работа, проведенная диссертантом, большая, интересная и является шагом вперед теории шлифования, и я ее оцениваю положительно. Все, спасибо.

Председатель.

Спасибо. Профессор Киселев Е.С., пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Уважаемые коллеги. Я, прежде всего, хотел бы отметить, что из 18 членов диссертационного совета 11 здесь защитили докторские диссертации по шлифованию. Попал Дмитрий Валерьевич в такой совет, которых в России больше нет, такого количества шлифовщиков. Да учитывая то, что все три оппонента имеют докторские диссертации абсолютно по шлифованию – вот Вам и большой интерес к этой работе, огромное количество вопросов, замечаний, дискуссия. Я хочу сказать, что актуальность трудно сказать лучше, чем сказал научный консультант Виктор Иванович. Все действительно так. Ну вопросы задавать всегда легче, чем на них отвечать, но меня совсем не удовлетворила модель износа абразивного зерна при шлифовании, которую автор представил. И считаю, что вся информация, которая связана с титаном совершенно не нужна здесь. Прошу обратить внимание членов диссертационного совета еще на одно очень важное замечание, которое никто не заметил. Справочник, который был издан, для какого производства? Для крупносерийного, малономенклатурного. И говорить, что эта работа есть внедрение результатов работы можно с очень большой натяжкой. Это надо третье издание создать, в котором подчеркивалось бы, что многономенклатурное производство, на основе этого справочника. А в заключении хочу сказать, что кто-то выразился, что на кончике резца может быть защищена не одна тысяча диссертаций, на абразивном зерне еще больше. Чем дальше, тем

лучше, а здесь затронута такая тема – многономенклатурное производство. У нас с распадом Советского Союза массовое производство скукожилось, исчезает. Где огромное количество подшипниковых заводов? Нет их. Где автомобильные заводы, которые в огромном количестве делали операции шлифования? Нет их. Поэтому, конечно, тема весьма интересная, имеет продолжение. Здесь пока есть груз огромный несделанного. Учитывая, что работа «пионерская», требует продолжения, я буду голосовать «за».

Председатель.

Спасибо, Евгений Степанович. Доцент Ковальногов В.Н.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Я знакомился с сегодняшней работой по автореферату, докладу и обсуждению. Видно, что за ней стоит большой объем выполненных исследований, работа получилась не бесспорная, не без изъянов, но интересная. Интересная особенно в свете современных трендов на цифровизацию производства, на создание «умных», ресурсосберегающих производств. Ценность работы, на мой взгляд, в том, что в ней, прежде всего, сформированы научные основы, пригодные для машинного принятий решений по технологической подготовке производства. Причем, принятие решений основано на обработке большого объема данных, и, не опираясь на опыт и квалификацию мастера-наладчика, а на основе формализованных разработанных процедур. Что касается сегодняшнего доклада, особенно ответов на вопросы, замечания, не вполне я был удовлетворен ответами, но трем не менее, оценивая работу в целом, учитывая заключение оппонентов, ведущей организации, которые внимательно изучили работу, видно, что за работой стоит серьезная научная школа Челябинская, авторитет которой не только в научной вреде, но и среди производственников, и тот справочник, который упоминался, он действительно на производстве ценится как носитель достоверной информации. Поэтому, учитывая все изложенное, я буду поддерживать работу. Спасибо.

Председатель.

Спасибо, Владислав Николаевич. Профессор Бобровский Н.М.

Д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Да, работа, скажем так, не структурирована идеально. Ну, идеальной, как мы понимаем, работы быть не может. Диссертация это не ответ на все вопросы. И перед диссертантом стояло два пути: или еще десять лет выкристаллизовывать эту работу, чтобы она была идеальной и так далее, ну так можно и 20 лет делать работу! Тут все отмечают без исключения: проделана большая работа. Да, эта работа запоздала. Лет на 25. Это не он виноват, это ситуация у нас такая. Она необходима. Что она дает? Да, машинные возможности и самое главное в этой работе. Он сказал, что критерием может быть не обязательно снижение стоимости. Есть такие позиции, которые надо делать быстро, есть такие позиции, когда стоимость не является главной. Есть такие позиции, когда в наличии не будет кругов, даже близких по оптимальности, а какую-то номенклатуру надо делать. И вот это – основа, это сетка, чтобы двигаться дальше. Да, системы CAD-CAM, САПР. Вот это элемент для той

базы. Мне кажется – очень нужная работа. Соискатель соответствует тому, что мы ему в результате тайного голосования собираемся присудить. Оцениваю работу положительно и может быть хорошо, что он не стал ждать еще 10 лет.

Председатель.

Спасибо. Профессор Захаров О.В.

Д-р техн. наук, профессор Захаров О.В.

Уважаемые коллеги. Представленная сегодня диссертация действительно вызвала интерес. Не вызывает никакого сомнения актуальность работы и у меня нашел отклик вот тот подход, который были применен. Потому что, действительно, идет сейчас новый этап – переход к цифровому производству, сквозным технологиям, поэтому эти исследования как раз в русле современных тенденций. Россия немного отстает от запада, но будем надеяться, что все-таки догонит его. По работе, кончено, есть определенные замечания, какие-то вопросы задавал я. Единственное я бы хотел обратить внимание, уже в нескольких работах я слышу «имитационное моделирование». Аналитическое моделирование является более строгим, чем имитационное. К имитационному, обычно, прибегают, когда очень сложно построить аналитическую модель: когда большие системы и учитываются разноплановые факторы – детерминированные и стохастические, и непрерывные, и дискретные. Поэтому, если говорить об имитационной модели, то надо обосновывать зачем она в данном случае нужна. Это такое маленькое отступление. В целом, в работе присутствуют все необходимые атрибуты, которые в настоящее время предъявляются к диссертационным работам, и я хотел бы поддержать эту работу. Спасибо.

Председатель.

Спасибо. Еще есть желающие? Нет? Заключительное слово предоставляется соискателю.

Соискатель, Д.В. Ардашев.

Я выражаю сердечную признательность и членам диссертационного совета, оппонентам, научному консультанту за время, которое Вы уделили моей скромной персоне, моему научному изысканию. Все замечания, безусловно, я принимаю, как действия к дальнейшим научным исследованиям, они будут учтены. Спасибо Вам огромное всем.

Председатель.

Переходим к голосованию. Есть предложение по составу счетной комиссии: включить в состав счетной комиссии профессоров Киселева Е.С., Захарова О.В. и Денисенко А.Ф. Нет возражений? Делаем технический перерыв для голосования. Прошу счётную комиссию приступить к работе.

Счетная комиссия организует тайное голосование

Председатель.

Присаживайтесь. Продолжаем работу. Слово предоставляется председателю счетной комиссии профессору Захарову О.В.

Д-р техн. наук, профессор Захаров О.В.

Счетная комиссия – Захаров О.В., Киселев Е.С., Денисенко А.Ф. Для подсчета голосов по результатам тайного голосования по диссертации Ардашева Дмитрия Валерьевича на соискание ученой степени доктора технических наук. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 20 человек, дополнительно введены 0 человек, присутствовало на заседании 18 членов совета, в том числе по профилю рассматриваемой диссертации 18 человек. Роздано бюллетеней 17, осталось не розданных 3, оказалось бюллетеней в урне 17. Результаты голосования: за – 17, против – нет, не действительных – нет.

Председатель.

Кто за утверждение протокола счетной комиссии – прошу голосовать. Утверждаем единогласно. Я поясню. У нас в конце заседания Полянсков Юрий Вячеславович выходил, поэтому не принимал участия в голосовании. 18 участвовало в заседании, а голосовало 17.

Таким образом, на основании результатов тайного голосования: за – 17, против – нет, не действительных – нет, объединенный диссертационный совет, созданный на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» признает, что диссертация Ардашева Д.В. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технологические решения, имеющие важное хозяйственное значение, связанные с повышением эффективности операций шлифования, в условиях современного многономенклатурного производства, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие технологии машиностроения. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, раздела II Положения о присуждении ученых степеней и присуждает Ардашеву Дмитрию Валерьевичу ученую степень доктора наук по специальностям 05.02.07 и 05.02.08. Сейчас мы будем рассматривать заключение и возможно эти формулировки подкорректируем.

Теперь следующий этап. У каждого из Вас есть проект заключения. Давайте его обсудим.

Обсуждение заключения

Председатель.

Если замечаний больше нет, тогда есть предложение принять заключение за основу с учётом замечаний. Прошу проголосовать. Кто «за»? (Все) Кто «против»? (Нет) Кто воздержался? (Нет). И теперь, как в Положении, нужно довести это заключение до соискателя.

Заключение диссертационного совета объявляется соискателю

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д999.003.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.10.2018 г. № 41

О присуждении Ардашеву Дмитрию Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов» по специальностям 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки и 05.02.08 – Технология машиностроения, принята к защите 21.06.2018 г., (протокол заседания № 37), объединенным диссертационным советом Д999.003.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего образования (ВО) «Ульяновский государственный технический университет» и ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, действующим на основе приказа № 123/нк 17.02.2015 г.

Соискатель Ардашев Дмитрий Валерьевич, 1979 г. рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Оценка работоспособности ШК по комплексу эксплуатационных показателей» защитил в 2005 г. в диссертационном совете Д212.298.06, созданном на базе государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет». В период с ноября 2011 г. по октябрь 2014 г. обучался в очной докторантуре при кафедре «Технология машиностроения» механико-технологического факультета ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

В настоящее время соискатель работает доцентом в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Технология автоматизированного машиностроения» в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный консультант – д-р техн. наук, профессор Гузеев Виктор Иванович, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», кафедра «Технология автоматизированного машиностроения», заведующий.

Официальные оппоненты:

Волков Дмитрий Иванович, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева», кафедра «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина», заведующий;

Носенко Владимир Андреевич, д-р техн. наук, профессор, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», кафедра «Технология и оборудование машиностроительных производств», заведующий;

Козлов Александр Михайлович, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кафедра «Технология машиностроения», заведующий

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ), г. Пермь, в своем положительном отзыве, подписанном Макаровым Владимиром Федоровичем, д-ром техн. наук, профессором, кафедра «Инновационные технологии машиностроения», заместителем заведующего и утвержденном Коротаевым Владимиром Николаевичем, д-ром техн. наук, профессором, проректором по науке и инновациям, указала, что диссертация Д.В. Ардашева является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно-обоснованные технологические и технические разработки, направленные на повышение эффективности операций шлифования, реализуемых в современных условиях многономенклатурного производства. Работа выполнена на высоком научно-теоретическом уровне, методы и средства теоретических и экспериментальных исследований современны и адекватны решаемым задачам. Результаты математического и численного моделирования и натурного эксперимента, полученные соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов. Диссертационная работа Д.В. Ардашева «Повышение эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов» по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует

разделу II Положения о присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а автор работы – Ардашев Дмитрий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки и 05.02.08 – Технология машиностроения.

Соискатель имеет 143 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 69 научных работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 32 научные работы (18 – в изданиях по списку ВАК, 10 – в изданиях из базы Scopus, 4 – в изданиях из базы Web of Science).

Научные работы, опубликованные автором по теме диссертации, достаточно полно отражают ее основное содержание. В диссертации соискателя отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных им научных работах, все результаты научного и прикладного характера, полученные соискателем в диссертации, достаточно полно освещены в публикациях соискателя. Более половины научных работ, опубликованных соискателем и посвященных теме диссертации, написаны без соавторства. Публикации соискателя представлены в различных ведущих научных журналах РФ, а также зарубежных изданиях, посвященных актуальным вопросам машиностроения.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Ардашев, Д.В. Определение периода стойкости шлифовального круга на основе его технологического эксплуатационного паспорта / Д.В. Ардашев // Металлообработка. – 2010. – № 1. – С. 23–27.
2. Ардашев, Д.В. Химическое сродство абразивного и обрабатываемого материалов / Д.В. Ардашев // Металлообработка. – 2011. – № 6. – С. 29–32.
3. Ардашев, Д.В. Стенд для исследования взаимодействия абразивного зерна и образца в процессах абразивной обработки / Д.В. Ардашев, В.В. Ахлюстина // Технология машиностроения. – 2013. – № 6. – С. 27–28.
4. Ардашев, Д.В. Напряженно-деформированное состояние абразивного зерна в процессах шлифования / Д.В. Ардашев, И.С. Болдырев // Технология машиностроения. – 2014. – № 11. – С. 27–30.
5. Ардашев, Д.В. Термофлуктуационный механизм износа абразивного зерна в процессах шлифования / Д.В. Ардашев // Наукоемкие технологии. – 2013. – № 12. – С. 23–28.
6. Ардашев, Д.В. Прогнозирование работоспособности абразивного инструмента при проектировании многономенклатурных операций / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 9. – С. 14–17.
7. Ардашев, Д.В. Прогнозирование долговечности абразивного зерна в процессах шлифования / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 10. – С. 27–31.
8. Ардашев, Д.В. Определение величины механического износа абразивных зерен при шлифовании / Д.В. Ардашев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 55–66.

9. Ардашев, Д.В. Алгоритмическая рекурсивная модель площадки затупления абразивного зерна / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2016. – № 2. – С. 17–19.

10. Ардашев, Д.В. Континуальное проектирование операций шлифования / Д.В. Ардашев, В.И. Гузеев // СТИН. – 2016. – № 8. – С. 33–37.

11. Ардашев, Д.В. Геометрическая имитационная модель процесса шлифования с учетом износа абразивного зерна / Д.В. Ардашев, Л.В. Шипулин // СТИН. – 2016. – № 8. – С. 18–22.

12. Ардашев, Д.В. Режимно-инструментальное оснащение операций абразивной обработки на основе вариативного проектирования / Д.В. Ардашев, В.И. Гузеев // СТИН. – 2016. – № 11. – С. 32–35.

13. Ардашев, Д.В. Проектирование операций шлифования на основе прогнозирования работоспособности шлифовальных кругов / Д.В. Ардашев, В.И. Гузеев // Известия ВолГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». – 2017. – № 9. – С. 98–102.

14. Ardashev, D.V. Definition of Abrasive Grain Wear upon Grinding from the Standpoint of the Kinetic Theory of Strength / D.V. Ardashev // Journal of Friction and Wear. – 2015. – Vol. 36, No. 3. – P. 266–272.

15. Ardashev, D.V. Physicochemical Wear of Abrasive Grains During Grinding Processes / D.V. Ardashev // Journal of Friction and Wear. – 2014. – Vol. 35, No. 4. – P. 284–289.

16. Ardashev, D.V. Mathematical Model of the Grinding Force with Account for Blunting of Abrasive Grains of the Grinding Wheel / D.V. Ardashev, A.A. Dyakonov // Journal of Manufacturing Science and Engineering: Transactions of ASME. – 2017. – Vol. 139. Номер статьи – 121005.

17. Dyakonov, A.A. Prediction of Blunting Area of Abrasive Grains on a Grinding Wheel / D.V. Ardashev, A.A. Dyakonov // Journal of Manufacturing Science and Engineering: Transactions of ASME. – 2017. – Vol. 139. Номер статьи – 121004.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв ведущей организации – ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ), подписанный Макаровым Владимиром Федоровичем, д-ром техн. наук, профессором, зам. зав. кафедрой «Инновационные технологии машиностроения» и утвержденный Коротаевым Владимиром Николаевичем, д-ром техн. наук, профессором проректором по науке и инновациям. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. Работа посвящена многономенклатурному производству – условиям, в которых осуществляется частая смена изготавливаемых деталей. При этом не рассматриваются предприятия с устойчивой номенклатурой выпускаемых изделий. Не ясно – могут ли результаты работы применяться в условиях таких предприятий. 2. В работе рассмотрены ШК, изготовленные из электрокорунда, работающие по схеме круглого врезного шлифования. Не ясно, можно ли применять разработанную автором модель размера площадки затупления абразивного зерна для инструментов

из других абразивных или сверхтвердых материалов, других схем шлифования. 3. В работе не прослеживается четко форма представления результатов прогнозирования работоспособности инструмента. В некоторых местах диссертации употребляется термин «технологический паспорт», в других – «карта применимости». 4. Процесс шлифования – процесс цикловый. Не понятно, каким образом можно «встроить» методические разработки автора в методологию проектирования циклов шлифования.

2. Отзыв официального оппонента – Волкова Дмитрия Ивановича, д-ра техн. наук, профессора, зав. кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева». Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В работе имеются опечатки: на с. 121 ф. (2.1.1) верхние индексы, то римские то арабские (должны быть римские); с. 136 ф. (3.2.1) в знаменателе отсутствует коэффициент 1000, приводящий мм к м; с. 137 табл. 3.2.1 вместо знака умножить стоит запятая; с. 194 ф. (4.4.1) вместо буквы γ стоит буква λ и др. 2. Раздел анализа применимости CAD-CAM-CAE пакетов можно из работы исключить без вреда для остального содержания. 3. Нарушена размерность результатов в ф. (3.2.4), ф. (3.2.6) и др., куда входит ф. (3.2.4). 4. Размерность аргументов функций экспоненты exp и Бесселя I_0 , входящих в ф. (3.2.4), отличны от безразмерной. Также возникает вопрос о назначении запятой в аргументе функции Бесселя. 5 .Как определялась масса изношенного абразивного материала по ф. (3.2.6) с. 148 от зернистости и затупления зерна (результаты в табл. 3.2.5 и рис. 3.2.8), если в формуле таких аргументов нет. 6. Нарушена размерность ф. (4.4.1) с. 194 для расчета температуры. При переходе к другой переменной интегрирования обозначенной буквой γ меняется также размерность пределов интегрирования. 7. В работе указывается с. 195, что предлагаемая модель по ф. (4.4.1) является стохастической, однако никаких ссылок на использование каких-либо распределений нет и оценок вероятности того, или иного результата тоже. 8. На с. 94 в табл. 1.6.3 приведены основные физические механизмы износа абразивного инструмента. Почему автор не рассматривает механизмы скалывания крупных частиц абразивного зерна и вырывание целого зерна из рабочей поверхности круга при самозатачивании. 9. В расчетные модели не входят такие параметры абразивного инструмента такие, как структура, твердость, вид связки. Можно ли подбирать круги без учета этих параметров. 10. Разработанные математические модели ориентированы на круглое врезное шлифование, можно ли их использовать для других схем шлифования.

3. Отзыв официального оппонента – Носенко Владимира Андреевича, д-ра техн. наук, профессора, зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. Несмотря на большое количество литературных источников, приведенных в диссер-

тации, автор не анализирует работы одного из основоположников теоретико-вероятностного подхода к процессу шлифования и динамике изменения показателей Ю.К. Новоселова. 2. Рис. 4.3.2а и В.3г свидетельствуют о неравномерной скорости подачи образца. В отдельных случаях царапины расположены настолько близко, что возможно царапание по навалам предыдущей царапины. Это отразится на фактической глубине царапины и износостойкости абразивного материала. Как добивались установки рабочей поверхности образца (поверхности для царапания) параллельно оси круга и перпендикулярно основной плоскости? 3. Чем обоснован выбор глубины микроцарапания 0,07 и 0,035 мм? Какому реальному режиму шлифования соответствуют данные глубины? 4. В табл. 4.4.1 приведены расчетные и экспериментальные данные температуры в зоне шлифования. Расчетные данные температуры в градусах даны с точностью до сотого знака после запятой. Какова погрешность измерения температуры и статистическая погрешность с учетом числа параллельных измерений? Подобные вопросы возникают к экспериментальным данным по составляющим силы резания и Ra. 6. Судя по рис. 3.3.1 образцы корунда не имеют строгой геометрической формы. В связи с этим, контакт куска корунда с образцом металла будет точечным. После отжига, особенно при небольшой температуре, сила сцепления между образцами также невысокая. В связи с этим целесообразно более подробно изложить методику приготовления поперечного сечения с обеспечением монолитности соединения и методику измерения длины модифицированной зоны, особенно со стороны низкой концентрации химического элемента, где погрешность изменения концентрации может превышать 50 %. 7. Известно, что исходный химический состав материала оказывает значимое влияние на диффузионное взаимодействие с материалом контртела. Экспериментальное определение коэффициента химического сродства выполнено на примере электрокорунда белого. Каким образом полученные данные переносили на электрокорунд нормальный или электрокорунды легированные? 8. Условия динамического взаимодействия зерна с металлом существенно отличаются от условий взаимодействия в статике, по крайней мере, давлением, температурой и скоростями их изменения. Реальные коэффициенты химического сродства при шлифовании будут иными. Использование статических коэффициентов химического сродства, равносильно, как и толщины модифицированной прослойки для оценки интенсивности физико-химического взаимодействия оправдано. Применение коэффициентов химического сродства, полученных в статики для расчета износа в результате взаимодействия в конкретных условиях шлифования – проблематично. 9. Сила резания вершиной зерна в пределах толщины зоны контакта в общем случае изменяется от максимальной до нуля. Вероятность контакта вершины зерна с обрабатываемым материалом в этом же направлении уменьшается от единицы до нуля. Поэтому формирование площадки износа на вершине зерна также зависит от положения в зоне контакта. Как учитывали распределение вершин зерен по толщине зоны шлифования при расчете показателей в динамике процесса? 10. Как

учитывали изменение площадки износа в результате скалывания вершины и возможное изменение первоначального положения? 11. В связи с тем, что диффузионное взаимодействие исследовано на электрокорунде, целесообразно внести ограничения на области применения соответствующих математических моделей.

4. Отзыв официального оппонента – Козлова Александра Михайловича, д-ра техн. наук, профессора, зав. кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет». Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. Первая глава диссертации перегружена описанием различных подходов к проектированию операций шлифования (объем главы – 79 страниц). В то же время не упомянуты работы известных отечественных ученых, занимавшихся исследованием процесса шлифования – Королев А.В., Новоселов Ю.К., Горленко О.А., Бишутин С.Г. 2. На с.133 автор искажает смысловое понятие «континуальность», рассматривая его не как «непрерывность», а как «… изменчивость во времени». 3. На с.199, 200 представлены логико-технологические карты ШК и ведется анализ их работоспособности. Неясно, как принимается решение – человеком или автоматически. Не представлены сравнительные результаты проектирования операций шлифования по традиционной технологии и предлагаемой методике – данные по времени, затрачиваемому на подбор ШК, моделирование и определение наиболее рациональных режимов обработки. 4. Представленные в Приложении Г «Внедрение результатов работы» ссылки на справочники по абразивной обработке не содержат указаний на авторское участие в написании глав, что затрудняет оценку долевого участия соискателя. 5. В главе 3 приводятся иные, по сравнению с представленными в списке основных сокращений и условных обозначений (с.6-12), определения величин t_o, σ. 6. На ряде графиков (глава 3, глава 4), где представлены результаты экспериментальных исследований, не указан диапазон варьирования полученных данных. 7. При прогнозировании шероховатости шлифованной поверхности (п. 4.3, с.188) автор ссылается на имитационную модель Шипулина Л.В. [324]. Однако в выводе 2 по своей диссертации Шипулин Л.В. утверждает «На основе комплексного имитационного моделирования процесса плоского шлифования установлено, что количество взаимодействующих абразивных зерен составляет в среднем 30% от общего числа зерен в объеме рабочей поверхности круга…», что противоречит данным других исследователей. 8. На с.202 указывается, что «Как только какое-либо требование на операцию перестает выполняться, происходит функциональный отказ инструмента и ШК необходимо править [86]». В данном случае речь идет не о функциональном, а о параметрическом отказе, а ГОСТ 25751–83, на который имеется ссылка, не содержит определения функционального отказа. 9. Выводы по главам только констатируют полученные результаты, но не являются их обобщением. Общие выводы по работе громоздки.

5. Отзыв из ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет», г. Омск, подписанный д-ром техн. наук, доцентом,

профессором кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» Кузнецовой Викторией Николаевной. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. Проводились ли автором сравнения расчетных данных изменения зависимости напряжений, действующих в теле абразивного зерна, от температуры, с соответствующими результатами, полученными другими исследователями? 2. В чем заключается теоретическая значимость выполненной диссертации?

6. Отзыв из ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, подписанный д-ром техн. наук, профессором, зав. кафедрой «Технология конструкционных материалов и материаловедение» Радкевичем Михаилом Михайловичем и д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Никитковым Николаем Валентиновичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. В автореферате представлен расчет площадок затупления абразивных зерен для ограниченной номенклатуры обрабатываемых материалов. Хотелось бы видеть другие примеры. 2. В автореферате не представлено обоснование выбора материала ШК для исследования.

7. Отзыв из ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, подписанный д-ром техн. наук, доцентом, зав. кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Ильиных Андреем Степановичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. Из автореферата не ясно, учитывалась ли форма абразивного зерна при моделировании процесса его износа (зависимости (4) и (5))? Если да, то чем обосновывается ее выбор? 2. Не ясно, что автор вкладывает в понятие «долговечность абразивного зерна», и каковы критерии ее оценки? 3. В автореферате отсутствуют пояснения к формулам, что затрудняет его прочтение.

8. Отзыв из ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Москва, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Кондаковым Александром Ивановичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. В автореферате отсутствует описание особенностей назначения режимов резания для зарубежного режущего инструмента (ШК), описание достоинств и недостатков таких методик. 2. Из автореферата не ясно, какие именно затраты относятся к переменной части себестоимости продукции, какой вид себестоимости рассматривался и рассчитывался в работе.

9. Отзыв из ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Леоновым Сергеем Леонидовичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. Из автореферата непонятно, что означает термин "суммарная погрешность" на графиках рис. 18 и как она рассчитана. 2. Также непонятно, как учитывается стохастический характер процесса абразивной обработки и позволяют ли разработанные автором математические модели прогнозировать точность

обеспечения показателей качества обработанных поверхностей (например – шероховатости обработанных деталей). 3. При анализе адекватности разработанных моделей в главах 3 и 4 автор использует значение относительной погрешности, а желательно применение статистических критериев.

10. Отзыв из ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Гусевым Владимиром Григорьевичем. Отзыв положительный, со следующим замечанием: Автор выполнил исследование эффективности операций шлифования применительно к условиям многономенклатурного производства лишь стандартными кругами, которые существенно уступают по эффективности (по производительности, качеству, периоду стойкости, экономии расхода абразивного, алмазного правящего инструмента и др.) более прогрессивным инструментам таким, как высокопористые ШК, круги с дискретной режущей поверхностью и др., что ограничивает использование полученных результатов.

11.Отзыв из ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого», г. Великий Новгород, подписанный д-ром техн. наук, профессором каф. «Технология машиностроения» Емельяновым Валерием Николаевичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. Интересно было бы увидеть результаты исследования пары «абразивный материал–обрабатываемый материал», которые крайне не рекомендуются справочниками к применению, например, электрокорунд–чугун, электрокорунд–быстрорежущая сталь и т.д. 2. Автор не касается такого важного с точки зрения эксплуатации абразивного инструмента явлений, как засаливаемость круга. Это, безусловно, украсило бы работу.

12. Отзыв из ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск, подписанный д-ром техн. наук, профессором, зав. кафедрой «Технология машиностроения» Моргуновым Анатолием Павловичем и канд. техн. наук, доцентом кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Реченко Денисом Сергеевичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. Что в работе понимается под термином «эффективность операций шлифования»? Какие критерии приняты для оценки эффективности? 2. На рисунке 3 приведены сравнительные данные основного времени и не ясно, о каких деталях идет речь. 3. В третьей главе приведены результаты исследований, посвященные износу абразивного зерна. Чем обоснован выбор формы абразивного зерна в виде усеченного конуса при моделировании взаимодействия абразивного зерна с заготовкой?

13. Отзыв из ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Конструирования и стандартизации в машиностроении» Димовым Юрием Владимировичем и канд. техн. наук, доцентом кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств» Казимировым Денисом Юрьевичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. В автореферате показана связь периода стойкости абразивного

инструмента с износом зерна, но нет данных о влиянии твердости ШК, особенно при выборе альтернативной характеристики круга при жестких условиях ограничений, рассматриваемых в работе. Аналогично не представлены данные такой же связи эксплуатационных показателей с засаливанием круга, что наиболее вероятно, нежели полный износ абразивного зерна. 2. В автореферате при описании методики континуального проектирования операции шлифования не отмечены механизмы наложения штрафов на результат выбора системой характеристики круга, негативно влияющего на эксплуатационные показатели деталей при выполнении требований по качеству и точности, что наблюдается, например, при плоском шлифовании титановых сплавов.

14. Отзыв из ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Мокрицким Борисом Яковлевичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. В пункте 2 раздела автореферата «Внедрение результатов работы» не конкретизирован перечень предприятий, на которых осуществлено внедрение. 2. В последнем предложении страницы 3 вместо выражения «… новой методики проектирования…», лучше было бы применить фразу «…такой методики проектирования, которая позволяла бы …». 3. В первом предложении страницы 3 автореферата соискатель зря столь занижает значимость задач, решением которых ежедневно занимаются технологи. Это не тривиальные задачи. Их решения определяют эффективность технологий. Другое дело, что сегодня для решения этих задач создано много программного обеспечения и справочных источников, они облегчают работу, но от этого она не стала тривиальной. 4. В заключении автореферата следовало бы отметить, что «решенные научные и практические задачи представляют собой в совокупности решение крупной научной проблемы, заключающейся в том, что … Это позволяет её отнести к числу важнейших народохозяйственных с позиций высокопроизводительной обработки, в том числе, с позиций подготовки производства. Решение проблемы на данном уровне позволило сократить затраты времени на подготовку производства примерно в …раз, повысить качество обработки на …%, повысить производительность обработки на …%, что в совокупности на примере одного промышленного предприятия, например, .., позволяет получить экономический эффект около ..рублей в год и т.д.».

15. Отзыв из ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, подписанный засл. деятелем науки и техники, д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Мухиным Виктором Сергеевичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. На рисунках (например, рис. 5 и 6) и в формулах (например, формулы 4, 5, 6, 7) много буквенных обозначений, но нет расшифровки этих параметров. 2. При усталостных испытаниях долговечность обычно оценивается числом циклов до разрушения или назначенной базой

испытаний. Не ясно, какую долговечность дает расчет по формуле 4. 3. В реферате нет физических объяснений появлению экстремумов на кривых, приведенных на рис. 9 и 10. 4. Не ясно, отчего коэффициент сродства зависит от температуры. 5. В реферате указывается, что коэффициент сродства может меняться (уменьшаться или увеличиваться) в 1,2 раза, 2,4 раза, 1,2 раза, 1,3 раза и т.д., в то время как коэффициент сродства оценивается экспертно, приблизительно.

16. Отзыв из ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Колмыковым Валерием Ивановичем и канд. техн. наук, доцентом кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Малыхиным Виталием Викторовичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В тексте автореферата (с. 13) недостаточно полно представлены, раскрыты составляющие в формуле (1) целевой функции, неясно как учитывается влияние химического состава заготовки. 2. Из содержания автореферата не ясно как изменяются качественные характеристики обработанной поверхности (численные значения), точность обработки в зависимости от износа, затупления абразивных зерен и круга в целом, как они учитываются в концептуально новом подходе к проектированию операций шлифования. 3. В содержании автореферата не определена возможность применения результатов работы для шлифования неметаллических конструкционных материалов, например, керметов, пластмасс, что ограничивает условия ее широкой реализации в механообработке. 4. В общих выводах работы желательно было бы представить оптимальные значения режимов резания, характеристики абразивных зерен, обеспечивающих наибольшую производительность обработки, наименьшие износ зерен, энергоёмкость процесса и шероховатость обработанной поверхности.

17. Отзыв из ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, подписанный д-ром техн. наук, профессором, зав. кафедрой технологии машиностроения Братаном Сергеем Михайловичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. В работе нет анализа теоретических моделей процесса шлифования А.К. Байкалова, Д.Г. Евсеева, В.Ф. Макарова, А.М. Козлова, А.В. Королева, В.Н. Михелькевича, Ю.К. Новоселова, В.А. Сипайлова, В.К. Старкова, М.М. Тверского, О.Б. Федосеева, А.В. Якимова. 2. Представленная в работе модель не учитывает стохастических и динамических свойств процесса шлифования. 3. Для описания износа абразивных зерен использованы детерминированные зависимости, которые не учитывают ряд параметров процесса, таких как масса, жесткость элементов технологической системы, что сужает возможную сферу их применения. 4. В автореферате отсутствуют формулировки объекта и предмета исследований. 5. Нет четкой ясности, для каких групп материалов можно применять результаты работы. Непонятно, например, возможно ли использовать полученные методики для шлифования титановых сплавов, где ШК теряет свою режущую способность очень быстро.

18. Отзыв из ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, пописанный засл. работником высшей школы, д-ром техн. наук, профессором, зав. кафедрой «Станки и инструменты» Артамоновым Евгением Владимировичем. Отзыв положительный со следующим замечанием: Мелкие и плохо читаемые обозначения на графиках и рисунках автореферата.

19. Отзыв из ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Болдыревым Александром Ивановичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В разделе «Заключение» на с. 28-32 приведены выводы по работе. Однако п. 6, 9, 10, 12 в основном приведены сведения, которые являются констатацией факта выполненных работ и не содержат путей развития полученных результатов. 2. В списке публикаций по теме диссертации, приведенном на с. 31-34, приведены работы, часть которых выполнена в соавторстве; список не отражает объем публикаций в печатных листах и не ясно, какая доля принадлежит лично автору исследования.

20. Отзыв из ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, подписанный д-ром техн. наук, профессором, зав. кафедрой технологии машиностроения Рахимяновым Харисом Магсумановичем. Отзыв положительный, со следующими замечаниями: 1. При описании научной новизны автор в пунктах 4 и 5 указывает разработку математических моделей. В первом случае – величины износа абразивного зерна, а во втором – размера площадки затупления абразивного зерна. Не ясна суть различия данных понятий и, соответственно, представленных моделей. 2. На стр. 13 автореферата при описании формулы (1) указано, что она учитывает режущие свойства ШК. При этом в формуле представлена сумма времен. Следует пояснить, каким образом основное время определяет режущие свойства ШК. 3. На стр. 29 автореферата в выводе 4 показаны взаимосвязи химического состава обрабатываемого материала и характеристики интенсивности физико-химического износа (коэффициента сродства). К сожалению, вывод не содержит анализа этих зависимостей и рекомендаций по применению данных зависимостей при разработке операций шлифования с учетом установленных зависимостей.

21. Отзыв из Белорусского национального технического университета, г. Минск, р. Беларусь, подписанный д-ром техн. наук, профессором, зав. кафедрой «Технология машиностроения» Шелегом Валерием Константиновичем и канд. техн. наук, доцентом кафедры «Технология машиностроения» Боханом Сергеем Гавриловичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Не достаточно информации о принципиальном отличии понятий континуального и традиционного технологического проектирования. В предложенной модели износа зерен не учитывается факт засаливания круга, что может привести к искажению истинной картины процесса формирования шероховатости обрабатываемой поверхности.

22. Отзыв из ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» Калашниковым Александром Сергеевичем. Отзыв положительный со следующим замечанием: Не ясно каким образом устраняется или снижается до минимума возможность возникновения прижогов и термических микротрещин на поверхности заготовок в процессе шлифования, спроектированного по разработанным методикам.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они являются ведущими специалистами в области технологии машиностроения, обработки материалов, имеют научные публикации по данному направлению в ведущих рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить научную новизну и практическую ценность представленных на защиту результатов, обоснованность и достоверность полученных выводов. В ведущей организации и организациях, в которых осуществляют свою деятельность официальные оппоненты, выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработано научное и технологическое обеспечение концептуально нового подхода к проектированию операций шлифования, реализуемых в условиях современного многономенклатурного производства, позволяющего повысить их эффективность за счет учета и прогнозирования работоспособности ШК;

разработана методика «континуального» проектирования операций шлифования, базирующаяся на учете изменения работоспособности ШК во времени эксплуатации инструмента;

разработана математическая модель площадки затупления абразивного зерна, которая позволяет спрогнозировать ее величину с учетом основных факторов эксплуатации инструмента – обрабатываемого материала, режимов шлифования, времени работы, параметров характеристики ШК;

разработана методика прогнозирования показателей работоспособности ШК, позволяющая прогнозировать работоспособность инструмента в широком диапазоне технологических условий его эксплуатации – при обработке различных материалов на различных режимах шлифования;

разработана экспериментальная методика определения коэффициента сродства между абразивным и обрабатываемым материалами, характеризующего интенсивность их физико-химического взаимодействия в процессах шлифования, на основании которой можно прогнозировать величину коэффициента в зависимости от концентрации химических элементов, входящих в состав обрабатываемого материала;

предложены пути повышения эффективности операций шлифования на основе применения разработанных методик проектирования операций

шлифования с учетом работоспособности ШК, а также текущей производственной ситуации;

доказано наличие взаимосвязи между величиной площадки затупления единичного абразивного зерна ШК, технологическими условиями эксплуатации и временем работы инструмента;

доказано влияние механического и физико-химического износа единичного абразивного зерна на величину размера площадки затупления;

доказана перспективность и целесообразность практического применения разработанных методик для проектирования эффективных операций шлифования в производственной практике, а также перспективность использования технологических рекомендаций, созданных с учетом работоспособности ШК;

введено понятие «континуальное» проектирование операций шлифования, подразумевающее проектирование операций шлифования с учетом времени эксплуатации инструмента и его работоспособности;

для существующего понятия «период стойкости абразивного инструмента» разработана оригинальная методика его определения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что работоспособность ШК «континуальна» – изменяется в зависимости от материала обрабатываемых заготовок и режимов шлифования, что существенно расширяет область применимости инструментов;

применительно к проблематике диссертации результативно использован: метод конечных элементов (МКЭ) – для оценки напряженного состояния абразивного зерна в процессах шлифования, натурный эксперимент – для определения величины физико-химического износа абразивного зерна в процессах шлифования;

изложены положения математического моделирования с использованием численных методов, обоснование выбора целевой функции и ограничений при моделировании процесса шлифования;

раскрыты актуальные проблемы проектирования операций шлифования в современных условиях многономенклатурного производства, особенности влияния условий эксплуатации ШК на величину износа его абразивных зерен и работоспособность;

изучены методы проектирования операций шлифования для широкого диапазона технологических условий эксплуатации ШК, очерчены внутренние и внешние противоречия, присущие существующим методикам проектирования операций шлифования, не учитывающим работоспособность ШК различных характеристик при их эксплуатации в условиях многономенклатурного производства;

проведена модернизация комплекса существующих имитационных моделей процессов шлифования, позволяющая реализовать методику «континуального» проектирования операций шлифования; модернизация методологической базы проектирования операций шлифования, позволяющая проектировать эффективные операции шлифования в условиях многономен-

клатурного производства на основе разработанной методики «континуального» проектирования операций шлифования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены в действующее производство: методика прогнозирования работоспособности ШК, методика «континуального» проектирования операций шлифования на основе прогнозирования работоспособности ШК, а также методика разработки режимно-инструментального обеспечения операций шлифования с учетом работоспособности ШК в производственных условиях ООО «Челябинский тракторный завод – УралТРАК» (г. Челябинск), ПАО «Уральский завод тяжелого машиностроения» (г. Екатеринбург), ООО «Уральский механический завод» (г. Первоуральск), ПАО «Агрегат» (г. Сим), АО «Кыштымское машиностроительное объединение» (г. Кыштым), ООО «Уральский завод спецтехники» (г. Миасс) и др., что позволило повысить эффективность операций шлифования за счет рационального использования ресурса работоспособности инструмента, привело к сокращению основного технологического времени обработки различных заготовок, номенклатуры применяемого инструмента и снижению затрат на приобретаемый абразивный инструмент с суммарным экономическим эффектом 1 264 812 руб.;

определены направления и основные пути повышения эффективности операций шлифования в условиях многономенклатурного производства на основе:

разработанной методики прогнозирования работоспособности ШК, комплекса методик проектирования операций шлифования для условий многономенклатурного производства;

разработанной методики назначения марки абразивного материала при проектировании операций шлифования, а также полученным данным по средним величинам периода стойкости различных ШК;

разработанных технологических рекомендаций по назначению марки материала абразивных зерен, а также выбору величины периода стойкости ШК;

разработанных технологических рекомендаций по реализации методики «континуального» проектирования операций шлифования для условий многономенклатурного производства на основе прогнозирования работоспособности ШК;

разработанного алгоритмического и информационного обеспечения модуля технологической подготовки производства «T&TooL», позволяющего выполнять проектирование операций шлифования (выбор характеристики ШК и режима шлифования) для партий различных заготовок, подлежащих обработке в планируемом периоде времени.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использованы современные измерительные средства, в том числе запатентованные в качестве полезных моде-

лей, использованы методы цифровой обработки сигналов и современное программное обеспечение, показана достаточная статистическая значимость результатов исследований;

теоретические исследования построены на проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуются с ними; достоверность и обоснованность научных выводов, положений и полученных результатов базируется на основных положениях технологии машиностроения, теории резания материалов, математического моделирования с использованием численно-аналитических методов, математической статистики, методов цифровой обработки сигналов;

идея диссертационного исследования базируется на анализе практики шлифования, использовании и обобщении передового опыта российских и зарубежных ученых в области проектирования эффективных операций шлифования, а также математическом моделировании процессов, протекающих при шлифовании, с учетом широкого диапазона технологических факторов;

использовано сравнение данных, полученных автором, с данными, полученными ранее другими авторами по исследуемой тематике;

установлено качественное отсутствие противоречий, а также качественное и количественное совпадение результатов, полученных автором, и результатов, представленных в научных работах других ученых по проблематике диссертационной работы в независимых источниках периодической и справочной печати;

использованы современные методы сбора и обработки исходной информации, сравнение данных, полученных по разработанным автором методикам и моделям, с данными, полученными в ходе прямых экспериментов и другими учеными, а также с производственными данными.

Личный вклад соискателя состоит в: включенном участии на всех этапах процесса, определении цели, задач, непосредственном выполнении научных исследований, как теоретического, так и экспериментального характера, необходимых для решения поставленных задач и достижения цели диссертационной работы; разработке математических моделей – износа и площадки затупления абразивного зерна; методик «континуального» проектирования операция шлифования, прогнозирования работоспособности ШК, определения величины периода стойкости ШК, экспериментального определения величины коэффициента сродства абразивного и обрабатываемого материалов; разработке экспериментальных стендов – для испытаний ШК с целью определения их эксплуатационных показателей и проверки прогнозных моделей, а также стенда для исследования процесса микрорезания единичным абразивным зерном для проверки разработанной прогнозной модели; обработке и интерпретации экспериментальных данных, полученных по результатам использования разработанных методик и испытательных стендов; промышленной апробации методик проектирования операций шлифования в условиях многономенклатурного производства, а также разработке информационного и алгоритмического обеспечения модуля технологической подготовки производства; обработке и интерпретации теоретических и экспери-

ментальных данных, разработке рекомендаций по проектированию операций шлифования в части назначения марки абразивного зерна и определению величины периода стойкости ШК; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований и основной идейной линией, взаимосвязью решенных задач и полученных выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Ардашева Дмитрия Валерьевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения повышения эффективности операций шлифования, выполняемых в условиях современного многономенклатурного производства на основе применения разработанной концептуально новой методики «континуального» проектирования операций шлифования, включающей в себя комплекс математических моделей и методик оценки износа абразивных зерен, определения периода стойкости и эксплуатационных показателей ШК, базирующейся на прогнозировании работоспособности ШК в широком диапазоне технологических условий их эксплуатации, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Работа соответствует критериям, установленным в разделе II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 26 октября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Ардашеву Д.В. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки и 9 докторов наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет (член совета Ю.В. Полянсков по состоянию здоровья кратковременно покидал заседание диссертационного совета во время его проведения и не принимал участия в голосовании).

Председатель.

На этом защиту заканчиваем. Поздравляем нашего соискателя с успешной защитой. Благодарю диссертационный совет за работу.

Председатель
диссертационного совета
д-р техн. наук, профессор В.П. Табаков

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент Н.И. Веткасов