

В диссертационный совет Д999.003.02
при ФГБОУ ВО «Ульяновский
государственный технический
университет»

432027, ГСП, г. Ульяновск, ул. Северный
Венец, д. 32.

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Ардашева Дмитрия Валерьевича

на тему: «Повышение эффективности операций шлифования в
многономенклатурном производстве на основе прогнозирования
работоспособности шлифовальных кругов»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальностям 05.02.07 – Технология и оборудование механической и
физико-технической обработки; 05.02.08 – Технология машиностроения

1. Актуальность темы диссертации

В современном машиностроении повышение эффективности производства во многом определяется совершенствованием методов механической обработки, в том числе шлифования. К результатам операций шлифования 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 – выпуск малых партий изделий, изготовленных 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 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 (различные обрабатываемые материалы, режимы шлифования), а также основные механизмы его износа при шлифовании – механический и физико-химический.

Разработанные автором теоретические и методические основы прогнозирования работоспособности абразивного инструмента позволили создать методику определения периода стойкости шлифовального круга, основанную на определении режимно-временной области рациональной эксплуатации круга, а также определить время эффективной работы инструмента исходя из его работоспособности и требований к качеству обработки (точность, шероховатость, бесприжговость). На основании этого тема диссертационной работы Ардашева Д.В. является актуальной, как для науки, так и для повышения эффективности операций шлифования в многономенклатурном производстве на машиностроительных предприятиях.

2. Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Наиболее важными научными результатами исследований являются:

- методика континуального проектирования операций шлифования, реализуемая на основе учета работоспособности шлифовального круга, позволяющая проектировать эффективные операции шлифования в многономенклатурном производстве для широкого диапазона технологических условий (различные обрабатываемые материалы), с учетом требований к качеству обработки (по точности, шероховатости, бесприжговости) с минимальными затратами времени на обработку;

- математическая модель изменения размера площадки затупления абразивного зерна, связывающая ее величину с параметрами эксплуатации инструмента (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, предложены эмпирические модели для его прогнозирования в зависимости от концентрации элементов, входящих в состав материала обрабатываемой заготовки;

- методика прогнозирования эксплуатационных показателей шлифовального круга, позволяющая за счет учета текущей величины размера площадки затупления единичного абразивного зерна прогнозировать работоспособность инструмента для широкого диапазона технологических условий (различные обрабатываемые материалы, режимы шлифования, требования к качеству обработки);
- методика определения периода стойкости шлифовального круга, позволяющая определять режимно-временную область его рациональной эксплуатации на основе спрогнозированной работоспособности;
- комплекс методик континуального проектирования операций шлифования в условиях многономенклатурного производства, позволяющий повысить их эффективность за счет учета работоспособности инструмента.

3. Степень обоснованности и достоверности основных положений и выводов диссертационной работы

Автором работы выделены 14 основных выводов и научных положений. Все выводы обоснованы результатами исследований, представленными в соответствующих главах диссертации.

Первый вывод обосновывает необходимость проектирования операций шлифования на основе учета сведений о шлифовальном круге, которые отражают уровень его работоспособности в широком диапазоне технологических условий (различные обрабатываемые материалы, режимы шлифования). Доказано, что работоспособность шлифовального круга континуальна – изменяется в зависимости от условий выполняемой операции, времени работы инструмента и характеризуется режимно-временной областью. Поэтому проектирование операций шлифования необходимо выполнять с учетом работоспособности шлифовального круга, что позволяет определить рациональные режимы шлифования в зависимости от требований, предъявляемых к операции. Вывод основан на исследованиях главы 1 (с.29-115). Данные результаты используется при определении задач исследования и в главе 7 при определении технологических условий резания.

Второй вывод показывает, что на основе учета свойства континуальности работоспособности шлифовального круга разработана новая методика проектирования, позволяющая проектировать операции шлифования с учетом работоспособности инструмента. Вывод основан на результатах главы 2 (с.115-134). Разработанная методика используется в главе 6 при разработке технологического обеспечения проектирования операций шлифования для

условий многономенклатурного производства, 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, что позволило установить взаимосвязь между технологическими условиями эксплуатации шлифовального круга и механическим износом единичного абразивного зерна. В результате установлено, что увеличение температуры в зоне шлифования с 400 до 800 °C 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 химического состава. 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 до 1 % снижает коэффициент сродства в 2,4...6,4 раза; рост его 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, а дальнейший рост его концентрации уменьшает коэффициент сродства в 2,5...5 раз; рост концентрации титана в сплавах ВТ до 95 % приводит к возрастанию коэффициента сродства в 1,3 раза; марганцовистые стали имеют тенденцию к снижению коэффициента сродства порядка в 1,4 раза с увеличением концентрации углерода в 3 раза. Вывод основан на результатах, представленных в главе 3 (с.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 (режимы

шлифования, механические и физико-химические свойства обрабатываемого и абразивного материала). Вывод основан на результатах главы 3 (с.171-174).

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 шлифовального круга 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 (с.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, параметров характеристики инструмента. Установлено, что за время работы инструмента происходит изменение величины площадки: при работе ШК зернистостью F60 – на 15 %, F46 – от 20 до 40 %. Модель позволяет определить размер площадки затупления единичного абразивного зерна шлифовального круга для различных технологических условий эксплуатации, что дает возможность прогнозирования работоспособности инструмента. Вывод основан на результатах главы 3 (с.174-183).

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 (различные обрабатываемые материалы, режимы шлифования). Однако нет указаний, с какими распределениями работает данная модель. В основу методики положен учет изменения размера площадки затупления абразивного зерна во время работы инструмента, что позволяет расчетным путем определять область его работоспособности, что создает предпосылки для повышения эффективности операций шлифования для широкого диапазона технологических условий их реализации. Вывод недостаточно обоснован в части стохастического подхода к расчетам. Результаты изложены в главе 4 (с.184-188).

Девятый вывод констатирует, что разработана методика определения периода стойкости шлифовального круга, учитывающая характеристику

абразивного инструмента и технологические условия его эксплуатации (различные обрабатываемые материалы, режимы шлифования), основанная на определении режимно-временной области эксплуатации инструмента, полученной по результатам прогнозирования его работоспособности, с одновременным выполнением всех технологических ограничений операции шлифования. Вывод основан на результатах главы 4 (с.188-196).

Десятый вывод констатирует, что разработан комплекс инженерных методик проектирования операций шлифования для условий многономенклатурного производства, в котором учитывается работоспособность инструмента. Методики базируются на сравнительном анализе эксплуатационных свойств различных шлифовальных кругов, выделении режимно-временной области их рациональной эксплуатации и одновременном определении пары «характеристика шлифовального круга – 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 (с.197-205).

Одиннадцатый вывод констатирует, что разработано алгоритмическое и информационное обеспечение модуля технологической подготовки производства «T&TooL», позволяющего выполнять проектирование операций шлифования (выбор характеристики шлифовального круга и режима шлифования) для партий различных заготовок, подлежащих обработке в планируемом периоде времени. Вывод основан на результатах главы 5 (с.206-218).

Двенадцатый вывод показывает, что в результате работы создана методика назначения марки абразивного материала при проектировании операций шлифования, а также получены данные по средним величинам периода стойкости различных шлифовальных кругов. Данные материалы оформлены в виде соответствующих разделов справочника по режимам шлифования. Разработан руководящий технический материал «Круги шлифовальные. Прогнозирование эксплуатационных показателей шлифовальных кругов при обработке различных марок сталей и сплавов», и предложена методика прогнозирования работоспособности инструмента и инженерные методики проектирования операций шлифования в многономенклатурном производстве. Вывод основан на результатах главы 7 (с.235-236).

Тринадцатый вывод обосновывает возможности практического использования методики континуального проектирования операций шлифования, методики прогнозирования работоспособности шлифовального круга, а также инженерной методики проектирования операций шлифования, что позволило:

- определить режим шлифования для шлифовального круга определенной характеристики, повысив тем самым эффективность использования ресурса его работоспособности при эксплуатации в изменяющихся технологических условиях (разные обрабатываемые материалы, требования к качеству обработки и т.д.), что позволило сократить основное технологическое время обработки до 20 %;

- определить пару «характеристика шлифовального круга – режим шлифования» для изготовления партий различных деталей, сократив тем самым номенклатуру абразивного инструмента, применяемого для реализации операций шлифования, что позволило повысить эффективность шлифования на 15 % на одну деталь и 42 % на партию деталей за счет снижения себестоимости изготовления;

- сформировать рациональный порядок замены шлифовального круга различных характеристик на станке для обработки различных партий заготовок в планируемом периоде времени, что привело к повышению эффективности операций шлифования практически на 40 % за счет сокращения суммарного времени обработки всех партий заготовок.

Вывод основан на результатах главы 6 (с.220-232).

Четырнадцатый вывод показывает внедрение результатов работы 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. позволило повысить эффективность операций шлифования за счет рационального использования ресурса работоспособности инструмента, что привело к сокращению основного технологического времени обработки различных деталей на 15...20 %, номенклатуры применяемого инструмента на 15...20 % и снижению затрат на приобретаемый абразивный инструмент на 25...30 %. Вывод основан на документах приложения Г (с.313-343).

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 и результатами других авторов, которое подтверждается хорошим соответствием.

Также достоверность результатов исследований подтверждена аprobацией на конференциях и актами внедрения в производство.

4. Теоретическая и практическая значимость полученных результатов диссертационной работы

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке и установлении:

- математической модели долговечности абразивного зерна при шлифовании, реализованная на основе кинетической теории прочности твердых тел, устанавливающей взаимосвязь между технологическими условиями эксплуатации шлифовального круга и механическим износом единичного абразивного зерна;

- 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, предложены эмпирические модели для его прогнозирования в зависимости от концентрации элементов, входящих в состав материала обрабатываемой заготовки;

- математической модели износа абразивного зерна, учитывающей время его работы, технологические условия его эксплуатации (различные обрабатываемые материалы, режимы шлифования), а также основные механизмы его износа при шлифовании – механический и физико-химический;

- математической модели изменения размера площадки затупления абразивного зерна, учитывающей время работы инструмента, позволяющей определять ее величину для широкого диапазона параметров эксплуатации инструмента (обрабатываемые материалы, режимы шлифования) и прогнозировать величину износа зерна с учетом основных его механизмов – механического и физико-химического.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке и создании:

- комплекса инженерных методик континуального проектирования операций шлифования в условиях многономенклатурного производства на основе прогнозирования работоспособности шлифовального круга;
- рекомендаций по выбору характеристики абразивного инструмента при назначения марки материала абразивного зерна шлифовального круга для различных технологических условий операции шлифования (разные марки обрабатываемого материала);
- рекомендаций по определению периода стойкости шлифовального круга различных характеристик, эксплуатирующихся в широком диапазоне технологических условий (различные обрабатываемые материалы, требования к качеству обработки);
- алгоритмического и информационного обеспечения модуля технологической подготовки производства «T&TooL», реализующего методику континуального проектирования операций шлифования.

5. Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация изложена на 351 страницах и состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы на 465 наименований и 4 приложений. Представленная диссертация характеризуется логичностью изложения и 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, технически 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.

6. Замечания по диссертационной работе

К недостаткам работы следует отнести:

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 скальвания 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.

Однако, замечания, приведенные в отзыве, не являются принципиальными, а отмеченные недостатки не снижают значимости диссертации и общей положительной оценки.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»

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 шлифовальных кругов. 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 порядке присуждения 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; 05.02.08 – Технология машиностроения.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой мехатронных систем и процессов формообразования имени С.С. Силина
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»

Волков Дмитрий Иванович

28.06.2018

Специальность: 05.03.01 Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент

E-mail: d_i_volkov@rsatu.ru. Тел.: 8 (4855) 222-556

152934, г. Рыбинск, ул. Плеханова, д. 2, Первый корпус, каб. 226.

ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»

Подпись Волкова Д. И. подтверждают проректор по научной работе и инновациям ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева»,
доктор технических наук, профессор

