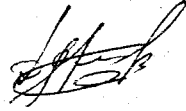


05.03.01  
№ 109

На правах рукописи



Ардашев Дмитрий Валерьевич

**ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПО КОМПЛЕКСУ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

Специальность 05.03.01 — «Технологии и оборудование  
механической и физико-технической обработки»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
2005

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения»  
Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ).

**Научный руководитель:** доктор технических наук,  
ст. научный сотрудник  
**Б.А. Чаплыгин**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
профессор  
**В.И. Курдюков**

кандидат технических наук  
**Ф.Я. Корчмарь**

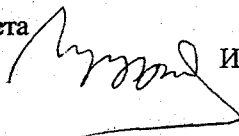
**Ведущее предприятие:** ООО «ЧТЗ-Уралтрак».

Защита диссертации состоится «27» октября 2005 г. в 14:00,  
на заседании диссертационного совета Д212.298.06 в ауд. 201 главного  
корпуса Южно-Уральского государственного университета по адресу:  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЮУрГУ.

Автореферат разослан «23» сентября 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

 **И.А. Щуров**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность.* Стандартная маркировка шлифовального круга содержит конструктивные параметры инструмента — геометрическую характеристику, материал зерен, их размер, соотношение количества связки и зерен, вид связки и др. Сведения об эксплуатационных возможностях шлифовального круга в его маркировке отсутствуют.

В условиях серийного производства зачастую шлифование деталей с различными техническими требованиями производится кругом одной характеристики, что вызвано ограниченностью имеющейся номенклатуры инструмента и значительной трудоемкостью замены круга на станке. Обеспечение технических требований достигается варьированием режимами шлифования. При этом оптимальность выбранных режимов обработки зависит от квалификации рабочего-шлифовщика или наладчика станка. В этих случаях круг эксплуатируется на заниженных режимах и его ресурс используется не полностью.

Таким образом, существует значительный резерв повышения эффективности использования шлифовальных кругов в разных технологических условиях. Использование этого резерва может быть достигнуто путем вскрытия и описания работоспособности шлифовального круга.

Рядом ученых для оценки работоспособности шлифовального круга предложено около 30 различного рода эксплуатационных показателей. Однако отдельный показатель может быть использован для решения локальных задач — сравнение кругов разных производителей, оценка эффективности применяемой характеристики инструмента и т.д.

Известны два решения комплексного описания работоспособности шлифовального круга — карта шлифования (R.Aarens, A.Decneut, M.Maris, J.Peters, R.Snoeys) и паспорт эксплуатационных показателей (С.Н. Корчак, Д.В. Исаков). Приведенные в них показатели работоспособности шлифовального круга являются средними за весь период стойкости инструмента, что является недостатком. Кроме того, по крайней мере еще две особенности, присущие шлифованию, в указанных работах не были учтены, а именно стохастичность и колебательный характер силы резания.

В связи с этим, задача комплексной оценки работоспособности шлифовального круга по комплексу его эксплуатационных показателей с учетом нестационарности (изменчивости показателей шлифования во времени работы круга), стохастичности (случайного характера удаления припуска) и колебательного характера силы резания является актуальной, решение которой позволит наиболее полно использовать ресурс шлифовального круга в разных технологических условиях.

**Цель.** Повышение эффективности использования ресурса работоспособности шлифовального круга на основе комплексного описания его эксплуатационных возможностей.

Для достижения поставленной цели решались следующие *задачи*.

1. Сформировать комплекс показателей для оценки работоспособности шлифовальных кругов, с учетом нестационарности, стохастичности, а также колебательного характера силы шлифования.

2. Создать комплекс оборудования и методики стендового испытания шлифовального круга с учетом нестационарности, стохастичности показателей, а также колебательного характера силы шлифования.

3. Предложить форму представления функциональной характеристики шлифовального круга, содержащей комплексное описание его работоспособности.

4. Разработать рекомендации по использованию комплексного описания эксплуатационных свойств шлифовальных кругов для решения задач технологического проектирования операции шлифования.

#### **Научная новизна**

1. Сформирован комплекс эксплуатационных показателей для описания работоспособности шлифовального круга, в котором впервые учтены:

- нестационарность показателей шлифования во времени;
- стохастический характер шлифования;
- колебательный характер силы резания.

2. Предложена двухпараметрическая оценка эксплуатационных показателей шлифовального круга в виде трендовой составляющей и доверительного коридора.

3. Разработаны методики стендового испытания шлифовального круга, позволяющие регистрировать изменение выходных показателей процесса шлифования, с учетом перечисленных особенностей.

#### **Практическая ценность**

1. Созданы эталонные технологические эксплуатационные паспорта для кругов трех абразивных материалов (электрокорунд белый, нормальный и хромтитанистый), двух зернистостей (25Н и 40Н) и трех степеней твердости (СМ2, С1 и СТ2), позволяющие наиболее эффективно использовать ресурс работоспособности инструмента.

2. Разработаны методики решения практических задач технологического проектирования операции.

3. Создан комплекс испытательного оборудования для проведения стендовых испытаний шлифовальных кругов и построения технологического эксплуатационного паспорта.

### ***Внедрение результатов работы***

1. Создан стандарт предприятия — СТП 774-04-2004 «Круги шлифовальные. Эксплуатационные показатели», содержащий эталонные технологические эксплуатационные паспорта, предназначенный для применения на заводах-потребителях абразивного инструмента и являющийся дополнением к ГОСТ 2424-83 «Круги шлифовальные. Технические условия».

2. Для заводов-изготовителей абразивного инструмента разработан РТМ «Круги шлифовальные. Методика разработки технологического эксплуатационного паспорта», содержащий методики построения технологического эксплуатационного паспорта шлифовального круга.

3. Для заводов-потребителей абразивного инструмента создан РТМ «Круги шлифовальные. Методика работы с технологическим эксплуатационным паспортом», содержащий методики решения практических задач на основе технологического эксплуатационного паспорта круга.

4. Перечисленные документы внедрены на ряде машиностроительных заводов, а также на Челябинском абразивном заводе.

***Апробация работы.*** Основные положения работы докладывались на научно-технических конференциях в ЮУрГУ (2000, 2001, 2004 гг.), международных конференциях и семинарах (г. Волжск — 2003, 2004 гг., г. Санкт-Петербург — 2002 г., г. Екатеринбург — 2003 г.). Результаты работы прошли промышленную апробацию.

***Публикации по теме.*** По теме работы опубликовано 11 печатных работ в виде научных статей и докладов всероссийских и международных конференций.

***Структура и объем работы.*** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы (151 наименование) и пяти приложений. Работа изложена на 261 странице машинописного текста, включает 100 рисунков и 66 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

***Во введении*** обоснована актуальность, практическая значимость работы, сформулированы теоретические предпосылки выполнения исследования.

***В первой главе*** по данным литературы выполнен анализ существующих методов оценки работоспособности шлифовального круга.

В принятом обозначении шлифовального круга присутствуют параметры, характеризующие его геометрические размеры, а также его конструкцию — материал и размер зерна, процентное содержание зерна, связки и пор, что характеризует твердость и структуру круга, тип связки, а также

класс точности, неуравновешенности и предельно допустимая рабочая скорость круга.

В используемом обозначении характеристики круга отсутствуют данные, отражающие его режущие свойства, несмотря на то, что взаимосвязи между показателями шлифования и параметрами характеристики круга прослеживаются: шероховатость поверхности — зернистость, твердость — сила шлифования и т.д.

Эти взаимосвязи реализованы в справочниках общемашиностроительных нормативов режимов резания, в соответствии с которыми обработка деталей, различающихся требованиями чертежа (по точности, шероховатости, бесприжоговости и др.) должна осуществляться кругами разных характеристик.

Однако в условиях серийного производства обработку различных деталей производят кругом одной характеристики на одном станке. При этом требуемое качество обработки достигается подбором режимов резания. Наличие информации о режущих свойствах шлифовального круга позволит более полно использовать ресурс инструмента в меняющихся технологических условиях.

ГОСТ 2424—83 предписывает оценивать режущие свойства коэффициентом шлифования и шероховатостью шлифованной поверхности. Различные эксплуатационные показатели шлифовального круга (около 30) были предложены М.П. Волковым, Е.С. Киселевым, Г.Б. Лурье, Н.П. Малевским, Е.Н. Масловым, А.А. Маталиным, Л.Н. Филимоновым, Л.В. Худобиным и др.

Однако оценка режущих свойств круга по единичному показателю является частным случаем. Использование отдельно взятого показателя позволяет решать локальные задачи, например, сравнивать круги разного качества или производителей с целью установления наиболее оптимальной характеристики круга, оценивать эффективность применения круга определенной характеристики в конкретных технологических условиях и т.д. Для полного описания эксплуатационных свойств шлифовальных кругов необходима их оценка по комплексу показателей.

R.Aarens, A.Decneut, M.Maris, J.Peters, R.Snoeys, предложили карту шлифования, представляющую собой набор графиков изменения **средних за период стойкости круга величин** выходных показателей шлифования (составляющие силы шлифования, шероховатость шлифованной поверхности, коэффициент шлифования, объем снятого металла и изношенного круга). Перечисленные показатели изменяются в зависимости от эквивалентной толщины стружки  $h$ , и измерялись как средние величины за все время работы круга между правками.

Дальнейшие работы по комплексному описанию режущих свойств шлифовальных кругов нашли отражение в работах С.Н. Корчака, Д.В. Исакова. Ими был предложен паспорт эксплуатационных показателей шлифовального круга, в котором приводилось изменение **средних за период стойкости круга величин** показателей шлифования — составляющих силы шлифования, шероховатости шлифованной поверхности, интенсивности износа круга, периода стойкости круга.

В качестве аргумента, от которого зависят показатели шлифования, в паспорте принят режим резания — прямой фактор управления процессом. Это положительно отличает паспорт от карты шлифования, однако кроме перечисленных показателей в паспорт входят: податливость технологической системы, срок эксплуатации станка, требуемая точность обработки, технологическая себестоимость операции. Набор перечисленных показателей делает паспорт круга подчиненным задаче проектирования шлифовальной операции, поскольку в нем учтены не только параметры, характеризующие режущие свойства круга, но и характеристики технологической среды, в которой круг эксплуатируется. Однако присутствие показателей, не зависящих от режущих свойств инструмента, является, на наш взгляд, излишним.

В рассмотренных работах по комплексному описанию работоспособности шлифовального круга не учтены три характерные особенности, отличающие шлифование от других видов механической обработки.

**Нестационарность показателей шлифования.** Существует ряд экспериментальных исследований, выполненных Н.И. Богомоловым, С.Н. Корчаком, В.И. Муцяно, В.И. Островским, Г.И. Саютиным, Л.Н. Филимоновым, А.В. Якимовым и др., на основании которых можно заключить, что выходные показатели процесса шлифования (съем металла, износ круга, силы резания, шероховатость поверхности и др.) интенсивно изменяются в течение времени работы круга.

**Стохастичность процесса шлифования.** Как известно, шлифовальный круг представляет собой упаковку беспорядочно расположенных режущих зерен, частиц связки и пор. В силу дискретного контакта круга с обрабатываемой заготовкой и хаотичного расположения работающих зерен процесс шлифования носит случайный характер, что учтено в работах Н.В. Агаповой, А.В. Королева, В.И. Курдюкова, Ю.К. Новоселова, В.И. Островского, С.Г. Редько, П.И. Ящерицына и др. Случайный характер шлифования закладывается на этапе изготовления круга (при смешении абразивной массы, при рассеве зерен, в процессе формования и обжига инструмента).

Стохастичность процесса шлифования доказывается рядом экспериментальных исследований рабочей поверхности шлифовального круга, выполненных Е.Н. Масловым, Л.Н. Филимоновым и др.

**Колебательный характер силы резания.** В связи с рядом особенностей изготовления (исходный дисбаланс круга, неравномерное распределение работающих зерен в круге), устройства (зерна расположены на разном расстоянии друг от друга) и работы круга (дискретный контакт с обрабатываемой поверхностью) сила шлифования имеет импульсную природу и обладает колебательным характером.

Возмущающая сила шлифования обуславливает колебательные процессы, возникающие при шлифовании в технологической системе, что зачастую является критерием стойкости шлифовального круга.

Таким образом, рассмотренные три особенности процесса шлифования, а именно **нестационарность, стохастичность и колебательный характер силы резания**, отмечались и исследовались различными учеными, однако при комплексной оценке работоспособности шлифовальных кругов не учитывались.

Проведенный анализ состояния вопроса оценки работоспособности шлифовальных кругов дает основание сформулировать **рабочую гипотезу** настоящего исследования следующим образом: полное использование ресурса шлифовального круга может быть реализовано только при комплексной оценке его работоспособности, учитывающей нестационарность, стохастичность шлифования, а также колебательный характер силы резания.

**Во второй главе**, на основании комплекса эксплуатационных показателей, отраженного в карте шлифования и паспорте шлифовального круга, и исходя из функциональной взаимосвязи показателей шлифования с режущими свойствами круга, сформирован новый комплекс эксплуатационных показателей, описывающий работоспособность шлифовального круга (1).

**Для учета стохастического характера** процесса шлифования эксплуатационные показатели рассматриваются как случайные величины, для описания которых приняты два первых центральных момента: математическое ожидание показателя  $M$  и дисперсия  $D$  его величины.

Таким образом, каждый эксплуатационный показатель представлен в виде двух параметров — тренда (математическое ожидание показателя) и доверительного коридора величины показателя (дисперсия).

**Колебательный характер силы шлифования** формируется на основе несущих частот, первая из которых вызвана исходным дисбалансом круга (нижняя частотная граница), вторая обуславливается воздействием отдельных режущих зерен шлифовального круга на обрабатываемую поверхность (верхняя частотная граница).



- $Q_M = f(v_{\text{спал}}, t)$  — интенсивность съема металла,  
 как функция времени работы круга, мм/мин;  
 $Q_a = f(v_{\text{спал}}, t)$  — интенсивность износа круга,  
 как функция времени работы круга, мм/мин;  
 $P_y = f(v_{\text{спал}}, t)$  — радиальная составляющая силы шлифования,  
 как функция времени работы круга, Н/мм;  
 $P_z = f(v_{\text{спал}}, t)$  — нормальная составляющая силы шлифования,  
 как функция времени работы круга, Н/мм;  
 $R_a = f(v_{\text{спал}}, t)$  — шероховатость шлифованной поверхности без выхаживания, (1)  
 как функция времени работы круга, мм/мин;  
 $R_a = f(v_{\text{спал}}, t)$  — шероховатость шлифованной поверхности после выхаживания,  
 как функция времени работы круга, мм/мин;  
 $A = f(v_{\text{спал}}, t)$  — амплитуда колебаний силы шлифования,  
 как функция времени работы круга, dB;  
 $f = f(v_{\text{спал}}, t)$  — частота колебаний силы шлифования,  
 как функция времени работы круга, Hz.

Кроме того, при изготовлении круга возможны технологические дефекты его изготовления (неравномерное расположение зерен по поверхности круга), т.е. имеется ряд промежуточных частот (рис. 1).

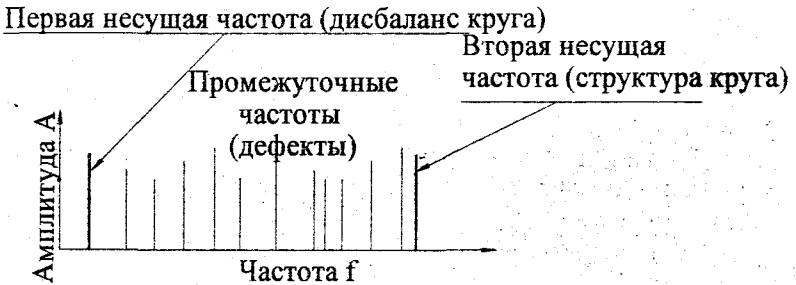


Рис. 1. Формирование силы шлифования

Разложение колебаний возмущающей силы резания при шлифовании в ряд Фурье показало, что с уменьшением скважности импульсов силы (с увеличением степени затупления абразивных зерен круга) возрастает доля высокочастотных колебаний, т.е. увеличивается значимость колебательной составляющей.

В теории колебаний для описания установившихся колебательных процессов используют амплитудно-частотную характеристику. Шлифование является неустановившемся процессом, поэтому АЧХ процесса шлифования имеет вид криволинейной поверхности (рис. 2).

Г.Б. Лурье отмечал, что при шлифовании возникает новый спектр частот колебаний, вызванный работой абразивных зерен круга. В производст-

венных условиях рабочий момент необходимости правки круга определяет на слух. Проведенное исследование процесса шлифования акустическим способом выявило характер изменения АЧХ шлифования во времени. На основе полученных акустических диаграмм, представляющих собой изменение амплитуды колебаний во времени, а также их спектрального анализа установлено, что со временем шлифования в общем спектре частот и амплитуд возникает и изменяется новый амплитудно-частотный диапазон. Этот диапазон возникает в связи с затуплением зерен круга и характеризуется изменением во времени амплитуды и частоты колебаний силы резания.

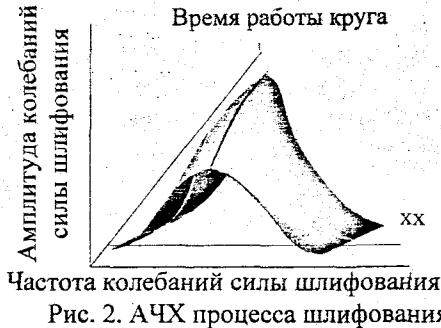


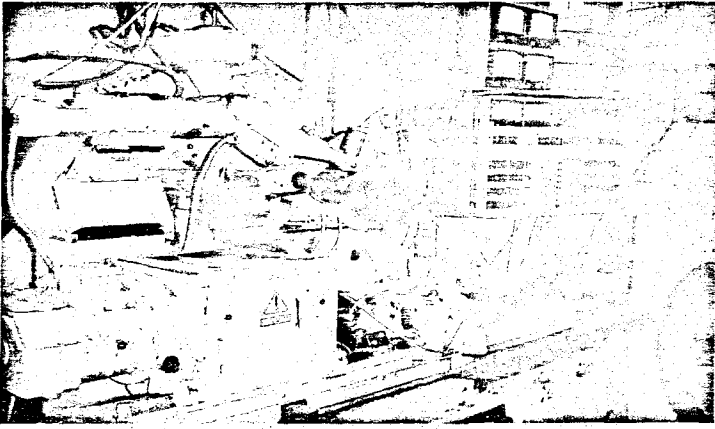
Рис. 2. АЧХ процесса шлифования

Таким образом, сформированный комплекс эксплуатационных показателей для оценки работоспособности шлифовального круга (1) содержит набор параметров, определяющих качество обработки, а также учитывает особенности процесса шлифования — **нестационарность, стохастичность, а также колебательный характер силы шлифования.**

*В третьей главе* приведен общий методический план исследования, включая разработку методик стендового испытания круга; описано оборудование, используемое для получения величин эксплуатационных показателей шлифовальных кругов; приведены данные стендового испытания шлифовального круга.

**Испытательный стенд**, выполненный на базе круглошлифовального станка 3М151Ф2 (рис. 3, а), включает:

- контур измерения трендовой величины составляющих силы шлифования (рис. 3, б);
- контур фиксирования колебательной составляющей силы шлифования (рис. 3, в);
- контур измерения параметров шероховатости шлифованной поверхности (рис. 3, г);
- контур определения радиального износа круга (рис. 3, д).



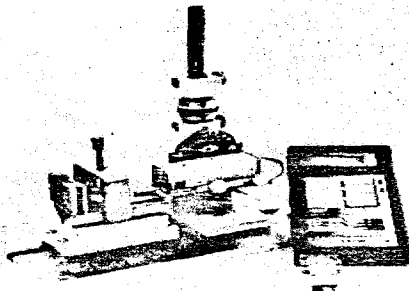
а)



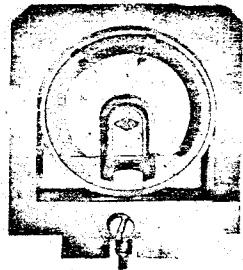
б)



в)



г)



д)

Рис. 3. Испытательное оборудование

Для учета временной нестационарности показателей процесса шлифования разработаны методики стендового испытания шлифовального круга, позволяющие фиксировать изменение эксплуатационных показателей шлифовальных кругов во времени работы круга.

**Методика обработки результатов** стендового испытания круга содержит несколько этапов.

На первом этапе проводился регрессионный анализ, строились математические модели.

На втором этапе для учета стохастичности процесса шлифования строился доверительный коридор для уравнений регрессии показателей круга. Для построения доверительного коридора необходима интервальная оценка. В математической статистике известны методы интервальной оценки отдельных параметров. Однако, поскольку каждый эксплуатационный показатель представлен как функциональная зависимость, то необходима интервальная оценка уравнения регрессии для трендовой составляющей:

$$D_{y^0} = \frac{S_y^2[v]}{\det|h_{ij}|} \sum_{i=1}^m h_{ij}^{-1} \cdot x_i \cdot x_j, \quad (2)$$

где  $S_y^2[v]$  — объединенная дисперсия показателя;  $h_{ij}$ ,  $x_i$ ,  $x_j$  — соответствующие коэффициенты матрицы, получаемой при регрессионном анализе.

**Стендовые испытания** шлифовальных кругов разных характеристик на разных режимах резания показали, что за время работы круга силы шлифования в среднем увеличиваются:  $P_y$  — в 1,22–3,65, а  $P_z$  — в 1,32–5,00 раз; шероховатость шлифованной поверхности возрастает:  $R_a$  — в 1,24–4,59, а  $R_{ад}$  — в 1,25–5,38 раза; интенсивность съема металла  $Q_m$  уменьшается в 1,02–1,18 раза, интенсивность износа круга  $Q_a$  возрастает в 1,81–6,85 раза. Таким образом, при комплексном описании работоспособности шлифовального круга необходимо учитывать нестационарность показателей шлифования во времени.

Для каждого исследуемого круга построены регрессионные кривые показателей, состоящие из двух характеристик — трендовой составляющей (математического ожидания величины показателя) и коридора разброса показателя (дисперсии величины показателя).

Показателем, отражающим колебательный характер силы резания, является динамическая характеристика шлифовального круга, представляющая собой зависимость амплитуды колебаний силы резания от времени работы круга (рис. 4, а). Спектральный анализ (рис. 4, б) позволил установить характер изменения амплитуды и частоты колебаний силы шлифования в зависимости от времени работы круга и режима шлифования.

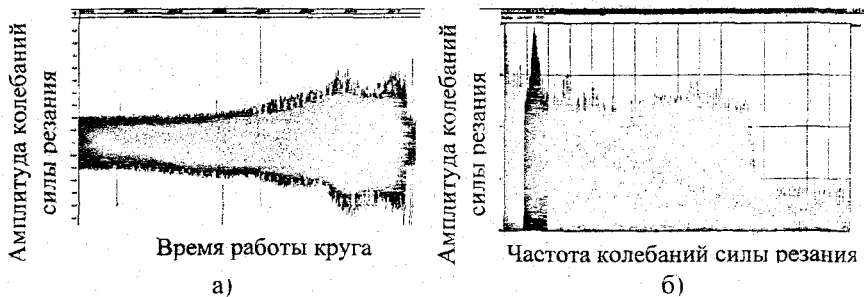


Рис. 4. Динамическая характеристика круга 24А 25Н СМ2 7 К (а) и ее спектральный анализ для времени работы круга 2 мин (б)

В четвертой главе приведены результаты стендовых испытаний шлифовальных кругов 24А25НСМ27К, 24А25НС17К, 24А40НСМ27К, 14А40НСТ27К, 92А25НСМ27К, выполненные в соответствии с разработанными методиками на созданном испытательном стенде. Разработаны три варианта технологического эксплуатационного паспорта шлифовального круга:

- табличный (таб.);
- графический (рис. 5);
- компьютерный.

Созданные технологические эксплуатационные паспорта шлифовальных кругов являются эталонными, так как получены в условиях испытания инструмента, регламентированных ГОСТ 2424-83 «Круги шлифовальные. Технические условия» п. 2.14 «Эксплуатационные показатели качества кругов на керамической связке».

АЧХ шлифования в численном представлении довольно громоздка, поскольку в каждый момент времени работы круга описывается стационарной АЧХ, поэтому в табличном и графическом представлении паспорта принято упрощенное описание динамической характеристики круга в виде изменения во времени частоты колебаний, действующей с максимальной амплитудой. В компьютерном варианте паспорта круга АЧХ шлифования отражена полностью.

Графический и табличный вариант технологического эксплуатационного паспорта шлифовального круга содержат среднюю величину доверительного коридора показателей.

Эталонный технологический паспорт шлифовального круга 24А 25Н СМ2 7 К 50 м/с ГОСТ 2424-83  
(табличное представление)

Время работы кру- га, мин	Производительность Ом, мм/мин		Нагрузка на технологиче- скую систему Ру, Н/мм				Шероховатость без выжигания Ра, мкм				Динамическая характеристика: Амплитуда А, дВ							
	Интенсивность износа круга Ом, мм/мин		Мощность резания През, кВт/мм				Шероховатость после выжигания Ра, мкм				Частота f, kHz							
	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Эксплуатационный показатель круга																		
Скорость радиальной подачи круга, мм/мин																		
1	0,099	0,124	0,148	0,173	0,198	0,247	1,9	1,9	2,1	2,3	2,6	3,1	0,49	0,41	0,59	0,66	0,77	0,80
2	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,04	0,04	0,06	0,06	0,08	0,09	0,31	0,31	0,39	0,45	0,45	0,62
3	0,097	0,120	0,144	0,167	0,192	0,240	2,0	2,2	2,4	2,9	3,5	4,1	0,56	0,68	0,72	0,91	0,99	1,18
4	0,003	0,005	0,006	0,008	0,009	0,010	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,43	0,51	0,53	0,65	0,71	0,89
5	0,095	0,119	0,142	0,166	0,188	0,234	2,2	2,3	2,9	3,9	4,2	4,8	0,72	0,87	1,00	1,21	1,28	1,45
6	0,005	0,006	0,008	0,009	0,011	0,015	0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,14	0,54	0,63	0,70	0,81	0,97	1,22
7	0,093	0,117	0,140	0,161	—	—	2,3	2,7	3,5	4,4	—	—	0,89	0,98	1,14	1,49	—	—
8	0,008	0,009	0,010	0,012	—	—	0,06	0,07	0,10	0,12	—	—	0,71	0,74	0,93	1,01	—	—
9	0,091	0,112	0,136	—	—	—	2,5	3,1	4,1	—	—	—	1,04	1,11	1,29	—	—	—
10	0,008	0,013	0,014	—	—	—	0,07	0,07	0,11	—	—	—	0,81	0,93	1,09	—	—	—
11	0,090	0,110	—	—	—	—	3,0	3,7	—	—	—	—	1,13	1,21	—	—	—	—
12	0,011	0,014	—	—	—	—	0,08	0,08	—	—	—	—	0,97	1,09	—	—	—	—
Величина эксплуатационного показателя																		
Величина разброса показателя																		
±0,008																		
±0,002																		
±0,320																		
±0,014																		
±0,039																		
±0,039																		

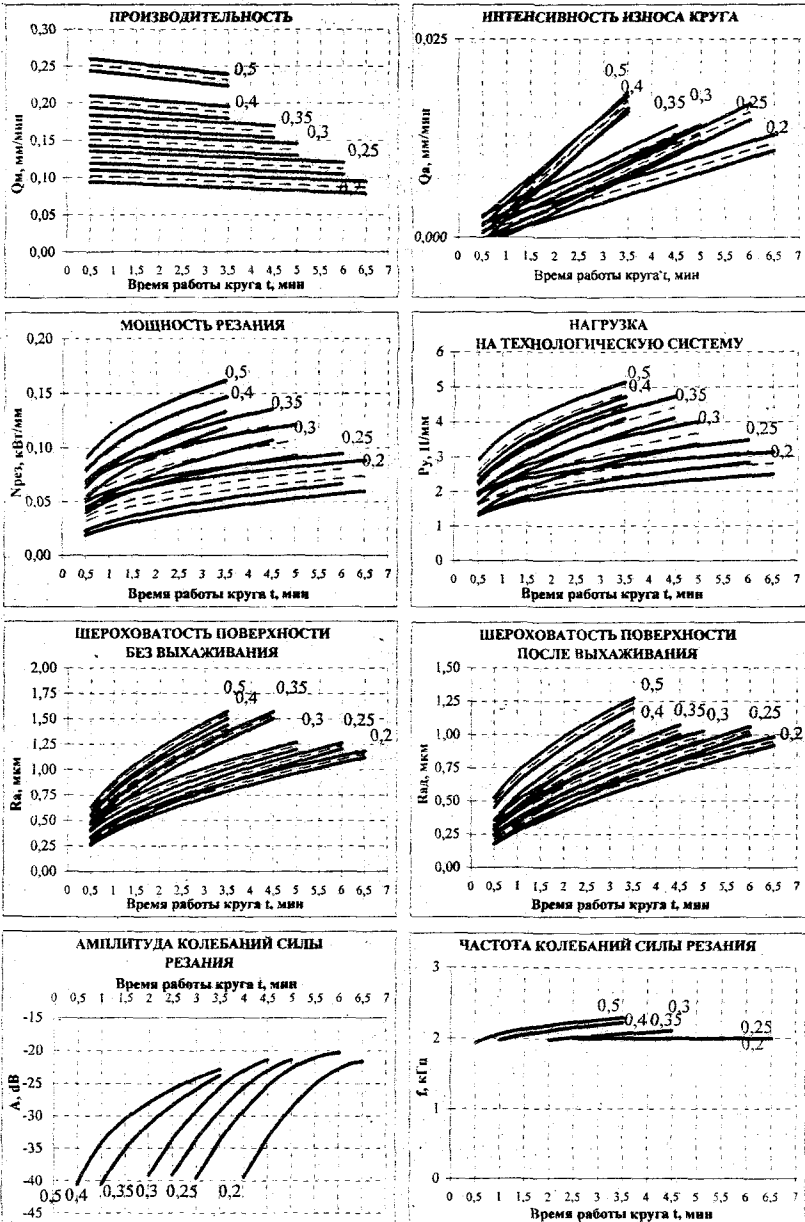


Рис. 5. Эталонный технологический эксплуатационный паспорт круга

Компьютерный вариант технологического паспорта шлифовального круга содержит величину разброса показателя в каждый момент времени работы круга.

Компьютерный вариант технологического эксплуатационного паспорта шлифовального круга организован в виде базы данных, содержащей четыре реляционные таблицы:

- кодификатор вводимых параметров запроса;
- конструктивные параметры шлифовального круга;
- эксплуатационная характеристика шлифовального круга;
- амплитудно-частотная характеристика шлифовального круга.

**Пятая глава** содержит методики решения задач технологического проектирования операции шлифования.

**1. Описание работоспособности шлифовального круга.** Паспорт содержит описание работоспособности шлифовального круга в разных технологических условиях, т.е. позволяет прогнозировать поведение инструмента в разных условиях его работы.

**2. Расчетное определение периода стойкости круга.** Учет нестационарности показателей шлифования во времени работы круга позволяет определить период стойкости круга в конкретных технологических условиях. С точки зрения эксплуатации шлифовального круга, период стойкости представляет собой время работы, в течение которого круг будет изготавливать детали, отвечающие всем требованиям чертежа. Как только любое из предъявленных к операции шлифования требований перестает выполняться — происходит отказ технологической системы — круг необходимо подвергнуть правке.

**3. Расчетное определение режимов резания для выполнения операции шлифования.** Задача выбора режима резания решается путем определения зоны допустимого варьирования подачи круга и выбора наиболее оптимального с точки зрения конкретных условий производства режима эксплуатации инструмента. В ряде случаев время работы круга между правками задано и является организационной величиной. Тогда задаваясь временем работы круга между правками, при помощи технологического эксплуатационного паспорта можно определить режим шлифования, при котором будут выполняться все требования чертежа детали, при обеспечении максимальной производительности.

**4. Эксплуатация круга определенной характеристики в разных технологических условиях.** Одной из наиболее актуальных задач, решаемых с помощью технологического эксплуатационного паспорта, является назначение режимов эксплуатации шлифовального круга характеристики,



отличной от рекомендуемой нормативами режимов шлифования. Решение этой задачи становится возможным благодаря наличию в паспорте широкого диапазона режимов эксплуатации круга и связанных с этим диапазоном величин эксплуатационных показателей.

**5. Выбор характеристики шлифовального круга.** Технологический эксплуатационный паспорт шлифовального круга дает возможность выбрать характеристику, в наибольшей степени отвечающую условиям конкретной операции шлифования.

**6. Сравнение кругов разных производителей.** Наличие технологического паспорта круга для каждой реализуемой партии инструмента позволяет потребителю без проведения сравнительных испытаний производить выбор круга того или иного изготовителя на основе расчетно-обоснованных данных, содержащихся в паспорте шлифовального круга.

**7. Возможность сертификации качества шлифовальных кругов.** Описание работоспособности шлифовального круга при помощи комплекса показателей, каждый из которых характеризуется двумя составляющими — трендом (величина показателя) и коридором разброса, позволяет ввести в действующее обозначение характеристики круга его категорию, характеризующую степень изменчивости показателей работоспособности инструмента за времени шлифования. Величина разброса на каждый показатель круга позволяет оценить инструмент с точки зрения стабильности выходных показателей обработки в виде номера сортности круга, отражающего уровень стабильности эксплуатационных показателей обработки.

Результаты работы внедрены на ОАО «ЧАЗ», ООО НПП «ЧИЗ», ООО ТД «Дедал-инструмент» и на «Заводе мощных тракторов».

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

1. Сформирован новый комплекс эксплуатационных показателей шлифовального круга, впервые учитывающий нестационарность, стохастичность и колебательный характер силы шлифования. Показано, что комплекс является объективным и достаточным для описания работоспособности инструмента в разных технологических условиях и позволяет решить ряд технологических задач, связанных с повышением эффективности использования ресурса работоспособности шлифовального круга. Проведенные лабораторные и промышленные испытания показали достаточность предложенного комплекса показателей для создания эксплуатационной характеристики шлифовального круга.

1.1. Установлено, что за время работы шлифовального круга между правками изменение его эксплуатационных показателей является существ-

венным. В частности сила резания изменяется до 400 %, шероховатость поверхности — до 400 %, интенсивность съема металла — до 20 %.

1.2. Предложено учитывать стохастический характер процесса шлифования доверительным коридором (разбросом величины показателя). Величина интервала характеризует качество изготовления круга — стабильность его эксплуатационных показателей. Так, например, показатель  $Q_m$  — интенсивность съема металла — для кругов из электрокорунда белого имеет разброс  $\pm 0,007$ , а для кругов из нормального электрокорунда —  $\pm 0,002$ ; шероховатость поверхности, шлифованной кругами из белого электрокорунда находится в пределах  $\pm 0,042$  мкм относительно тренда, а кругами из хромтитанистого электрокорунда —  $\pm 0,084$  мкм, что говорит о большей стабильности кругов из белого электрокорунда по показателям производительности и шероховатости поверхности.

1.3. Учет динамической характеристики шлифовального круга в виде временной амплитудно-частотной характеристики колебательного характера силы шлифования позволяет оценить возмущающее воздействие шлифовального круга на технологическую систему, которое приводит к появлению вибраций при обработке и возникновению таких дефектов, как огранка, волнистость, ребристость, прижоги и др.

2. Разработанные методики испытания шлифовальных кругов являются достаточными для создания испытательного стенда, позволяющего получать эксплуатационную характеристику шлифовального круга. Испытания кругов на разработанном стенде в соответствии с созданными методиками испытаний показали, что затраты на получение эксплуатационной характеристики шлифовального круга незначительны.

Практическим результатом работы является:

- стандарт предприятия СТП 774-04-2004 «Круги шлифовальные. Эксплуатационные показатели»;
- руководящий технический материал «Круги шлифовальные. Методика разработки технологического эксплуатационного паспорта»;
- руководящий технический материал «Круги шлифовальные. Методика работы с технологическим эксплуатационным паспортом»;
- методики решения основных задач технологического проектирования операции шлифования (выбор характеристики инструмента, назначение режимов шлифования), позволяющие наиболее эффективно использовать ресурс шлифовального круга в технологических условиях, отличных от нормативных. В этом случае потеря производительности процесса, вызванная эксплуатацией инструмента «ненормативной» характеристики, составляет до 33 %, однако отпадает необходимость замены круга. Технологиче-

ский эксплуатационный паспорта круга существенно расширяет диапазон применимости инструмента конкретной характеристики в разных технологических условиях. Результаты работы могут быть использованы для решения задачи сертификации качества изготовления шлифовальных кругов, осуществляемой на основе двухпараметрической оценки: уровень эксплуатационных показателей — **категория круга**, величина доверительного коридора — **сортность круга**.

### СПИСОК ПЕЧАТНЫХ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Корчак С.Н., Ардашев Д.В. Структура паспорта эксплуатационных показателей шлифовальных кругов разных характеристик // Абразивный инструмент и металлообработка: Сб. научн. трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. — С.6–12.

2. Буторин Г.И., Ардашев Д.В. Паспорт эксплуатационных показателей шлифовального круга // Инструмент и технологии. — 2002. — № 9,10 — С. 67–70.

3. Чаплыгин Б.А., Ардашев Д.В. Формирование комплекса показателей для построения эксплуатационных паспортов шлифовальных кругов // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. научн. трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003.— С. 69–74 .

4. Ардашев Д.В. Проектирование шлифовальных операций на базе эксплуатационного паспорта шлифовального круга. // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сб. статей международной научно-технической конференции. — Волжский: ВолГАСА, 2003.— С. 14–16 .

5. Исаков В.М., Ардашев Д.В. Методика проектирования шлифовальных операций при помощи эксплуатационных паспортов шлифовальных кругов // Теория, технология и оборудование для производства абразивного инструмента: Сб. научн. трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — С.160–165.

6. Ардашев Д.В., Осинцев А.А. Автоматизированное проектирование операций круглого врезного шлифования кругами из белого электрокорунда // Теория, технология и оборудование для производства абразивного инструмента: Сб. научн. трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — С. 166–173.

7. Ардашев Д.В. Информационная база для проектирования шлифовальных операций с учетом эксплуатационных возможностей шлифовальных кругов // Технологии и машины обработки давлением: Труды XXXIII Уральского семинара. — Екатеринбург, 2003. — С. 172–176.

8. Кошин А.А., Ардашев Д.В., Дьяконов А.А. Влияние взаимодействия абразивных зерен и обрабатываемого материала на показатели процесса шлифования // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сб. статей международной научно-технической конференции. — Волжский: ВолГАСА, 2004. — С. 169–173.

9. Кошин А.А., Ардашев Д.В. Влияние времени шлифования на эксплуатационные показатели шлифовального круга // Абразивное производство: Сб. научн. трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. — С. 56–61.

10. Кошин А.А., Ардашев Д.В. Исследование процесса шлифования акустическим методом // Абразивное производство: Сб. научн. трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. — С. 105–110.

11. Кошин А.А., Ардашев Д.В., Дьяконов А.А. Пульсирующий характер сил резания при шлифовании // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. научн. трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. — С.196–203.

