

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА С ЗАГОТОВКОЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

*Д.В. Ардашев*

В статье приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния абразивного зерна методом конечных элементов. Определено влияние геометрических характеристик зерна (размер, площадка затупления) и температуры в зоне шлифования на величину распределения эквивалентных напряжений в теле зерна. Результаты расчета могут использоваться для прогнозирования процесса износа абразивных зерен.

Ключевые слова: шлифование; износ; напряженно-деформированное состояние; метод конечных элементов.

Процесс механического износа абразивного зерна в процессах шлифования играет преобладающую роль наряду с другими механизмами износа. Прогнозирование величины износа абразивного инструмента является в настоящее время одной из задач, решение которой позволит максимально эффективно технологии абразивной обработки [1, 2]. При шлифовании абразивное зерно вступает во много цикловое взаимодействие с обрабатываемым материалом, при этом в зерне возникает напряженно-деформированное состояние. Для прогнозирования величины износа зерна необходимо знать величину и распределение напряжений и деформаций, возникающих в нем.

Для определения величины напряжений и деформаций в абразивном материале, соответствующей различным условиям шлифования была создана, конечно-элементная модель процесса резания и проведена серия численных экспериментов в пакете конечно элементного анализа ANSYS. В качестве абразивного материала рассматривался электрокорунд белый, обрабатываемый материал – сталь 45, при этом учитывалось действительное сопротивление материала шлифованию [3, 4]. Японскими учеными

в 1985 году был спроектирован и изготовлен специальный стенд, позволяющий напрямую измерять температуру абразивного зерна на поверхности шлифовального круга с помощью специального инфракрасного детектора с чувствительным элементом [5]. В соответствии с полученными ими данными, температура отдельных абразивных зерен колеблется в пределах 400–1200 °С, при этом ими подчеркивается, что зерно нагревается до температуры около 1400 °С и сохраняет тепло в течение сравнительно длительного времени. Для настоящего исследования температура абразивного зерна изменялась в пределах 200–1000 °С.

Определение напряженно-деформированного состояния зерна является трудной задачей, так в процессе резания зерно находится в сложном напряженном состоянии. Точный расчет такого состояния возможен только с использованием численных методов, в частности метода конечных элементов (МКЭ). При этом возможны два варианта. Первый заключается в создании конечно элементной модели абразивного зерна с последующим приложением нагрузок и граничных условий, эквивалентных силе резания, действующей на зерно [6, 7]. Недостаток такого подхода заключается в том, что при этом невозможно учесть контактные явления (трение, износ, нагрев зерна и т.д.). Кроме того, сложно найти экспериментальные данные о силе резания, действующей на одно зерно, для различных обрабатываемых и абразивных материалов. Второй подход заключается в том, чтобы численно смоделировать сам процесс резания с учетом некоторых контактных явлений, возникающих при этом. В этом случае нет необходимости собирать экспериментальные данные о силе резания, действующей на зерно, так как решается контактная задача с отделением стружки. В данной работе был использован второй подход.

Для реализации этого метода авторами была создана конечно элементная модель абразивного зерна в виде усеченного конуса (с площадкой износа) и фрагмента заготовки (рис. 1). Свойства материала заготовки и зерна приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства материалов заготовки и зерна

Свойство	Зерно	Обрабатываемый материал
Модуль упругости, МПа	$6 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона	0,3	0,3
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	8000	7800
Предел текучести, МПа	–	200

Материал зерна рассматривался как абсолютно упругий. Материал заготовки – упругопластический, с учетом кинематического упрочнения. Кривая упрочнения задавалась по степенной зависимости, соответствующей конструкционной стали 45. Кулоновский коэффициент трения принимался равным 0,3. Конечноэлементная модель заготовки в виде параллелепипеда имела длину 1 мм, ширину 0,2 мм и толщину 0,11 мм. Толщина срезаемого слоя – 0,01 мм. Зерно было представлено в виде усеченного конуса высотой 0,2 мм, диаметром большего основания 0,25 мм, диаметр меньшего основания менялся в зависимости от износа зерна. Скорость резания равнялась 80 м/с. Критерий стружкоотделения задавался в виде предельной деформации 2 %. Моделирование проводилось с помощью явного динамического анализа. Время расчета в зависимости от износа зерна составляло от 30 мин. до 2 часов. В целях снижения времени расчета рассматривалась симметричная модель зерна и заготовки с применением соответствующих граничных условий.

В результате расчета удалось определить величину и распределение всех компонентов тензоров напряжений и деформаций в зерне и заготовке, а также силы контактные взаимодействия между зерном и заготовкой.

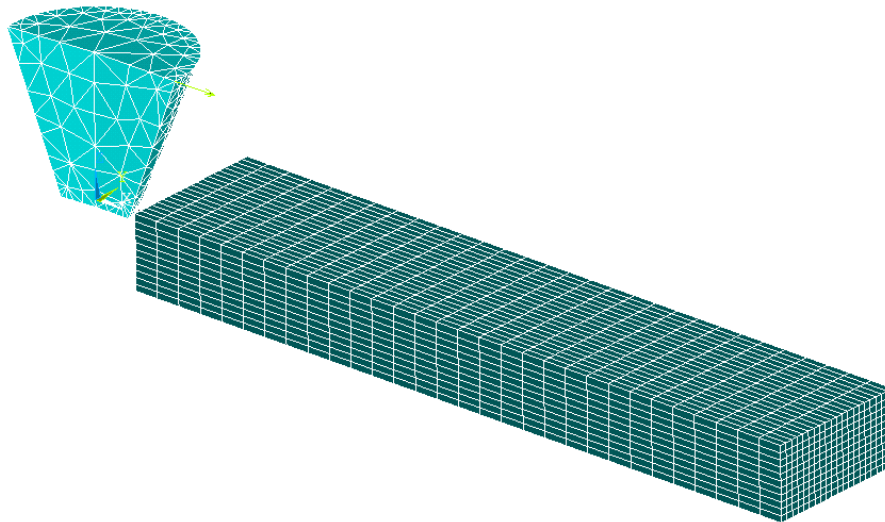


Рис. 1. Конечно элементная модель абразивного зерна (корунд) и фрагмента заготовки (сталь 45)

Результаты этого моделирования приведены на рис. 2–6 и в табл. 2.

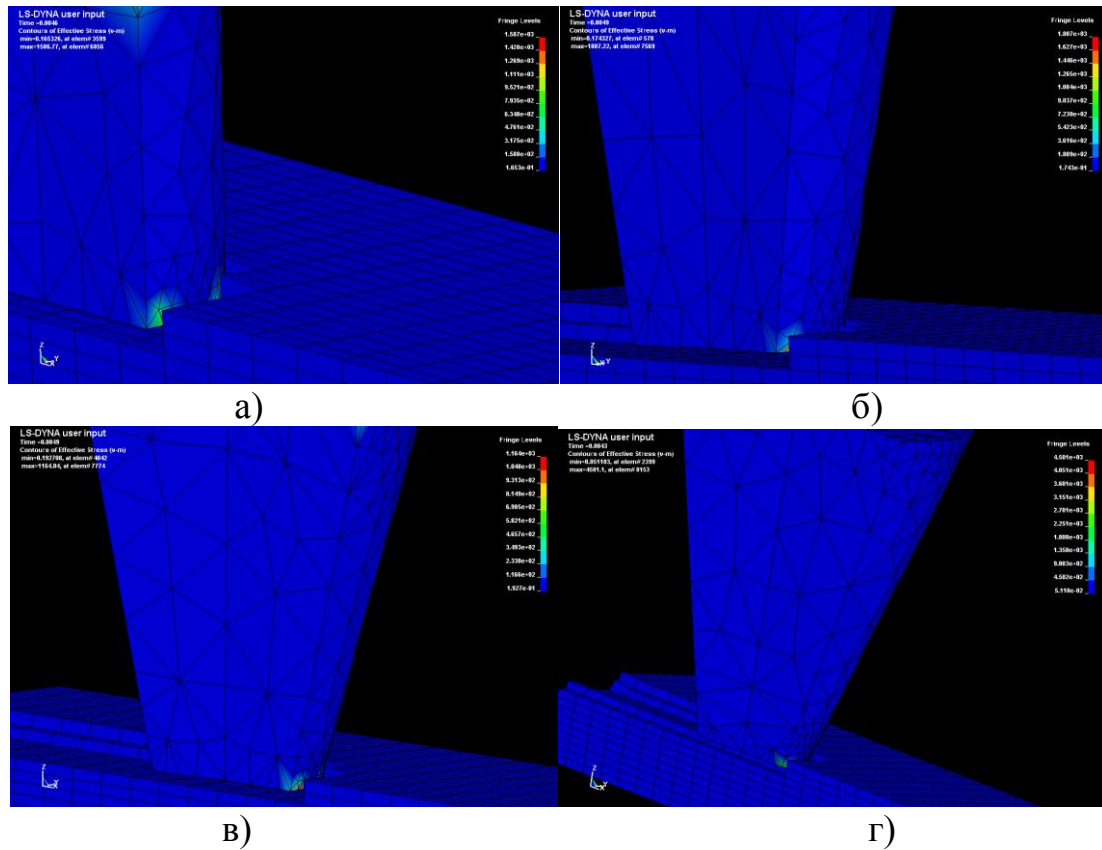


Рис. 2. Результаты моделирования контактного взаимодействия обрабатываемого и абразивного материала различной зернистости при температуре 200 °С (распределение эквивалентных напряжений): а) F90; б) F60; в) F54; г) F46

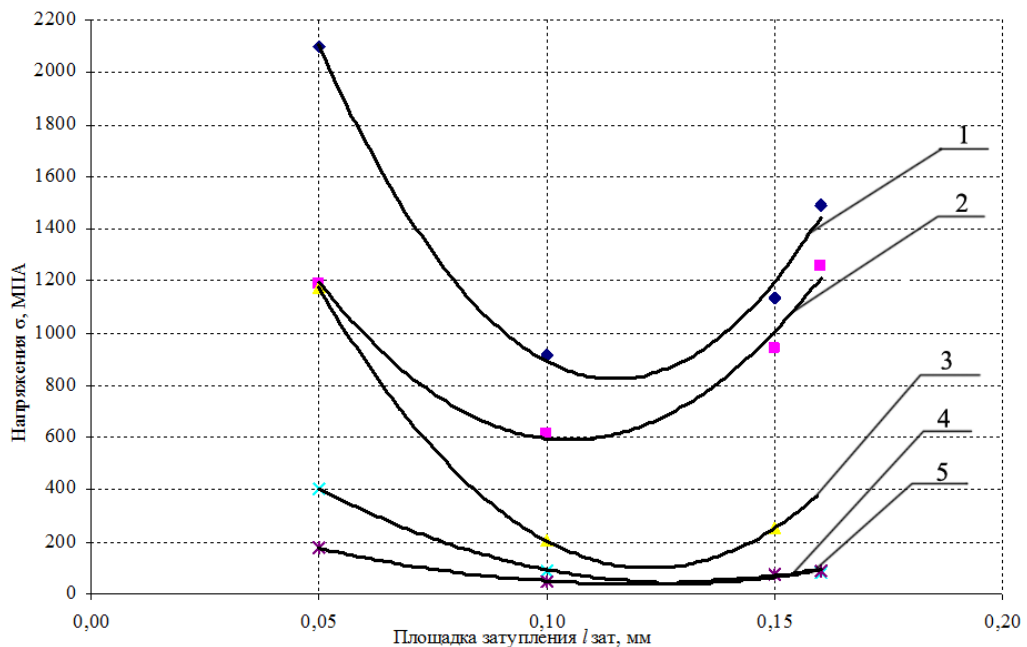


Рис. 3. Зависимость эквивалентных напряжений в абразивном зерне F90 от величины площадки затупления, при различных температурах: 1 – 200 °С; 2 – 400 °С; 3 – 600 °С; 4 – 800 °С; 5 – 1000 °С

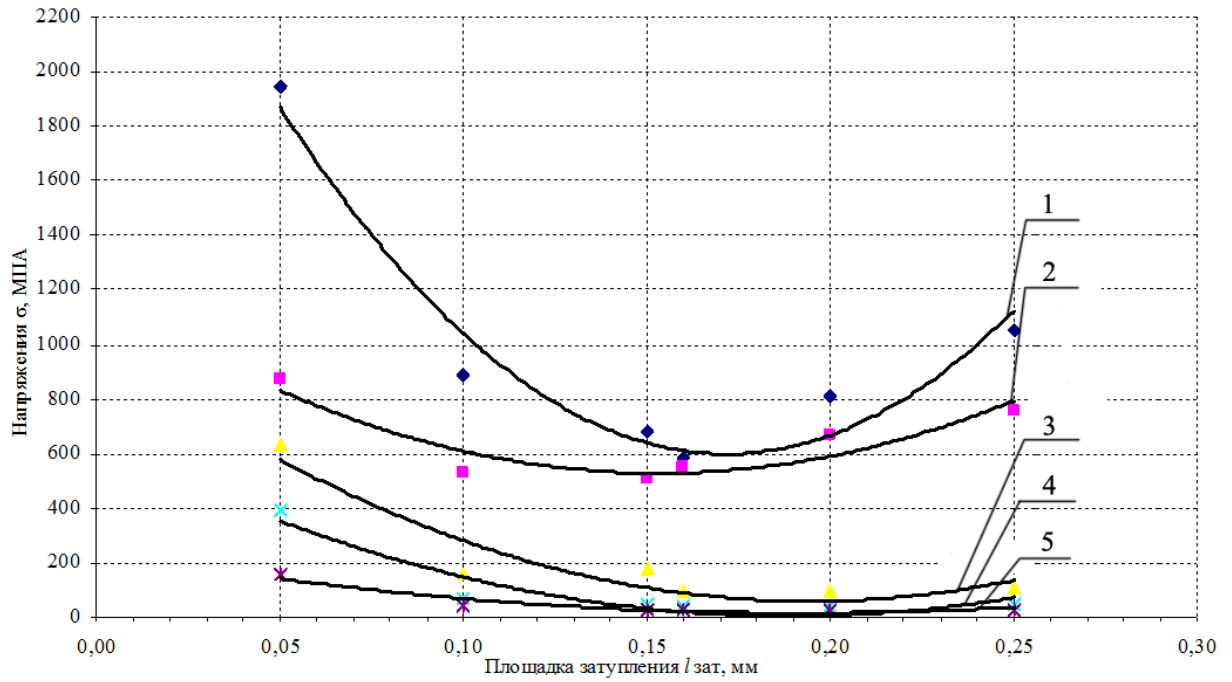


Рис. 4. Зависимость эквивалентных напряжений в абразивном зерне F60 от величины площадки затупления, при различных температурах: 1 – 200 °C; 2 – 400 °C; 3 – 600 °C; 4 – 800 °C; 5 – 1000 °C

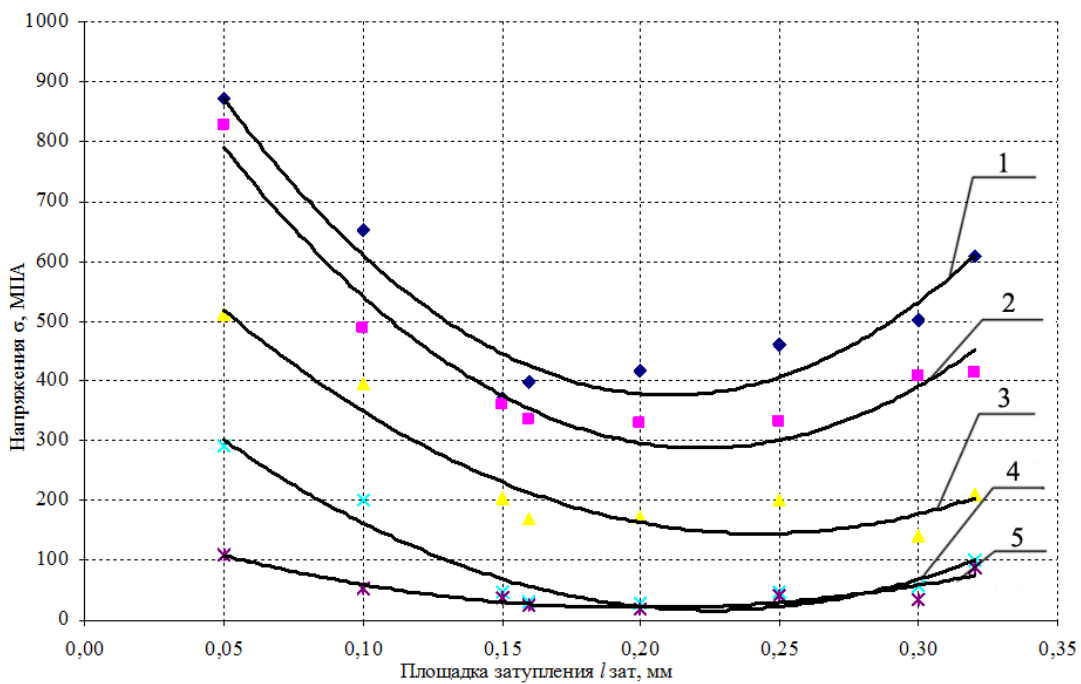


Рис. 5. Зависимость эквивалентных напряжений в абразивном зерне F54 от величины площадки затупления, при различных температурах: 1 – 200 °C; 2 – 400 °C; 3 – 600 °C; 4 – 800 °C; 5 – 1000 °C

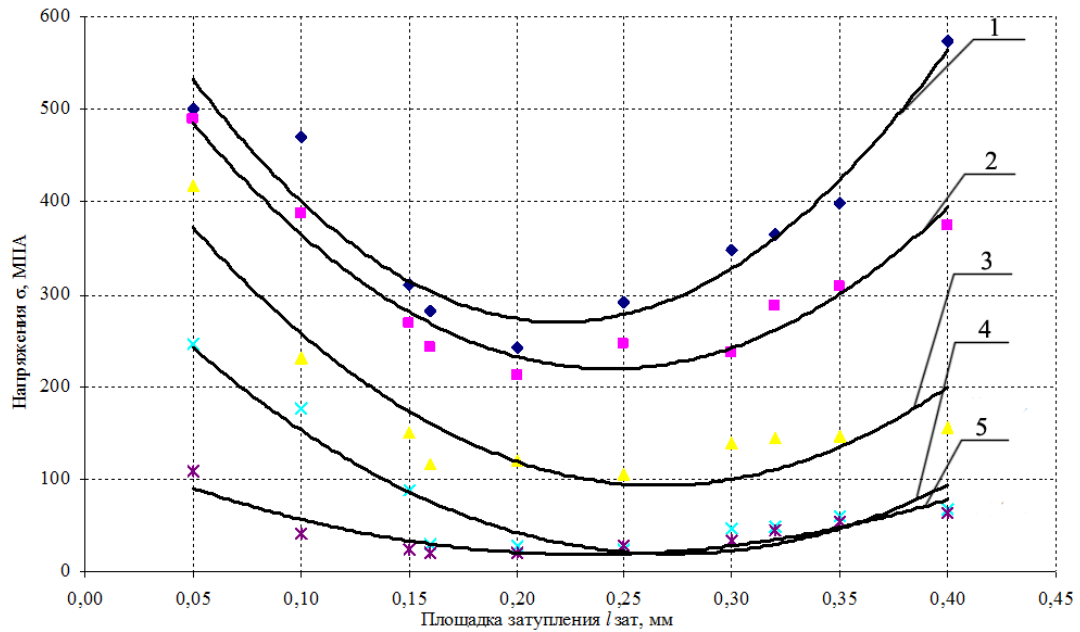


Рис. 6. Зависимость эквивалентных напряжений в абразивном зерне F46 от величины площадки затупления, при различных температурах: 1 – 200 °C; 2 – 400 °C; 3 – 600 °C; 4 – 800 °C; 5 – 1000 °C

Таблица 2

Величина эквивалентного напряжения в абразивном зерне в различных технологических условиях

Температура, °C	Зернистость	Площадка затупления $l_{зат}$ , мм							
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
200	F90	2097	913	1131	–	–	–	–	–
	F60	1944	887	677	809	1053	–	–	–
	F54	870	653	369	416	460	500	–	–
	F46	500	470	309	241	291	348	398	573
400	F90	1191	616	943	–	–	–	–	–
	F60	871	532	507	669	752	–	–	–
	F54	828	489	361	327	332	408	–	–
	F46	488	387	268	211	246	236	308	374
600	F90	1172	203	252	–	–	–	–	–
	F60	631	154	175	92	93	107	–	–
	F54	509	395	203	168	172	201	142	–
	F46	417	231	150	119	104	138	147	155
800	F90	404	89,3	76	–	–	–	–	–
	F60	388	67	47	42	38	49	–	–
	F54	290	201	45	32	28	46	57	–
	F46	246	177	88	27	23	46	59	67
1000	F90	177	49,7	72	–	–	–	–	–
	F60	155	39	30	30	30	28	–	–
	F54	110	52	36	24	20	39	35	–
	F46	109	41	24	19	29	34	55	63

Анализируя приведенные на рисунках 2–6 зависимости можно заключить, что между технологическими условиями (степень затупления зерна, температура в зоне контакта, зернистость абразивного зерна) и величиной эквивалентных напряжений, возникающих в теле зерна, имеется четкая зависимость. Так, в начальный период работы зерна на нем образуется и начинает постоянно увеличиваться площадка затупления. Это приводит к снижению напряжения в абразивном материале, что соответствует периоду приработки и образованию на абразивном зерне «наилучшей», с точки зрения долговечности абразивного зерна, величины площадки затупления, при которой напряжения в теле абразивного зерна минимальны. Дальнейший рост площадки затупления приводит к увеличению напряжения в абразивном зерне, возможно за счет существенного увеличения трения по площадке затупления, тем более, когда величина самой площадки сопоставима с размерами самого зерна. Это объясняется уменьшением количества связей в элементарном объеме зерна, воспринимаемых напряжения, а впоследствии, существенным увеличением напряжения, действующего на одну связь.

Влияние зернистости абразивного зерна (его геометрических размеров) на величину напряжения в зерне также однозначно: с увеличением номера зернистости, при одинаковых температурах и величинах площадки затупления зерна меньшего размера испытывают большие напряжения. Это объясняется опять же наличием в крупных зернах большего количества межзатупленных связей, воспринимающих внешнюю нагрузку.

Рост контактной температуры приводит к снижению напряжений в теле абразивного зерна: увеличение температуры в 2 или 3 раза приводит к снижению эквивалентных напряжений в 1,2 и 8 раз соответственно.

Представленная в настоящей статье модель механического взаимодействия абразивного и обрабатываемого материала является основой для создания многофакторной имитационной стохастической модели износа абразивных зерен в процессах шлифования, учитывающей различные механизмы износа [8, 9]. Переход к прогнозированию объемов изношенной части абразивного зерна возможен в частности на основе эмпирических данных, полученных, в том числе методами микрорезания [10].

#### Библиографический список

1. Ардашев, Д.В. Комплексное описание эксплуатационных возможностей шлифовальных кругов / Д.В. Ардашев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Машиностроение». – 2012. – № 33. – С. 113–116.
2. Ардашев, Д.В. Термомеханическая усталость абразивного зерна / Д.В. Ардашев // Металлообработка. – 2012. – № 4. – С. 2–4.

3. Дьяконов, А.А. Практическая реализация теории технологической обрабатываемости материалов в процессах абразивной обработки / А.А. Дьяконов, А.А. Кошин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2011. – № 6–3(290). – С. 18–25.
4. Дьяконов, А.А. Исследование обрабатываемости материалов – эффективный путь повышения производительности процесса шлифования / А.А. Дьяконов // *СТИН.* – 2012. – № 3. – С. 25–29.
5. Уэда, Т. Исследование температуры абразивных зерен при шлифовании с помощью инфракрасного радиационного пирометра / Т. Уэда, А. Хосокава, А. Ямамото // *Конструирование.* – 1985. – № 2. – С. 109–116.
6. Шмидт, И.В. Напряженное состояние полимерно-композитной слоистой системы при механической обработке резанием / И.В. Шмидт // *Научно-технические технологии в машиностроении.* – 2013. – № 7. – С. 27–31.
7. Шмидт, И.В. Модель напряженного состояния полимерно-композитной слоистой системы при механической обработке резанием / И.В. Шмидт // *Фундаментальные проблемы техники и технологии.* – 2010. – № 4. – С. 46–48.
8. Ардашев, Д.В. Химическое сродство абразивного и обрабатываемого материалов / Д.В. Ардашев // *Металлообработка.* – 2011. – № 6. – С. 29–32.
9. Ардашев, Д.В. Режимно-инструментальное оснащение проектирования групповой технологии операций шлифования / Д.В. Ардашев // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2011. – № 4/2(288) – С. 14–19.
10. 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.

[К содержанию](#)