

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 621.98.042

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-57-67

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЗАЧИСТКИ ЛЕПЕСТКОВЫМ КРУГОМ

Пашков Александр Андреевич, Самойленко Олег Викторович,
Дук Андрей Александрович, Фалеев Сергей Юрьевич, Алейников Дмитрий Павлович

Иркутский национальный исследовательский технический университет

* для корреспонденции: pashk0ff@mail.ru

Аннотация.

Возможность повышения эксплуатационных характеристик изделий и деталей, используемых в машиностроении, является значимой задачей, выполнение которой позволяет добиться снижения трудоемкости, экономии материала и экономической выгоды. Возможности современного формообразующего оборудования позволяют достигать максимально приближенной формы и размеров получаемых деталей к форме и размерам цифровых двойников. В настоящее время технология абразивной обработки лепестковыми кругами широко и эффективно используется для последующей обработки после дробеударного формообразования крупногабаритных мало жестких деталей типа панель крыла самолета и обшивок, где при помощи абразивных лепестковых кругов на специализированных установках осуществляется удаление отпечатков или уменьшение глубины пластических отпечатков после дробеобработки. Качество поверхностного слоя при зачистке лепестковым кругом, в том числе шероховатость и остаточные напряжения, определяет не только форму детали после дробеударного формообразования, но и усталостную прочность. Данные факторы зависят от множества факторов, таких как режимы обработки, свойства обрабатываемого материала и параметры инструмента. Прогноз и определение значений этих показателей является трудоемким и экономически затратным процессом. В связи с этим возникает необходимость моделирования данных процессов при помощи математических моделей. Однако до настоящего времени большинство исследователей в этой области моделирует процесс зачистки лепестковым кругом методом конечных элементов с простой моделью абразива и с многочисленными допущениями по взаимодействию абразивов с поверхностью детали, что не дает достоверных результатов. Целью данной работы является определение входных параметров для моделирования технологического процесса зачистки лепестковым кругом путем проведения лабораторного исследования абразива и его распределения в лепестковых кругах, применяемых на производстве панелей и обшивок, а также моделирование процесса единичного внедрения абразива методом конечных элементов программой инженерного анализа. По результатам лабораторных исследований была определена форма абразива и его распределение на поверхности лепестков, применяемых в условиях реального производства, что позволило перенести полученный рельеф в программу инженерного анализа. На основании результатов лабораторного исследования выполнено моделирование методом конечных элементов процесса единичного внедрения абразива в материал для определения остаточных напряжений в поверхностном слое детали



Информация о статье

Поступила:

02 сентября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 апреля 2025 г.

Принята к публикации:

30 апреля 2025 г.

Опубликована:

11 июня 2025 г.

Ключевые слова:

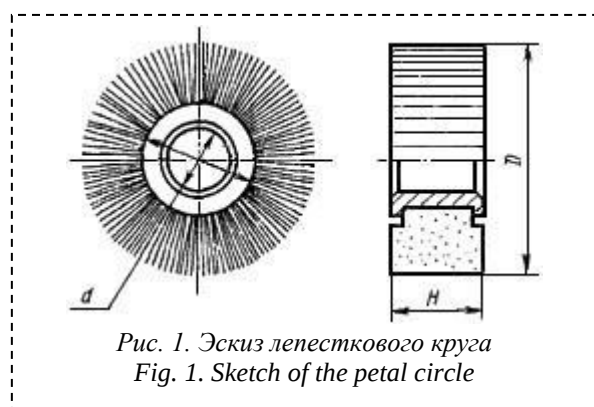
панель, обшивка,
формообразование, зачистка,
внутренние силовые факторы,
моделирование, поверхностное
пластическое
деформирование.

Для цитирования: Пашков А.А., Самойленко О.В., Дук А.А., Фалеев С.Ю., Алейников Д.П. Определение входных параметров моделирования технологического процесса зачистки лепестковым кругом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 2 (168). С. 57-67. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-57-67, EDN: OIWHCM

Благодарности: Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Введение

Крупногабаритные ободообразующие детали типа «панелей» и «обшивок» преимущественно представляют собой листовую деталь небольшой толщины с аэродинамической или гидродинамической наружной поверхностью с набором внутренних элементов в виде ребер жесткости или карманов. Заготовками для панелей и обшивок являются плиты из термически упрочняемых алюминиевых сплавов,



таких как В95пч, В95, Д16Т и аналоги этих сплавов [1-3].

Сложность изготовления типовых деталей заключается в специфике геометрической формы и габаритах. Наиболее технологичным и эффективным способом получения таких поверхностей небольшой кривизны является дробеударное формообразование ободообразующей поверхности, где за счет внедрения дробинок в поверхность листовой детали происходит удлинение поверхностного слоя с возникновением двухосного изгиба [3-6].

В результате дробеударной обработки на поверхности остаются отпечатки от воздействия дробинок, что при покрытии дробью от 10% до 40% изменяет параметры шероховатости обрабатываемых деталей [7-10]. К качеству поверхности данных деталей предъявляются высокие требования поэтому, возникает необходимость в дополнительном этапе зачистки следов от дробинок и придания поверхностям шероховатости, установленной технологическими требованиями согласно конструкторской документации. Использование абразивных лепестковых кругов с различной зернистостью для зачистки деталей является

наиболее эффективным и экономически целесообразным методом [11-14].

Лепестковые круги являются неотъемлемым инструментом для зачистных и полировальных работ во всех областях металлообрабатывающей промышленности. По конструкции лепестковые круги представляют собой ступицу с клеевым или механическим креплением множества абразивных лепестков. Лепестки представляют собой включения абразивных частиц определенного размера, размещенных клеевой основой на гибком материале из бумаги, различного вида тканей и т. п. Абразивными частицами, применяемыми на лепестковых кругах, выступают такие материалы, как синтетический алмаз, оксид алюминия (электрокорунд), карбид кремния (карборунд) и другие.

Схематичная конструкция лепестковых кругов представлена на Рис. 1.

Применение механизированных установок для зачистки и полировки существенно увеличивает производительность, а также точность обработки за счет жесткости системы инструмент-деталь.

Из отечественных разработок стоит отметить разработанную специалистами ИРНТУ и Иркутского авиационного завода установку контактного типа для дробеударного формообразования и зачистки УДФ-4, предусматривающую возможность использования в качестве сменного рабочего органа зачистную головку с абразивными лепестковыми кругами [15].

Наиболее удобным подходом к цифровизации производства является создание конечно-элементных моделей процесса зачистки, позволяющего достаточно подробно изучить процесс изготовления деталей [16]. Поэтому целью данной работы является проведение лабораторного исследования геометрии абразива и его распределения в лепестковых кругах, применяемых при производстве панелей и обшивок, а также моделирование единичного внедрения абразива в деталь для оценки применимости предложенного метода и анализа возникающих в процессе обработки напряжений. Это является первым шагом для полноценного моделирования технологического процесса зачистки деталей лепестковыми кругами.

Лабораторное исследование абразивных лепестков, применимых при изготовлении длинномерных и криволинейных панелей и обшивок самолета

Для исследования использовался абразивный лепестковый круг зернистостью P50, диаметром 180 мм и шириной 50 мм, применяемый на производственных предприятиях отрасли.

Фрагмент лепестка фиксировался на алюминиевой подложке для исключения кривизны, изначально имеющейся на абразивных лепестках. На образец с целью обозначения исследуемых секторов и ограничения зоны обработки приклеивался разметочный лист с окнами 5x5 мм. Исследуемый образец приведен на Рис. 2.

Исследование поверхности абразивного инструмента осуществлялось при помощи оптического профилометра BRUNKER Contour GT-KT.

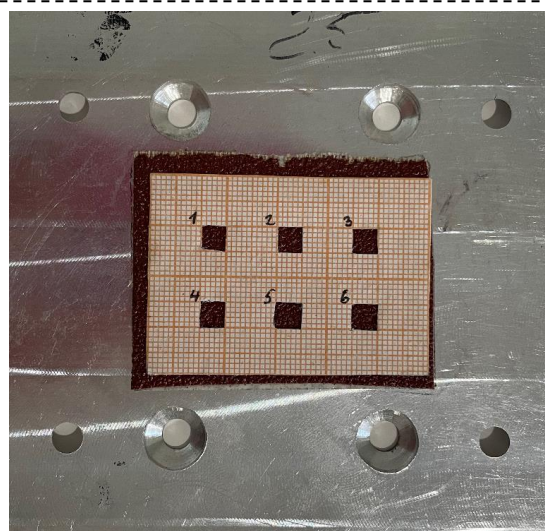


Рис. 2. Исследуемый образец
Fig. 2. The test sample

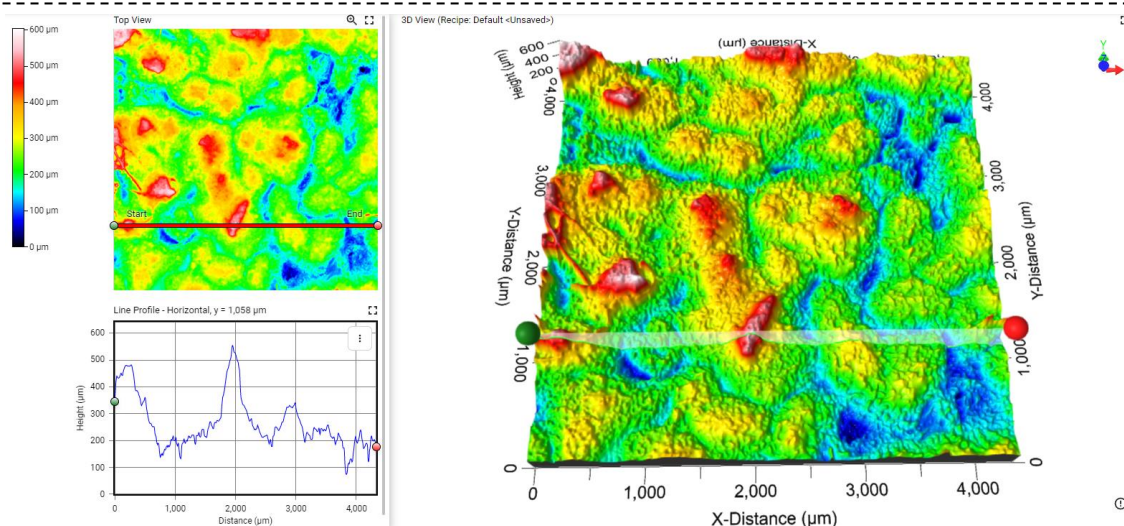


Рис. 3. Результаты сканирования сектора №1
Fig. 3. Results of scanning sector No. 1

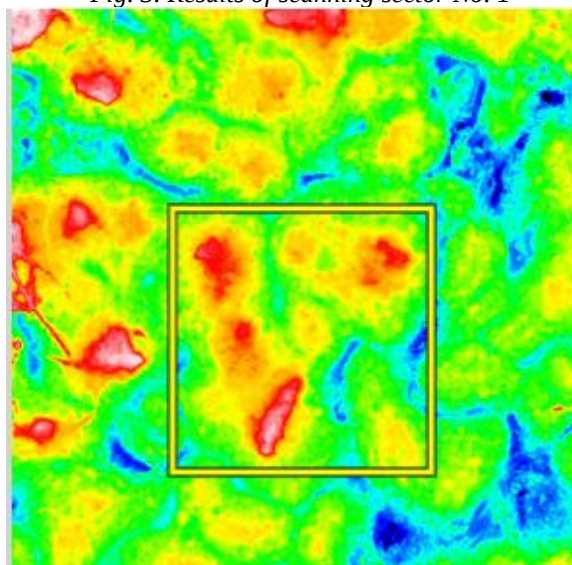


Рис. 4. Исследуемый участок поверхности лепестка абразивного круга
Fig. 4. The investigated area of the surface of the blade of the abrasive wheel

Профилометр BRUNKER Contour GT-КТ предназначен определения параметров шероховатости (R_a , R_z) с точностью в 0.01 нм, нижний и верхний предел сканирования исследуемого образца (ось Z) составляет -500...700 нм. Данное оборудование позволяет определить различные размерные характеристики абразива, а также построить 3D-рельеф сканируемого сектора.

В результате сканирования первого сектора, ограниченного квадратом 4.5x4.5 мм, поверхность сглаживалась. Как видно из Рис. 3, максимальная высота зерен достигала 600 нм. Местоположение зерен на исследуемом секторе обозначено красными пятнами.

Путем построения графика распределения высот по сечению определялась оптимальная высота обрезки лишних данных для моделирования рельефа исследуемой поверхности.

На Рис. 4 представлен исследуемый участок поверхности лепестка абразивного круга,

который включает группу зерен, имеющих высоту порядка 480-600 нм.

Основываясь на механизме износа абразива и лепестков, следует, что глубина резания для данной зернистости (P50) составляет 20...60 мкм. Таким образом, целесообразно исследовать вершины абразива, непосредственно участвующие в процессе резания. Для этого модель была обрезана по высоте на 350 нм. Помимо этого, с целью упрощения модели были удалены участки, имеющие включения со слишком мелкими зёрнами, а также клеевой основой.

В результате была получена 3D-модель рельефа абразивного зерна. Полученный рельеф возможно загружать в программу КЭ моделирования PrePost (LS-DYNA) (см. Рис. 5).

Основываясь на механизме износа абразива и лепестков, следует, что глубина резания для данной зернистости (P50) составляет 20...60 мкм. Таким образом, целесообразно исследовать вершины абразива, непосредственно



Рис. 5. Импортированный в PrePost (LS-DYNA) рельеф
Fig. 5. Relief imported to PrePost (LS-DYNA)

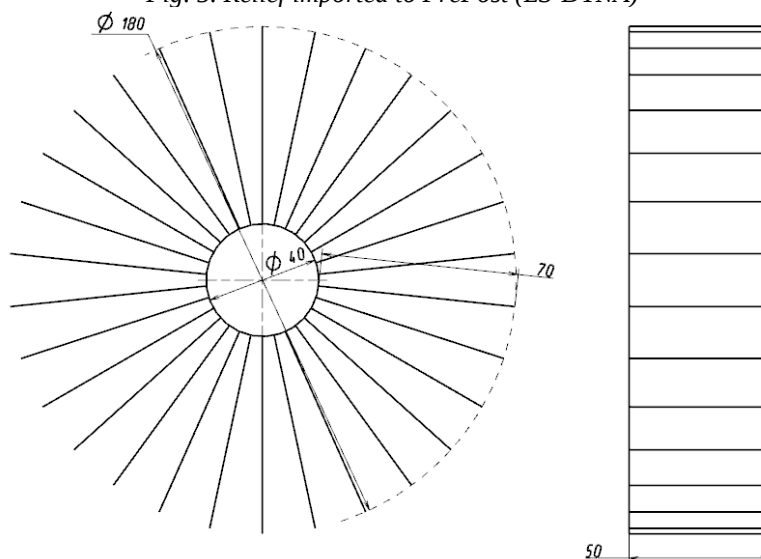


Рис. 6. Размеры лепесткового круга
Fig. 6. The dimensions of the petal circle

участвующие в процессе резания. Для этого модель была обрезана по высоте на 350 нм. Помимо этого, с целью упрощения модели были удалены участки, имеющие включения со слишком мелкими зёрнами, а также клеевой основой.

В результате была получена 3D-модель рельефа абразивного зерна. Полученный рельеф возможно загружать в программу КЭ моделирования PrePost (LS-DYNA) (см. Рис. 5).

Моделирование воздействия абразивного круга на деталь

С целью экономии вычислительных ресурсов моделирование процесса абразивной обработки лепестковым кругом можно разбить на несколько этапов.

На первом этапе выполнялось построение модели взаимодействия лепесткового круга с деталью с целью определения сил резания, возникающих при обработке, ограничившись кинематикой инструмента.

На втором этапе, используя силовые факторы, полученные на предыдущем этапе моделирования при условии подтверждении первой модели эмпирически, выполнялось моделирование внедрения зёрен абразива в материал детали в целях получения распределений напряженно-деформированного состояния детали.

Для моделирования взаимодействия лепесткового круга с деталью с целью определения возникающих сил резания использовалась модель лепесткового круга (см. Рис. 6) со следующими параметрами:

- количество лепестков ограничено 30 шт. с целью ускорения процесса моделирования;
- скорость вращения круга составляла 1500 об/мин. Линейная скорость на концах лепестков в таком случае составляет 847 м/мин;
- скорость подачи в сторону детали составляла 42 м/мин;
- в качестве конечно-элементной сетки использована оболочечная «Shell» структура;
- толщина оболочечных элементов – 0.5 мм.
- применяемая модель материала – упругопластическая (POWER_LAW_PLASTISITY).

Основные механические свойства, соответствуют свойствам бумаги. Оправка, к которой крепятся лепестки, а также деталь имеют абсолютно жесткую модель материала RIGIT.

- контактные взаимодействия настроены на систему «деталь – лепестки абразивного круга», а также «самоконтакт лепестковых кругов». Тип контакта – AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE.

- коэффициент трения принимался равным 0.2, при этом в процессе сложного движения лепестки свободно проскальзывают по детали. После

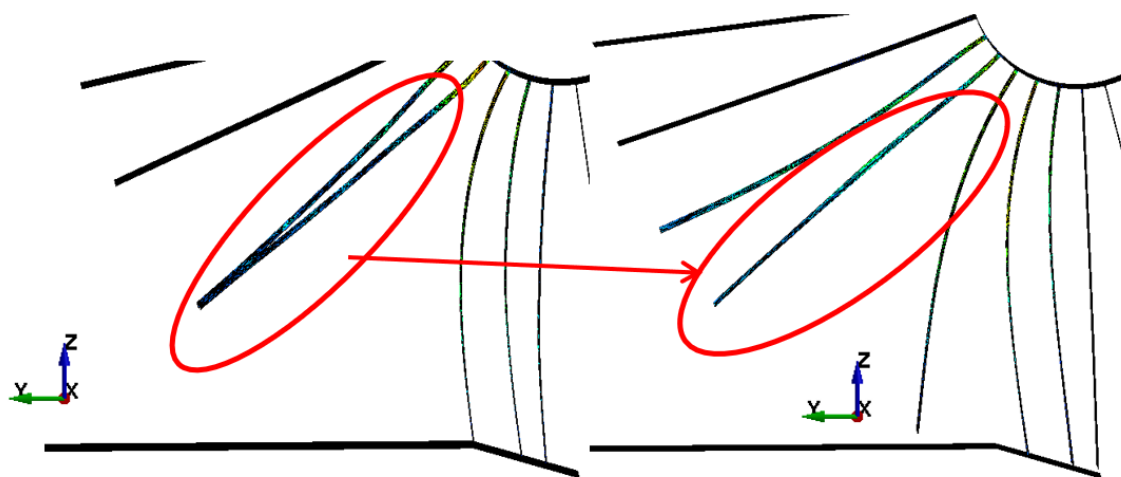


Рис. 7. Взаимодействие лепестков друг с другом

Fig. 7. The interaction of the petals with each other

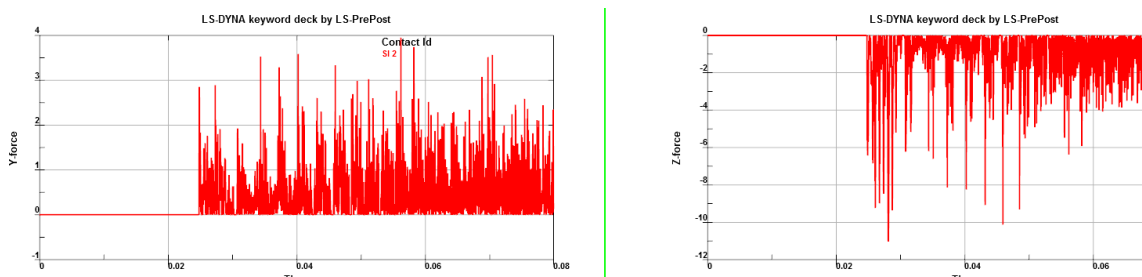


Рис. 8. График усилий при контакте в Y и Z направлении

Fig. 8. Graph of contact forces in the Y and Z directions

выхода лепестков из зоны контакта с деталью за счет упругих сил лепесток направляется по направлению вращения и ударяется в расположенный перед собой лепесток, толкая его (см. Рис. 8).

При взаимодействии пары контактов в построенной модели лепесток – деталь возникают силы до 4Н и в среднем 1Н в процессе анализа в Y направлении, и -2Н до -11.2Н в Z направлении (см. Рис. 8).

Моделирование единичного внедрения абразивного зерна в деталь

Получив исходные данные в виде величин сил резания и размерных параметров абразивного зерна, возможно осуществить моделирование единичного внедрения абразивного зерна в деталь. Параметры модели следующие:

- наибольшая ширина основания, взаимодействующая с деталью, 4мкм, глубина обработки, 2мкм, угол между сторонами 90° (см. Рис. 9).

- материал, используемый для модели зерна – абсолютно жесткое тело RIGID. Использование модели абсолютно жесткого материала для абразива – распространенная практика для построения моделей, где основной целью анализа является исследование обрабатываемого материала, а не инструмента.

- размеры детали имеет высоту 4.3мкм, ширину 9.4мкм, и длину 28мкм.

- применяемая сетка конечных элементов – гексаэдральная восьмиузловая, размерами 0.25×0.25×0.075мкм.

- деталь фиксировалась по основанию по 6 степеням свободы, что обеспечивает ограничение перемещения и вращения детали во время обработки.

- материал модели детали – «015-JOHNSON_COOK», так как процесс воздействия абразивного зерна с деталью сопровождается удалением материала и небольшим искажением формы детали. Учитывая особенности геометрии зерна, подавляющее большинство снимаемого материала удаляется в процессе моделирования вследствие превышений допустимых напряжений, без появления стружки, что говорит об отсутствии полной картины происходящего процесса. Во время выхода зерна из материала детали все же присутствует процесс стружкообразования без удаления элементов. Данное моделирование позволило сделать вывод о применимости метода Лагранжа для решения данной задачи.

Результаты расчета конечной элементной модели единичного внедрения абразива в материал детали, демонстрирующие процесс схода материала, приведены на Рис. 10.

Распределения напряжений в детали в процессе обработки показаны на Рис. 11.

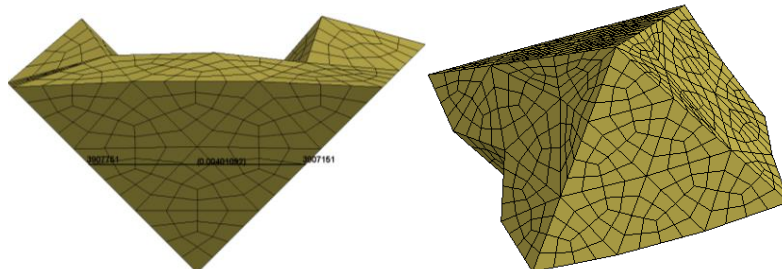


Рис. 9. Модель абразивного зерна
Fig. 9. The abrasive grain model

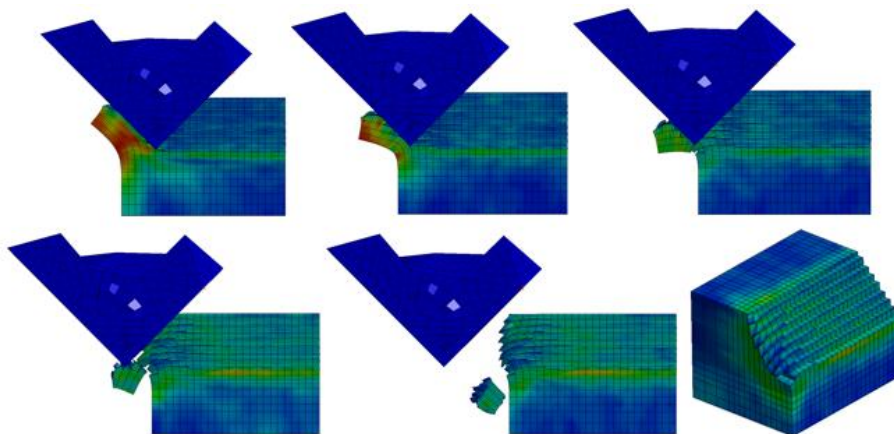


Рис. 10. Моделирование единичного внедрения абразива
Fig. 10. Modeling of a single abrasive injection

В процессе расчетов было выявлено распространение напряжений и деформаций вглубь материала детали, что говорит о вдавливании зерном абразива поверхностных слоев материала (см. Рис. 12).

Из графика, демонстрирующего уровень напряжений в элементе расчетной модели, можно увидеть лавинообразное увеличение уровня напряжений в процессе контакта абразивного зерна с элементом (см. Рис. 13) на поверхности

детали и скачок до нуля вследствие превышения предела прочности материала.

ВЫВОДЫ

В результате выполненных работ:

- 1) проведено лабораторное исследование геометрических параметров абразива в лепестках круга, применяемых в условиях реального производства, и построена его трехмерная модель;
- 2) построена конечно-элементная модель взаимодействия лепесткового круга с деталью с

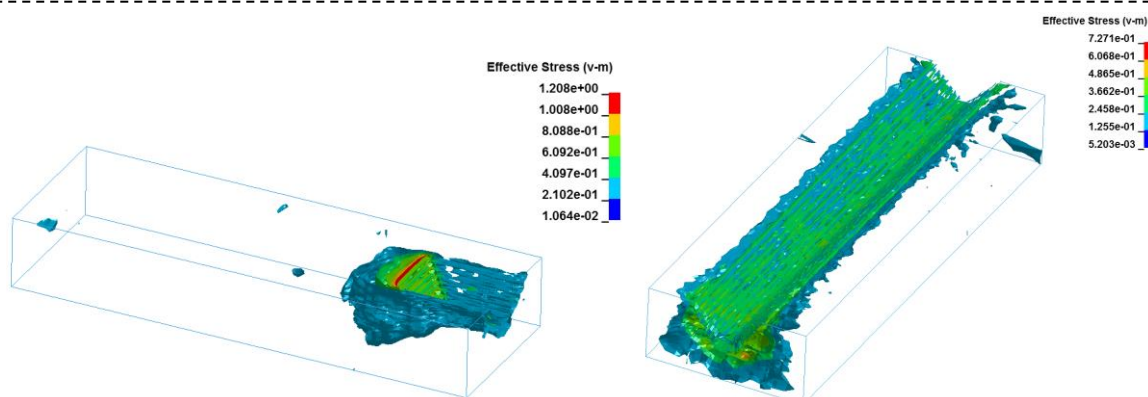


Рис. 11. Распределения напряжений по Мизесу
Fig. 11. Mises stress distributions

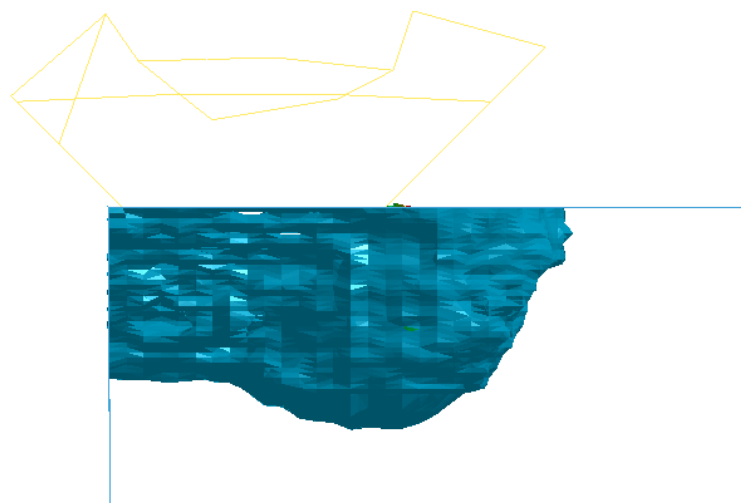


Рис. 12. Характер распространения напряжений и деформаций вглубь детали
Fig. 12. The nature of the propagation of stresses and deformations deep into the part

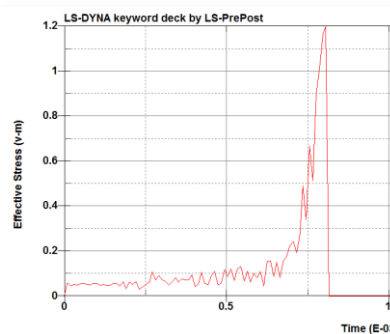
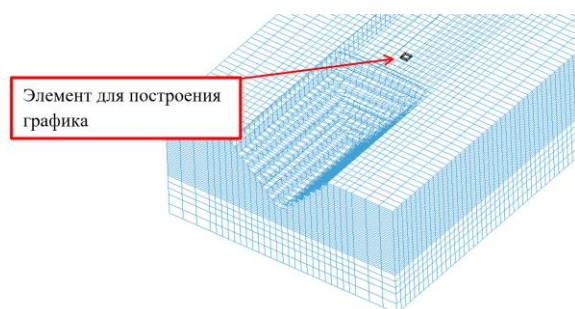


Рис. 13. Зависимость напряжений в элементе от времени расчета
Fig. 13. Dependence of the stresses in the element on the calculation time

целью определения сил резания, возникающих при обработке;

3) разработана конечно-элементная модель единичного внедрения зерен абразива в материал детали в целях получения распределений напряженно-деформированного состояния детали.

Данные исследования позволяют получить входные данные для полноценного моделирования процесса зачистки лепестковыми кругами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашков А. Е. Об особенностях применения отечественной и зарубежной технологии формообразования обшивок и панелей самолетов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 5. С. 17–22. EDN: TVQUBR.
2. Гребенников Д. С., Максименков В. И. Формообразование панелей крыла дальнемагистрального самолета // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. № 1. С. 116–121. DOI: 10.25987/VSTU.2019.15.1.018. EDN: YXBRRZ.
3. Makaruk A. A., Pashkov A. A., Samoylenko O. V. Increasing the shape accuracy of the hardened parts of the frame by technological methods // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering. 2019. Pp. 1–10. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012100.
4. Кавиив М. И., Трофимов В. Н. Дробеструйная обработка металла, применимая в военной технике // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. 2021. № 4(4). С. 177–182. EDN: ZWAOKH
5. Кравченко Г. Н. Обоснование эффективности восстановления усталостной долговечности поверхностно-упрочненных авиационных деталей повторным упрочнением дробью // Вестник машиностроения. 2019. № 12. С. 69–75.
6. Кравченко Г. Н., Кравченко К. Г. Выбор технологических параметров дробеударного упрочнения силовых деталей авиационных конструкций // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2018. № 12. С. 37–44. EDN: PJSWFF.
7. Baragetti S. Three-dimensional finite-element procedures for shot peening residual stress field prediction// International Journal of Computer Applications in Technology. 2001. Vol. 14. Iss. 1–3. Pp. 51–63. DOI: 10.1504/IJCAT.2001.000260.
8. Chiocca A., Frendo F., Bertini L. Residual stresses influence on the fatigue strength of structural components // Procedia Structural Integrity. 2022. V. 38. Pp. 447–456. DOI: 10.1016/j.prostr.2022.03.045
9. Пашков А. Е., Пашков А. А., Фалеев С. Ю., Самойленко О. В. Разработка методики анализа геометрических параметров длинномерных панелей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. № 2. С. 102–113. DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-2-102-113. EDN DNULNZ.
10. Пашков А. Е., Ле Чи В., Нгуен Тхэ Х., Блудов В.В., Тюньков В.В., Экспериментальное определение зависимости степени покрытия при дробеударном формообразовании от режимов обработки // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 6(149). С. 1052–1060. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-6-1052-1060.
11. Димов Ю. В. Обработка деталей эластичным инструментом : справочник. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. 484 с
12. Унянин А. Н., Хазов А. В. Исследование кинематики взаимодействия шлифовального круга с заготовкой при наложении ультразвуковых колебаний // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2018. № 2 (44). С. 47–52. DOI: 10.18323/2073-5073-2018-2-47-52.
13. Starodubtseva D. A., Koltsov V. P., Vinh Le Tri. Grinding of aluminum alloy panels after shot peen forming on contact type installations // Materials Science and Engineering: IOP Conference Series. 2019. Pp. 1–6. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012109.
14. Koltsov V. P., Vinh Le Tri, Starodubtseva D. A. Determination of the allowance for grinding with flap wheels after shot peen forming // Materials Science and Engineering: IOP Conference Series. 2019. Pp. 1–5. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012096.
15. Пашков А. Е., Чапышев А. П., Пашков А. А., Викулова С. В., Андрияшина Ю. С. К определению внутренних силовых факторов процесса дробеударного формообразования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 12. С. 43–54. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-12-43-55.
16. Pashkov A. E., Malashchenko A. Y., Pashkov A. A. On Creating Digital Technologies for the Production of Large Aircraft Frame and Skin Parts // Russian Metallurgy (Metally). 2021. Vol. 2021. № 13. P. 1777–1785. DOI: 10.1134/S003602952113022X. EDN MNOLHC.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Пашков Александр Андреевич, Кандидат технических наук, Доцент кафедры технологии и

оборудования машиностроительных производств, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: pashk0ff@mail.ru

Самойленко Олег Викторович, Кандидат технических наук, Доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: olegsamoylenko1@gmail.com

Дук Андрей Александрович, Аспирант, Кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: andrejduk0495@gmail.com

Фалеев Сергей Юрьевич, Аспирант, Кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: s.faleeff@gmail.com

Алейников Дмитрий Павлович, Кандидат технических наук, Доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: aleynikov@ex.istu.edu

Заявленный вклад авторов:

Пашков Александр Андреевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы, написание текста, сбор и анализ данных, написание текста, выводы

Самойленко Олег Викторович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы, написание текста, сбор и анализ данных, написание текста, выводы

Дук Андрей Александрович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы, написание текста, сбор и анализ данных, написание текста, выводы

Фалеев Сергей Юрьевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы, написание текста, сбор и анализ данных, написание текста, выводы.

Алейников Дмитрий Павлович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы, написание текста, сбор и анализ данных, написание текста, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DEFINITION OF INPUT PARAMETERS FOR MODELING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FLAP ABRASIVE WHEEL GRINDING

Aleksandr A. Pashkov, Oleg V. Samoylenko,
Andrey A. Duk, Sergey U. Faleev, Dmitriy A. Aleynikov

Irkutsk National Research Technical University

* for correspondence: pashk0ff@mail.ru



Article info

Received:

02 September 2024

Accepted for publication:

22 April 2025

Abstract.

The ability of increasing the operational characteristics of products and components used in machine engineering is a significant task, the successful completion of which allows for a reduction in labor intensity, material savings, and economic benefits. The capabilities of modern shaping equipment enable achieving shapes and dimensions of manufactured parts that closely resemble those of digital twins. Currently, the technology of abrasive processing with flap discs is widely and effectively used for subsequent treatment after shot peening forming of large, low-rigidity components like aircraft wing panels and skins. Here, abrasive flap discs on specialized machines are employed to remove imprints or reduce the depth of plastic deformations after shot peening. The quality of the surface layer during flap disc cleaning, including roughness

Accepted:
30 April 2025

Published:
11 June 2025

Keywords: panel, wing skin, forming, grinding, internal force factors, modeling, surface plastic deformation.

and residual stresses, not only determines the shape of the part after shot peening but also its fatigue strength. These factors depend on numerous variables, such as processing modes, properties of the material being machined, and tool parameters. Predicting and determining the values of these indicators is a labor-intensive and economically costly process. Therefore, there is a need for modeling these processes using mathematical models. However, until now, most researchers in this field model the flap disc cleaning process using the finite element method with a simple abrasive model and numerous assumptions about the interaction of abrasives with the surface of the part, which does not yield reliable results. The aim of this work is to determine the input parameters for modeling the technological process of flap disc cleaning by conducting laboratory research on abrasives and their distribution in flap discs used in the production of panels and skins, as well as modeling the process of single abrasive penetration using finite element analysis software. Based on the results of laboratory studies, the shape of the abrasive and its distribution on the surfaces of the flaps used in real production conditions were determined, allowing for the transfer of the obtained relief into engineering analysis software. Based on the results of laboratory research, finite element modeling of the single abrasive penetration process into the material was performed to determine residual stresses in the surface layer of the part.

For citation: Pashkov A.A., Samoylenko O.V., Duk A.A., Faleev S.U., Aleynikov D.A. Definition of input parameters for modeling the technological process of flap abrasive wheel grinding. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 2(168):57-67. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-57-67, EDN: OIWHCM

Acknowledgements: The research has been carried out within the framework of the strategic academic leadership program "Priority 2030".

REFERENCES

1. Pashkov A.E. On application features of domestic and foreign technology of aircraft skin and panel forming. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2015;5:17–22. (In Russ.) EDN: TVQUBR.
2. Grebennikov D.S., Maksimenkov V.I. Shaping wing panels of a long-haul aircraft. *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2019;15(1):116–121. (In Russ.) DOI: 10.25987/VSTU.2019.15.1.018. EDN: YXBRRZ.
3. Makaruk A.A., Pashkov A.A., Samoylenko O.V. Increasing the shape accuracy of the hardened parts of the frame by technological methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering*. 2019. Pp. 1–10. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012100.
4. Kaviev M.I., Trofimov V.N. Shot blasting of metal premium in military equipment. *Almanac of the Perm Military Institute of the National Guard Troops*. 2021; 4(4):177–182. (in Russ.) EDN: ZWAOKH.
5. Kravchenko G.N., Kravchenko K.G. Justification of the effectiveness of restoring the fatigue life of surface hardened aircraft parts by repeated shot peening. *Bulletin of mechanical engineering*. 2019; 12:69–75 (in Russ.)
6. Kravchenko G.N., Kravchenko K.G. Selection of technological parameters of shot blasting hardening of power parts of aircraft structures. *All-Russian Scientific-Technical Journal "Polyot" ("Flight")*. 2018; 12:37–44. (In Russ.) EDN: PJSWFF.
7. Baragetti S. Three-dimensional finite-element procedures for shot peening residual stress field prediction. *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2001; 14(1–3):51–63. DOI: 10.1504/IJCAT.2001.000260.
8. Chiocca A., Frendo F., Bertini L. Residual stresses influence on the fatigue strength of structural components. *Procedia Structural Integrity*. 2022; 38:447–456. DOI: 10.1016/j.prostr.2022.03.045.
9. Pashkov A.E., Pashkov A.A., Faleev S.Yu., Samoylenko O.V. Development of a Methodology for Analyzing Geometric Parameters of Long Aircraft Panels. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2023; 21(2):102–113. (in Russ.) DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-2-102-113
10. Pashkov A.E., Le Tri Vinh, Nguyen T.H., Bludov V.V., Tyunkov V.V. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2019; 23(6(149)):1052–1060 (in Russ.); DOI 10.21285/1814-3520-2019-6-1052-1060.
11. Dimov Yu.V. Obrabotka detalej jelastichnym instrumentom. Irkutsk: Irkutsk State Technical University Publ.; 2013. (in Russ.)
12. Unyanin A.N., Khazov A.V. Study of the kinematics of the interaction of a grinding wheel with a workpiece when applying ultrasonic vibrations. *Vektor nauki Tol'yatinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018; 2:47–52. (in Russ.) DOI: 10.18323/2073-5073-2018-2-47-52.

Tri. Grinding of aluminum alloy panels after shot peen forming on contact type installations. *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. 2019. Pp. 1–6. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012109.

14. Koltsov V.P., Vinh Le Tri, Starodubtseva D.A. Determination of the allowance for grinding with flap wheels after shot peen forming. *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. 2019. Pp. 1–5. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012096.

15. Pashkov A.E., Chapyshev A.P., Pashkov A.A., Vikulova S.V., Andryashina Yu.S. To determination of

internal force factors of shot peening process. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2017; 21(12):43–55. (In Russ.) DOI: 10.21285/1814-3520-2017-12-43-55.

16. Pashkov A.E., Malashchenko A.Y., Pashkov A.A. On Creating Digital Technologies for the Production of Large Aircraft Frame and Skin Parts. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2021; 13:1777–1785. DOI: 10.1134/S003602952113022X. EDN MNOLHC.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Aleksandr A. Pashkov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Department of Machine-Building Production Technology and Equipment, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia, e-mail: pashk0ff@mail.ru

Oleg V. Samoylenko, C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Department of Machine-Building Production Technology and Equipment, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia, e-mail: olegsamoylenko1@gmail.com

Andrey A. Duk, Postgraduate, Department of Machine-Building Production Technology and Equipment, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia, e-mail: andreyduk0495@gmail.com

Sergey U. Faleev, Postgraduate, Department of Machine-Building Production Technology and Equipment, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia, e-mail: s.faleeff@gmail.com

Dmitriy A. Aleynikov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Department of Machine-Building Production Technology and Equipment, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia, e-mail: aleynikov@ex.istu.edu

Contribution of the authors:

Aleksandr A. Pashkov – research task formulation, scientific management, research conceptualization, conclusions, writing, data collection and analysis, writing, conclusions.

Oleg V. Samoylenko – research task formulation, scientific management, research conceptualization, conclusions, writing, data collection and analysis, writing, conclusions.

Andrey A. Duk – research task formulation, scientific management, research conceptualization, conclusions, writing, data collection and analysis, writing, conclusions.

Sergey U. Faleev – research task formulation, scientific management, research conceptualization, conclusions, writing, data collection and analysis, writing, conclusions.

Dmitriy A. Aleynikov – research task formulation, scientific management, research conceptualization, conclusions, writing, data collection and analysis, writing, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

