

УДК 621.98.042

DOI: 10.22213/2413-1172-2022-4-10-17

Определение фракционного состава дроби при упрочнении ударными методами с помощью технического зрения

А. А. Пашков, кандидат технических наук, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия, Иркутск

О. В. Самойленко, аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

А. А. Самойленко, магистрант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

В процессе упрочнения деталей авиационной техники из алюминиевых сплавов на дробеударных установках происходит деформация пространственной формы изделия в связи с неоднородным удлинением их конструктивных элементов. Правка упрочненных деталей методами упругопластического деформирования недопустима, так как может привести к потере упрочняющего эффекта. Перспективной задачей является прогнозирование процесса упрочнения при помощи конечно-элементного моделирования, что позволит использовать превентивное деформирование с целью минимизации поводов. Также моделирование с помощью CAE-системы процесса дробеметного упрочнения позволяет существенно сократить затраты, связанные с изготовлением конструктивноподобных образцов при определении прогнозируемых деформаций упрочняемых деталей. Предложенная методика позволяет использовать техническое зрение при подготовке входных данных при моделировании процесса упрочнения, а также осуществлять контроль качества дроби, используемой в процессе упрочнения.

Исследование выполнялось на лабораторном стенде компании National Instruments. Основой стенда является интеллектуальная камера NI Smart Camera, которая дает возможность в интерактивном режиме осуществлять сбор видеоизображений и их обработку. Измеряемая выборка представляет собой 500 грамм дроби, используемой на производстве при упрочнении авиационных деталей. Предлагаемая методика заключается в получении массива данных о фракционном составе дроби при помощи машинного зрения с последующим анализом в подготовленном программном модуле на базе C++, который выводит полученные данные в виде таблицы Excel. Проведена проверка полученных результатов при помощи изготовленной на 3D-принтере оснастки, которая показала, что относительные отклонения данных расчетной модели от экспериментальных исследований не превышают 10 %, что говорит о достаточной точности разработанной методики.

Ключевые слова: упрочнение, техническое зрение, дробь, фракционный состав, контроль геометрической формы, машинное зрение.

Введение

Дробеметная, или дробеструйная упрочняющая обработка представляет собой процесс поверхностного пластического деформирования обрабатываемых деталей рабочими телами в виде стальной дроби различных размеров в процессе ударного взаимодействия с поверхностью обрабатываемой детали за счет придания дроби кинетической энергии от вращающихся лопастей дробеметного аппарата [1, 2].

В результате обработки дробью обеспечивается повышение сопротивляемости материала

детали усталостному разрушению и коррозионным повреждениям за счет наведения в поверхностном слое материала остаточных сжимающих макронапряжений, а также повышение микротвердости, снижение значений шероховатости и улучшение микрогеометрии поверхностного слоя [3–5]. Шероховатость обработанной поверхности зависит от размера дроби и первоначального значения шероховатости до обработки.

Эффективность технологии обработки дробью определяется увеличением долговечности обработанных деталей не только в условиях

обычной усталости, но и малоциклового области, связанной с высоким уровнем действующих повторных нагрузок, что характерно для условий эксплуатации деталей планера самолетов [6–8].

При анализе публикаций [9–12], посвященных описанию технологических процессов формообразования/упрочнения обводообразующих деталей и элементов каркаса летательных аппаратов, было установлено, что поверхностное упрочнение приводит к искажению исходной формы изделия. Чтобы избежать негативного деформирования детали после упрочнения, применяются методы превентивного деформирования, которые подразумевают внесение в деталь деформаций, величина которых определяется на основе прогнозирования искажений формы детали при упрочнении. Для прогнозирования искажений формы детали при реализации процесса упрочнения широко используется метод конечных элементов.

Цель исследования – разработка адекватной методики определения фракционного состава дробы при упрочнении ударными методами при помощи технического зрения.

Однако при моделировании неизвестными входными параметрами остаются распределения диаметров применяемой дробы, лежащие в пределах 0,6...1,2 мм. Предложенная методика определения фракционного состава дробы при помощи технического зрения позволит получить более достоверную модель распределения дробы, а также существенно сократит время подготовки модели.

Экспериментальное исследование определения фракционного состава дробы при помощи технического зрения

Исследование проводилось на лабораторном стенде компании National Instruments, основой стенда является интеллектуальная камера NISmart Camera, которая дает возможность в интерактивном режиме осуществлять сбор видеоизображений и их обработку [13, 14].

В качестве определяемой фракции служит 500 граммов дробы (рис. 1), используемой на авиационном производстве при упрочнении деталей. Согласно нормативной документации диаметры дробинки лежат в диапазоне 0,6...1,2 мм.

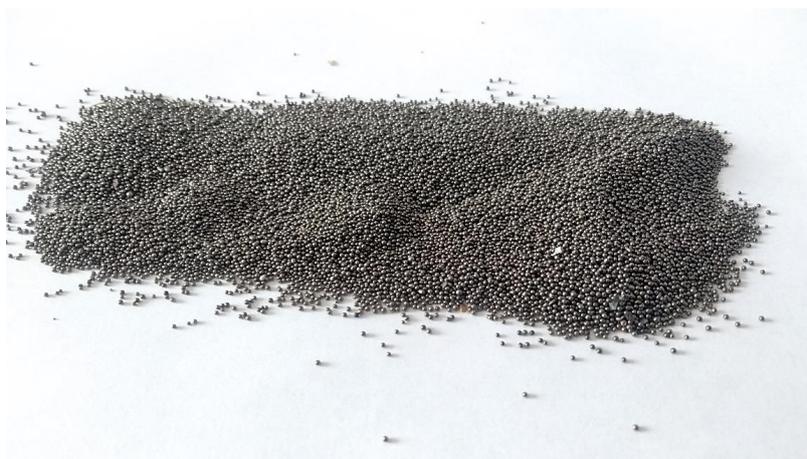


Рис. 1. Образцы дробы

Fig. 1. Peen samples

Так как размеры стенда машинного зрения не позволили провести измерения всех дробинки за один установ, первым этапом было разбиение на партии весом 10 г с последующей фасовкой.

Далее необходимо было получить изображения фасованной дробы при помощи стенда технического зрения. Настройка камеры и освещения, а именно стробирование света и снятие изображений каждый раз, когда она получает сигнал: выдержка – 0,504; усиление – 170; источник света – RL1424-660 (Ring Light, Red); ток освещения – 1000 мА. Стробирование осу-

ществлялось по нисходящему фронту сигнала [15].

Пример изображения полученных партий дробы показан на рисунке 2.

Данные сохранялись в программе как двумерный массив с функцией интенсивности света $f(x, y)$, где x и y – пространственные координаты элемента изображения, то есть пикселя. При цифровой обработке изображения сенсор преобразует изображение в группу отдельных пикселей, он присваивает каждому пикселю цифровые координаты, а также уровень яркости или код цвета, которые определяют яркость или цвет пикселя.

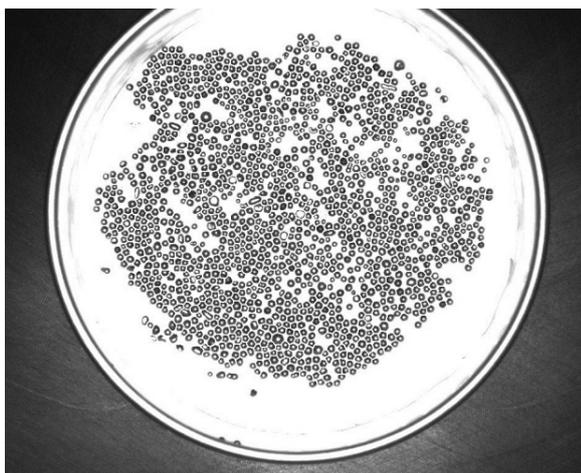


Рис. 2. Пример полученного изображения

Fig. 2. Example of the resulting image

Полученные фотографии были преобразованы в 8-битное изображения (рис. 3). Для считывания размеров применялась функция гистограмм для определения расположения частиц в соответствии с координатами функции $f(x, y)$, после чего определялась площадь занимаемой дробы в пикселях с возможностью определения диаметра самой дробы. Определение размера дробы осуществлялось путем поиска областей, имеющих белый фон. Размерность найденных областей pix^2 .

Следующим шагом в определении фракционного состава дробы является составление про-

граммы на языке C++ [16, 17], на основе которого в дальнейшем будет проходить контроль вся подвергаемая проверке дробь.

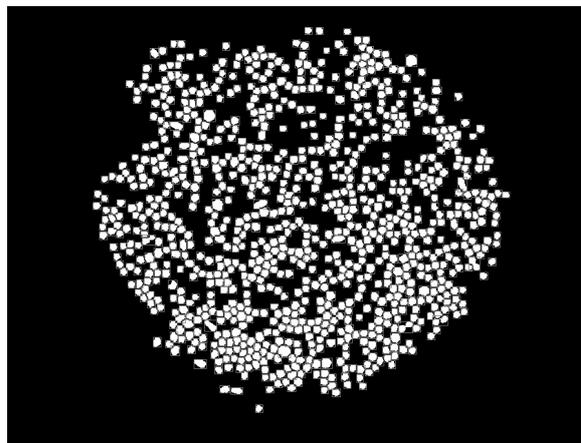


Рис. 3. Фотография в 8-битном формате

Fig. 3. Photo in 8 bit format

В шаге Calculator были прописаны ряд программ, каждая из которых выполняет поставленную задачу.

Сначала переводим данные размеров диаметра каждой дробы, полученные ранее, в размерность, мм, для чего необходимо все значения в пикселях умножить на коэффициент перевода из pix в мм (рис. 4). Согласно паспорту на лабораторный стенд коэффициент перевода из pix в мм равен 0,264.

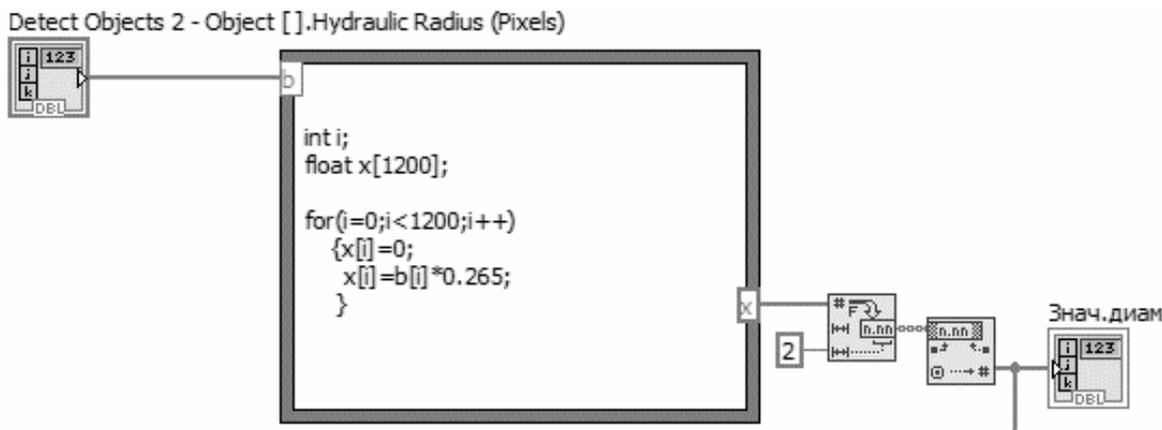


Рис. 4. Фрагмент программы перевода размеров из пикселей в мм

Fig. 4. Fragment of the program for converting sizes from pixels to mm

После перевода размерности диаметров каждой дробы производится сортировка и подсчет частиц диаметром 0,5...0,6; 0,6...0,7; 0,7...0,8; 0,8...0,9; 0,9...1,0 мм.

После выполнения сортировки появляется информация всех параметров, необходимых для определения фракционного состава дробы. Сле-

дующим шагом является настройка для вывода всех данных в информационную таблицу Excel.

На рисунке 5 представлен алгоритм, в котором происходит формирование выходной таблицы.

В результате была получена наглядная таблица (рис. 6), содержащая информацию о размерах дробы.

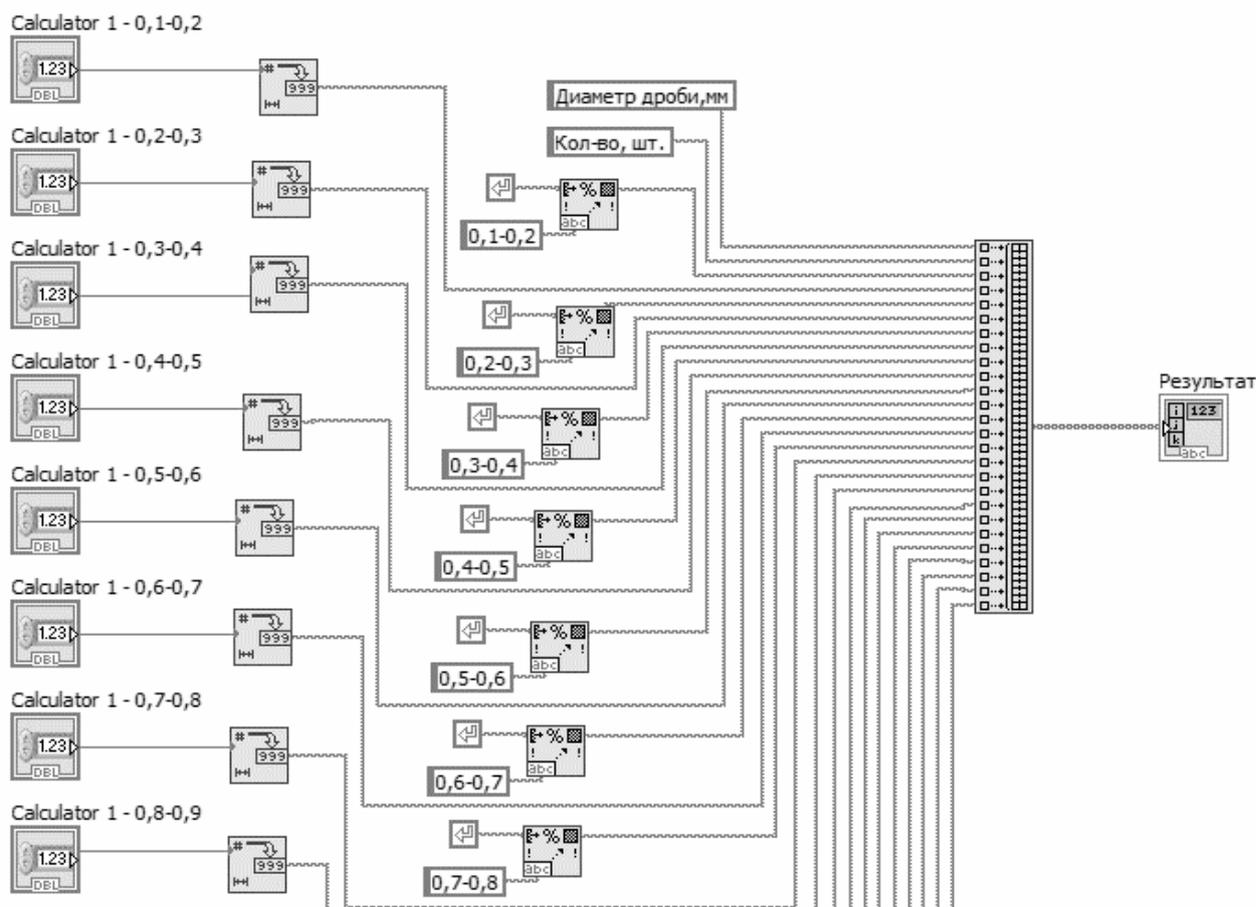


Рис. 5. Фрагмент программы сортировки и вывода данных

Fig. 5. Fragment of the program for sorting and outputting data

	A	B
1	Диаметр дроби,мм	Кол-во, шт.
2	0,1-0,2	0
3	0,2-0,3	0
4	0,3-0,4	0
5	0,4-0,5	0
6	0,5-0,6	28
7	0,6-0,7	482
8	0,7-0,8	537
9	0,8-0,9	104
10	0,9-1,0	17

Рис. 6. Результат фракционного анализа

Fig. 6. Fractional analysis result

Проверка результатов, полученных при экспериментальном исследовании

Для проверки полученных результатов проведены экспериментальные исследования по просеиванию дроби через сито с размером ячеек 0,65, 0,75, 0,85 и 0,95 мм. Сита были изготовлены по моделям методом 3D-печати из пластика.

После печати ячейки измерялись при помощи NIVisionBuilderAI (рис. 7). Отклонения от номинального размера не превышали 10 %.

Исследуемая дробь последовательно пропускалась через сита в отдельные емкости с последующим взвешиванием. Из каждой партии выбиралось по 100 дробинок для взвешивания, и осуществлялся пересчет от массы партии к количеству дробинок. Данные приведены в таблице.

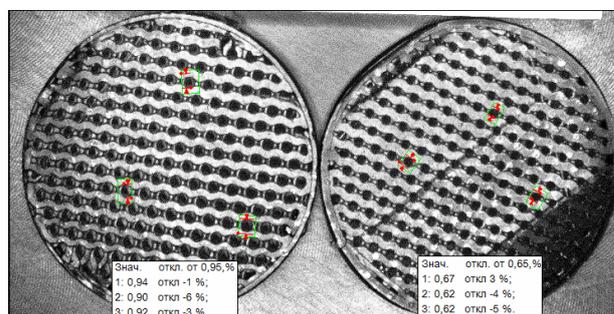


Рис. 7. Измерение напечатанных изделий с диаметром 0,75...0,95 мм

Fig. 7. Measurement of printed products with a diameter of 0.75...0.95 mm

Из таблицы видно, что относительные отклонения данных расчетной модели от экспери-

ментальных исследований не превышают 20 % с учетом погрешности изготовления оснастки для просеивания.

Перспективы дальнейшего использования результатов

Важной проблемой при дробеструйной обработке является контроль эпюр наведенных остаточных напряжений. Изначально для этого использовали методику, предложенную Дж.О. Алменом [18]. В этой методике применяются стальные пластины регламентированных размеров, которые закрепляются в зоне обработки

дробью, а измеренное значение прогиба, вызванного наведенным полем сжимающих остаточных напряжений, снятое с системы крепления пластины, служит мерой интенсивности обработки.

На данный момент применяется метод моделирования дробеструйной обработки, позволяющий назначать технологические параметры обработки, оптимальные с точки зрения усталостной прочности упрочняемой детали.

Структурная схема метода моделирования упрочняющей приведена на рисунке 8.

Данные исследуемой дроби

Data of the investigated fraction

Диаметр дробинки, мм	m (100 шт.), г	M (общ.), г	N , шт., эксперимент	N , шт., расчет	Относительная погрешность, %
0,6	0,09	1,2	1434	1333	8
0,7	0,14	2,3	1590	1642	3
0,8	0,21	0,6	277	285	2
0,9	0,32	0,4	116	125	7

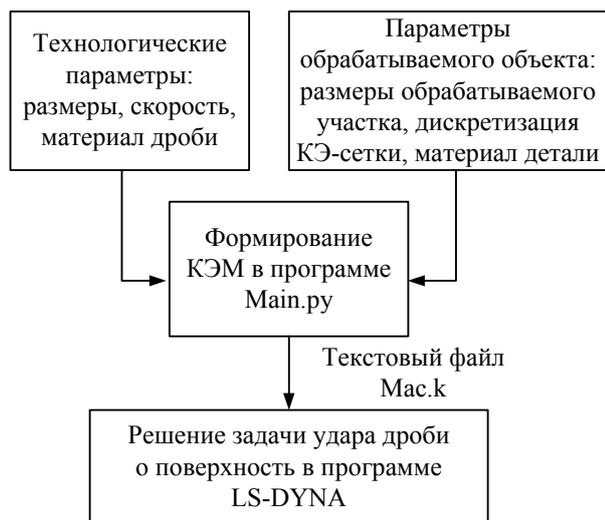


Рис. 8. Структурная схема метода моделирования дробеструйной обработки

Fig. 8. Structural diagram of the shot blasting simulation method

Как видно из структурной схемы метода моделирования упрочнения, необходимо знать фракционный состав дроби для формирования конечно-элементной модели.

Исходными данными для разработанной модели упрочняющей обработки являются параметры конечно-элементной модели участка приповерхностного слоя обрабатываемой детали и технологические параметры процесса. Первая группа параметров определяет конечно-элементную модель участка обрабатываемой поверхности детали. Эта модель, представляю-

щая собой параллелепипед, разбитый на линейные восьмиузловые твердотельные конечные элементы, составлена так, что в недеформированном состоянии грани элементов параллельны осям координат.

Разработанный алгоритм позволяет определять фракционный состав дроби, который необходим при составлении более точной конечно-элементной модели процесса упрочнения, что является перспективным в использовании для будущих работ задания интенсивности упрочняющей обработки. Также разработанная методика позволит снизить время контроля дроби на производстве, так как контрольные операции осуществляются путем просеивания через сито.

Для контроля размеров дроби на производстве согласно нормативной документации происходит выборка 500 г дроби с погрешностью ± 5 г. На данный момент камере NI Smart Camera 1764 необходимо произвести 50 измерений для определения размеров всех частиц согласно производственной инструкции, в связи с этим была разработана модель предлагаемой камеры. В ней рабочее расстояние составляет 130 вместо 100 мм, что позволяет увеличить размер исследуемой области и произвести измерения дроби в прямоугольной подставке, выполненной из силикона – это дает возможность изготавливать ее прозрачной и пропускать светодиодную подсветку, делая контуры дроби более четкие.

Для измерений дроби весом 100 г необходима прямоугольная подставка, которая устанавливается оператором вручную на направляю-

щие, расположенные в каркасе камеры, и вмещает в себя около 53 000 шт. дроби.

Имея данную камеру с прямоугольной подставкой (рис. 9), возможно исследование размеров дроби весом 500 г за пять измерений.

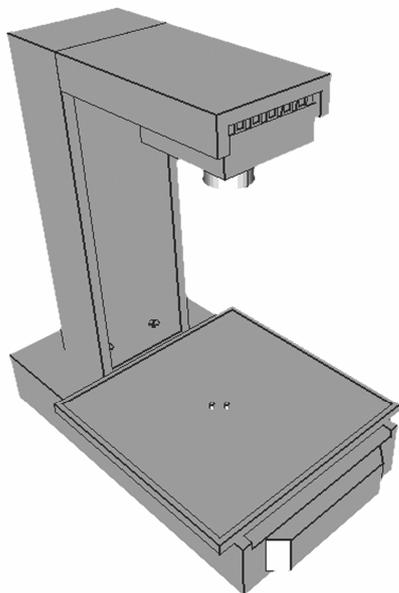


Рис. 9. Модель предлагаемой камеры с прямоугольной подставкой

Fig. 9. Model of the proposed camera with a rectangular stand

Выводы

В результате экспериментального исследования разработан алгоритм программы контроля фракционного состава дроби.

Система предлагается к использованию контроля дроби для дробеметной установки, используемой на производстве, предназначенной для упрочнения деталей типа стенки шпангоута и обода шпангоута.

Применение разработанного алгоритма

- позволит добиться технического эффекта путем сокращения времени контроля дроби;
- обеспечит возможность дальнейшего совершенствования программы для контроля дроби при загрузке в другие дробеметные установки;
- даст возможность построения конечно-элементной модели процесса упрочнения за счет задания точных размеров каждой упрочняемой дроби.

Библиографические ссылки

1. *Кравченко Г. Н.* Обоснование эффективности восстановления усталостной долговечности поверхностно-упрочненных авиационных деталей повторным упрочнением дробью // *Вестник машиностроения*. 2019. № 12. С. 69–75.

2. *Кавиев 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.

3. *Starodubtseva D.A., Koltsov V.P., Vinh Le Tri.* Grinding of aluminum alloy panels after shot peen forming on contact type. *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*, 2019, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012109.

4. *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.

5. Экспериментальное определение зависимости степени покрытия при дробеударном формообразовании от режимов обработки / А. Е. Пашков, Ле Чи В., Нгуен Тхэ Х., В. В. Блудов, В. В. Тюньков // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2019. Т. 23, № 6 (149). С. 1052–1060. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-6-1052-1060.

6. Оценка процесса роста усталостных трещин влопастях винта вертолета / В. Е. Рогов, Л. А. Бохоева, В. Ю. Курохтин, А. Б. Балданов // *Науковедение*. 2017. Т. 9, № 2. С. 74.

7. *Chiocca A., Frenzo F., Bertini L.* Residual stresses influence on the fatigue strength of structural components. *Proc. Structural Integrity*, 2022, vol. 38, pp. 447–456. DOI: 10.1016/j.prostr.2022.03.045.

8. *Weibull W.* Fatigue Testing and Analysis of Results. Oxford: Pergamon Press, 1961.

9. *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, no. 13, pp. 1777–1785. DOI: 10.1134/S003602952113022X.

10. *Pashkov A.E., Makaruk A.A., Kitov A.K., Koltsov V.P.* Patent RU 2618680 C1, 10.05.2017.

11. *Pashkov A.E., Makaruk A.A., Minaev N.V.* Automation methods for forming and rectifying stiffened parts with rolling machines. *International Journal of Engineering and Technology*, 2016, vol. 7, no. 6, pp. 2030–2037.

12. Машинная зачистка высокопрочных алюминиевых сплавов лепестковым кругом / Д. А. Стародубцева, В. П. Кольцов, Ле Чи Винь, Е. В. Тардыбаева // *Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2022. Т. 25, № 2. С. 40–50. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-2-40-50.

13. *Мироненко В. В., Алексеев А. А.* Исследование внедрения машинного зрения на производстве для контроля узлов при сборке агрегатов планера самолета // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2022. № 6. С. 35–40.

14. *Федоренко В. Ю.* Применение технологии машинного зрения в различных сферах жизни современного общества // *Теория и практика современной науки*. 2021. № 8 (74). С. 36–39.

15. *Середа С. В.* Применение машинного зрения в логистике // *Sciences of Europe*. 2021. № 65-1(65). С. 45–50. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-65-1-45-50.

16. Дагмирзаев О. А. Изучаем язык программирования С++ // *Colloquium-Journal*. 2021. № 3-3 (90). С. 17–19. DOI: 10.24412/2520-2480-2021-390-17-19.

17. V'yukova N.I., Galatenko V.A., Samborskii S.V. Support for Parallel and Concurrent Programming in C++ Programming and Computer Software, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 35–42. DOI: 10.1134/S0361768818010073.

18. Толкачев А. В., Волков Д. И. Параметры процесса дробеструйного упрочнения, определяющие результат обработки и требующие обязательного контроля // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Т. 15, № 12 (180). С. 542–545.

19. Makaruk A.A., Pashkov A.A., Samoilenko 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, pp. 1-10. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012100.

20. Кольцов В. П., Ле Чу В., Стародубцева Д. А., Ле Ч. В. К определению степени покрытия после дробеструйной обработки // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21, № 11 (130). С. 45–52. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-11-45-52.

References

1. Kravchenko G.N., Kravchenko K.G. [Substantiation of the efficiency of restoring the fatigue life of surface-hardened aircraft parts by repeated shot hardening]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2019, no. 12, pp. 69-75 (in Russ.).

2. Kaviev M.I., Trofimov V.N. [Shot blasting of metal applicable in military equipment]. *Al'manah Permskogo voennogo institute vojsk nacional'noj gvardii*, 2021, no. 4 (4), pp. 177–182 (in Russ.).

3. Starodubtseva D.A., Koltsov V.P., Vinh Le Tri. Grinding of aluminum alloy panels after shot peen forming on contact type. *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*, 2019, pp. 1-6. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012109.

4. 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.

5. Pashkov A.E., Le Tri Vinh, Nguyen T.H., Bludov V.V., Tyunkov V.V. [Experimental determination of the dependence of the degree of coverage during shot-impact shaping on processing modes]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2019, vol. 23, no. 6 (149), pp. 1052-1060 (in Russ.). DOI: 10.21285/1814-3520-2019-6-1052-1060.

6. Rogov V.E., Bokhova L.A., Kurokhtin V.Yu., Baldanov A.B. [Evaluation of fatigue crack growth in helicopter propeller blades]. *Naukovedenie*, 2019, vol. 9, no. 2, p. 74 (in Russ.).

7. Chiocca A., Frenzo F., Bertini L. Residual stresses influence on the fatigue strength of structural components.

Proc. Structural Integrity, 2022, vol. 38, pp. 447-456. DOI: 10.1016/j.prostr.2022.03.045.

8. Weibull W. *Fatigue Testing and Analysis of Results*. Oxford, Pergamon Press, 1961.

9. 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, no. 13, pp. 1777-1785. DOI: 10.1134/S003602952113022X.

10. Pashkov A.E., Makaruk A.A., Kitov A.K., Koltsov V.P. Patent RU 2618680 C1, 10.05.2017.

11. Pashkov A.E., Makaruk A.A., Minaev N.V. Automation methods for forming and rectifying stiffened parts with rolling machines. *International Journal of Engineering and Technology*, 2016, vol. 7, no. 6, pp. 2030-2037.

12. Starodubtseva D.A., Koltsov V.P., Vinh Le Tri, Tardybaeva E.V. [Machine cleaning of high-strength aluminum alloys with a flap wheel]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2022, vol. 25, no. 2, pp. 40–50 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2022-2-40-50.

13. Mironenko V.V., Alekseev A.A. [Study of the implementation of machine vision in production for the control of nodes during the assembly of aircraft airframe units]. *Kuznechno-shtampovoychnoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniyem*, 2022, no. 6, pp. 35-40 (in Russ.).

14. Fedorenko V.Y. [Application of machine vision technology in various spheres of life of modern society]. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki*, 2021, no. 8(74), pp. 36-39 (in Russ.).

15. Sereda S. [Application of machine vision in logistics]. *Sciences of Europe*, 2021, no 65-1 (65), pp. 45-50 (in Russ.). DOI: 10.24412/3162-2364-2021-65-1-45-50.

16. Dagmirzaev O.A. [Learning the C++ programming language]. *Colloquium-Journal*, 2021, no. 3-3(90). pp. 17-19 (in Russ.). DOI: 10.24412/2520-2480-2021-390-17-19.

17. V'yukova N.I., Galatenko V.A., Samborskii S.V. Support for Parallel and Concurrent Programming in C++ Programming and Computer Software, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 35-42. DOI: 10.1134/S0361768818010073.

18. Tolkahev A.V., Volkov D.I. [Parameters of the shot peening process that determine the result of processing and require mandatory control]. *Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya*, 2019, vol. 15, no. 12(180), pp. 542-545 (in Russ.).

19. Makaruk A.A., Pashkov A.A., Samoilenko 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*, pp. 1-10. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012100.

20. Koltsov V.P., Le Tri Vinh, Starodubtseva D.A. [To determine the degree of coverage after shot peening]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2017, vol. 21, no. 11 (130), pp. 45-52 (in Russ.). DOI: 10.21285/1814-3520-2017-11-45-52.

Determination of the Shot Fractional Composition During Shock Hardening Methods Using Technical Vision

A.A. Pashkov, PhD in Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

O.V. Samoilenko, Postgraduate, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

A.A. Samoilenko, Master's Degree Student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

The main purpose of the article is development of method for determining the fractional composition of the shots during shot peen hardening. During peen hardening of aluminum aviation parts the deformation of spatial form of the part usually occurs due to the non-homogeneous compaction of their structural elements. Form straightening of hardened parts by methods of elastic-plastic deformation is unacceptable, as there may be a loss of hardening effect. A promising task is to predict the hardening process using finite element modeling, which will allow the use of preventive deformation in order to minimize the deformation. Also, finite element modeling of the shot hardening process can significantly reduce the costs associated with the manufacture of structurally similar samples when determining the predicted deformations of hardened parts. The proposed method allows the use of technical vision in the preparation of input data when modeling the hardening process, as well as to control the quality of the shot used in the hardening process. The study was carried out using machine vision equipment of the National Instruments company. This equipment is based on the NI Smart Camera, which allows interactive collection of video images and their processing. The measured sample is 500 grams of shot used in production for hardening aircraft parts. The proposed method consists obtaining of data array of the fractional composition using machine vision and analysis in a prepared C++ software module that displays the obtained data in the form of an Excel table. The obtained results were also verified using the equipment made on a 3D printer, which showed that the relative deviations of the calculated model data from experimental studies do not exceed 10%, which indicates sufficient accuracy of the developed methodology.

Keywords: hardening, technical vision, shot, fractional composition, form straightening, machine vision.

Получено 19.09.2022

Образец цитирования

Пашков А. А., Самойленко О. В., Самойленко А. А. Определение фракционного состава дроби при упрочнении ударными методами с помощью технического зрения // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2022. Т. 25, № 4. С. 10–17. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-4-10-17.

For Citation

Pashkov A.A., Samoilenko O.V., Samoilenko A.A. [Determination of the Shot Fractional Composition During Shock Hardening Methods Using Technical Vision]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2022, vol. 25, no. 4, pp. 10-17 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2022-4-10-17.