

Определение степени покрытия после дробеударного формообразования методом обработки изображений

Ле Чи Винь^a, Д.А. Стародубцева^b, В.П. Кольцов^c, Нгуен Тхе Хоанг^d

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

^avinh_istu@mail.ru, ^bd.star-irk@yandex.ru, ^ckolcov@istu.edu, ^dnguyenthehoang05091993@gmail.com

^a<https://orcid.org/0000-0002-0680-9009>, ^b<https://orcid.org/0000-0001-9953-1888>,

^c<https://orcid.org/0000-0002-6924-9504>, ^d<https://orcid.org/0000-0003-3282-6934>

Статья поступила 28.03.2018, принята 19.04.2018

Обводообразующие детали крыла по форме представляют собой совокупность поверхностей переменной кривизны. Для получения подобных форм поверхностей панелей и обшивок эффективно применяется метод дробеударного формообразования. Он характеризуется обработкой аэродинамической поверхности дробью с целью придания требуемой кривизны. Основными технологическими преимуществами метода являются распределенный характер нагружения, полное отсутствие эффекта упругого восстановления исходной формы, а также возможность регулирования интенсивности воздействия. Технологические возможности процесса обеспечиваются характером деформирования, применением неполного покрытия обрабатываемой поверхности отпечатками дроби. Последнюю принято характеризовать степенью покрытия — отношением суммарной площади отпечатков дроби на исследуемом участке ко всей площади исследуемого участка. Степень покрытия является важнейшим показателем структуры и степени силового воздействия на поверхность детали, поскольку от плотности расположения отпечатков на поверхности зависит величина деформирующей деталь силы. Используемые ранее методы определения степени покрытия, как правило, отличаются высокой трудоемкостью. Появление современных оптических профилометров, в состав которых входит компьютерная техника с соответствующим программным обеспечением, позволяет уменьшить трудоемкость обработки сканированного изображения и автоматизировать методику расчета степени покрытия. В работе предложена новая методика определения степени покрытия на основе обработки сканированного изображения микрорельефа поверхности. Методика основана на преобразовании цветного сканированного изображения в черно-белое и последующем подсчете соотношения площадей черного и белого цветов.

Ключевые слова: дробеударное формообразование; исследование поверхности; оптический метод трехмерного сканирования; степень покрытия; отпечатки.

Determination of a degree of shot coverage after shot peen forming by image processing

Le Chi Vinh^a, D.A. Starodubtseva^b, V.P. Koltsov^c, Nguyen The Hoang^d

Irkutsk National Research Technical University; 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia

^avinh_istu@mail.ru, ^bd.star-irk@yandex.ru, ^ckolcov@istu.edu, ^dnguyenthehoang05091993@gmail.com

^a<https://orcid.org/0000-0002-0680-9009>, ^b<https://orcid.org/0000-0001-9953-1888>,

^c<https://orcid.org/0000-0002-6924-9504>, ^d<https://orcid.org/0000-0003-3282-6934>

Received 28.03.2018, accepted 19.04.2018

A contour-forming parts of the wing are a set of surfaces with a variable curvature. For generation of surface curvilinear shapes of panels and sheaths, a method of shot peen forming can be effectively applied. It is characterized by the treatment of the aerodynamic surface with a shot in order to give the desired curvatures. The main technological advantages of this method are the distributed form of the loading, the complete absence of the effect of elastic restoration of the original form, as well as the ability to regulate the intensity of the shot impact. Technological capabilities of the process are provided by the nature of deformation, the use of incomplete coverage of the treated surface with the traces of shot. The latter is usually characterized by the degree of coverage—the ratio of the total area of the traces of shot to the entire area of the study sample sector. The degree of coverage is the most important indicator of the structure and degree of power impact on the surface of the part because the density of the shot traces on the surface depends on the size of the deforming force of the part. Previously used methods for determining the degree of coverage, as a rule, are characterized by high labor intensity. The appearance of modern optical profilometers, including computer equipment with appropriate software, enables to reduce the complexity of processing the scanned image, and automate the calculation of the degree of coverage. In this paper the new method for determining the degree of coverage on the basis of processing the scanned image of surface microrelief is proposed. This method is based on the transformation of color scanned images in black - white and the subsequent calculation of the ratio between black and white areas.

Keywords: shot peen forming; surface analysis; optical method of three-dimensional scanning; degree of (shot) coverage; indents.

Введение

Для получения сложных криволинейных форм поверхностей панелей и обшивок эффективно применяется метод дробеударного формообразования [1–6]. При этом степень покрытия поверхности отпечатками дроби (отношение площади отпечатков дроби на исследуемом участке ко всей площади исследуемого участка) является важнейшим показателем структуры и степени силового воздействия на поверхность детали [7].

В мировой практике применяют различные методы определения степени покрытия после дробеударной обработки [7–15]. Практически все они отличаются высокой степенью трудоемкости. Так, например, по способу, описанному в работе [7], процедура определения площади каждого отпечатка осуществляется вручную и занимает немало времени. Кроме того, для определения фактической площади каждого отпечатка на обрабатываемой поверхности по значению его глубины на цифровой сканированной модели поверхности необходимо найти точный центр каждого отпечатка с допущением о его форме в плане, близкой к окружности. Неточность нахождения центра отпечатков на цифровой модели (человеческий фактор) приведет к отклонению в значениях глубин отпечатков от фактического, что негативно скажется на точности определения площади отпечатков в частности и степени покрытия в целом.

Однако с появлением современных измерительных комплексов на базе оптических профилометров со специализированным программным обеспечением появляется возможность создания полуавтоматических

нетрудоемких и точных методов определения степени покрытия.

Анализ обработанной дробью поверхности оптическим методом трехмерного сканирования. В процессе дробеударной обработки в целом и при дробеударном формообразовании в частности от ударов дроби об обрабатываемую поверхность образуются многочисленные отпечатки различных диаметров и глубин. Результаты исследований ряда авторов показали, что распределение отпечатков дроби на обрабатываемой поверхности является случайным, а плотность распределения и размеры отпечатков зависят от многочисленных факторов, включая режимы обработки, физико-механические свойства как дроби, так и обрабатываемого материала и т. д. [8, 12].

Для проведения исследований по отработке нового метода определения степени покрытия поверхности отпечатками были взяты образцы из алюминиевого сплава В95 размером 110×110×5 мм. Предварительно они были отфрезерованы и в последующем подвергнуты дробеударной обработке на режимах формообразования дробью диаметром 3,5 мм.

Сканирование поверхности образцов в ходе экспериментов выполняли при помощи 3D оптического профилометра Bruker Contour GT-K1 в составе измерительного комплекса. Это позволило получить цветную цифровую модель сканированной поверхности.

На рис. 1 показаны цифровые модели четырех различных по размеру участков сканированной поверхности образца со следами дробеударной обработки.

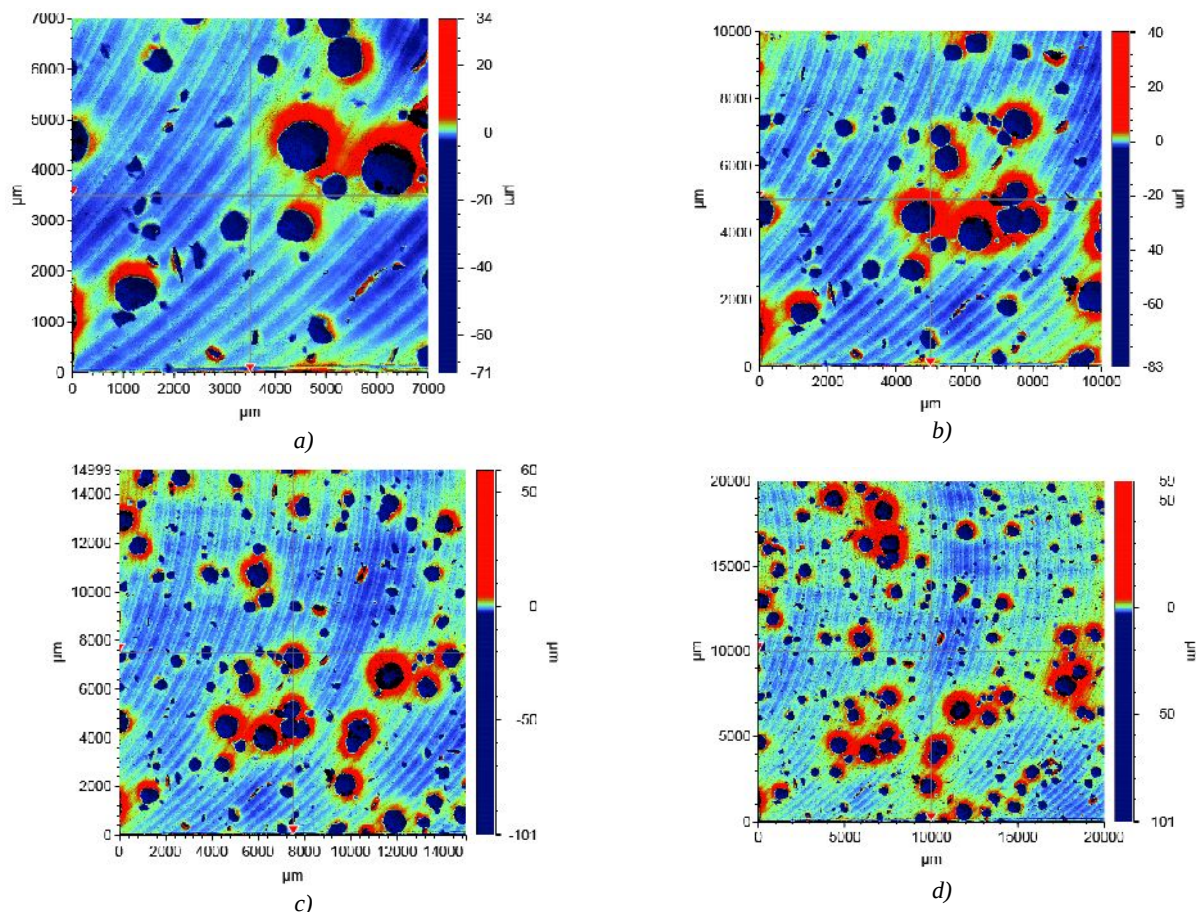


Рис. 1. Цифровые модели сканированных участков поверхностей: а — 7×7 мм; б — 10×10 мм; в — 15×15 мм; д — 20×20 мм

Анализ различных по площади участков сканированной поверхности одного и того же образца после дробеударного формообразования показал, что имеется четкое разделение цветов по высотной шкале профиля. При этом синий и темно-синий цвет соответствует впадинам профиля поверхности, которые находятся под средней плоскостью профиля поверхности, а зеленый, зелено-красный и красный цвет — над ее выступами (над средней плоскостью профиля). Все отпечатков дробы ниже средней линии показаны в темно-синем цвете.

На рис. 1 также видно, что если красный, красно-зеленый, зеленый цвет и синие полосы будут искусственно удалены, то на поверхности останется только синий и темно-синий цвет, который как раз и отражает площади контура отпечатков дробы после дробеударной обработки и сами впадины профиля поверхности. При этом форма впадин (в виде кривых) исходной поверхности резко отличается от формы отпечатков дробы, поэтому их несложно различить.

Метод определения степени покрытия за счет обработки изображения сканированной поверхности. Для обработки цветов изображение профиля сканированной поверхности после дробе-ударной обработки было перенесено в программу Paint.net. Данная программа позволяет скрыть не интересующие нас цвета (красный, зелено-красный, зеленый) и в последующем преобразовать оставшуюся область в черно-белое изображение (выполнение данной функции возможно и в других подобных программах обработки изображений и фотографий). Так, при преобразовании скрытые области будут окрашены в белый цвет, а контуры и область отпечатков станут черными. В результате получается

картина только с изображением отпечатков в виде черных пятен.

Типичная картина результата обработки сканированной поверхности на участке размером 10×10 мм в программе Paint.net представлена на рис. 2.

В данной программе при использовании инструмента «волшебная палочка» можно определить результаты автоматического подсчета количества пикселей всей выбранной площади, и в отдельности — общего количества пикселей белого цвета, а также черного, суммируя при этом все отпечатки на изображении.

Так как все пиксели имеют форму квадрата одного размера, степень покрытия K можно определить следующей формулой (1):

$$K = \frac{N_b}{N_g} \cdot 100\% = \frac{N_g - N_w}{N_g} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где N_g — общее количество пикселей, отраженное программой на выбранной площади; N_b — общее количество пикселей черного цвета на выбранной площади; N_w — общее количество пикселей белого цвета, отраженное программой на выбранной площади.

Кроме того, площадь покрытия (отпечатка) каждой дробы F_i может определяться формулой (2):

$$F_{bi} = N_{bi} \cdot F_i = N_{bi} \cdot \frac{F_g}{N_g}, \quad (2)$$

где F_{bi} — площадь i -го отпечатка, мм^2 ; N_{bi} — количество пикселей черного цвета i -го отпечатка, отраженного программой; F_i — площадь одного пикселя, мм^2 ; F_g — площадь сканированного участка, мм^2 .

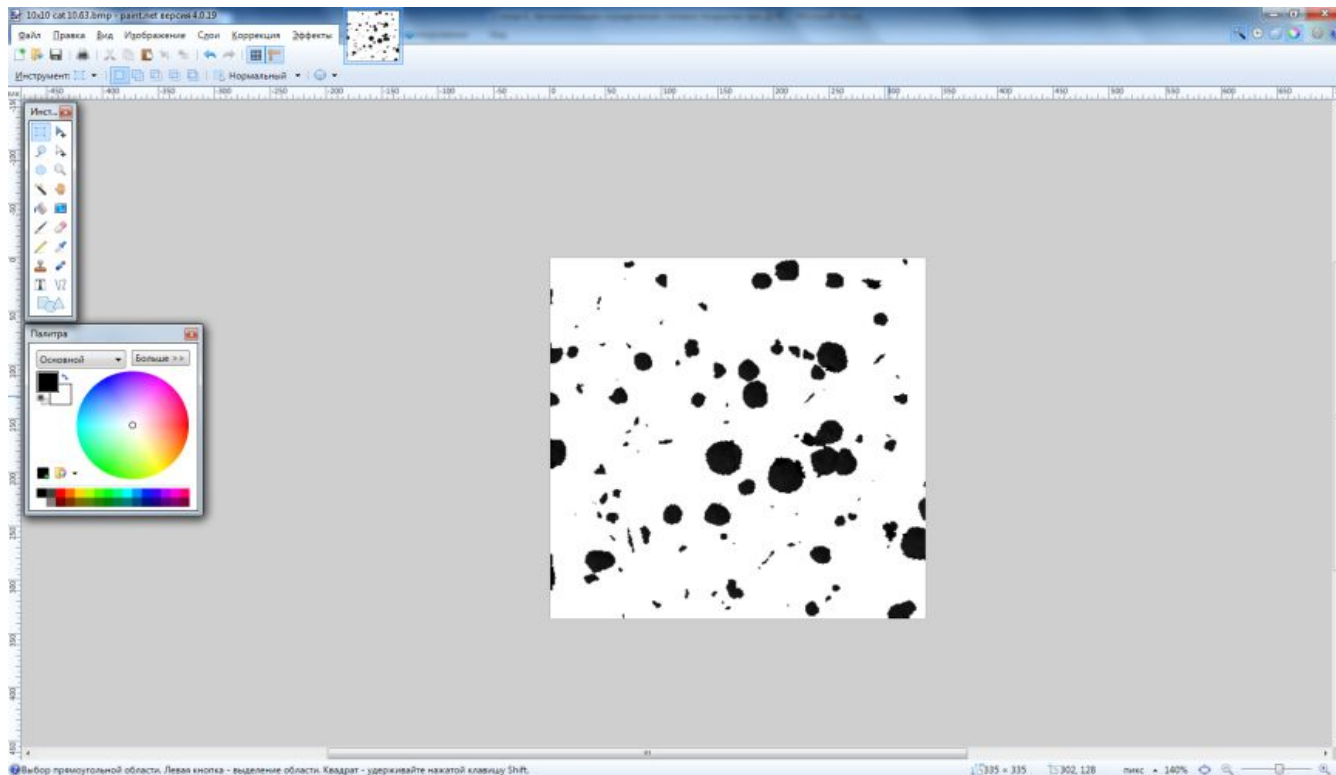


Рис. 2. Типичный результат обработки сканированного участка поверхности 10×10 мм

Для проверки адекватности предложенного метода определения степени покрытия было выполнено сканирование при помощи оптического профилометра Bruker Contour GT-K1 образца 100×100 мм из материала В95, обработанного дробью диаметром 3,5 мм на 4-х участках размером 7×7, 10×10, 15×15 и 20×20 мм. Измерения выполнялись от одной точки, с

постепенным ростом длины и ширины сканируемого участка от 7 до 20 мм. Поверхность образца до дробеударной обработки была отфрезерована, причем шероховатость поверхности $Ra < 0,4$ мкм.

На рис. 3 представлены результаты обработки полученных изображений в программе Paint.net.

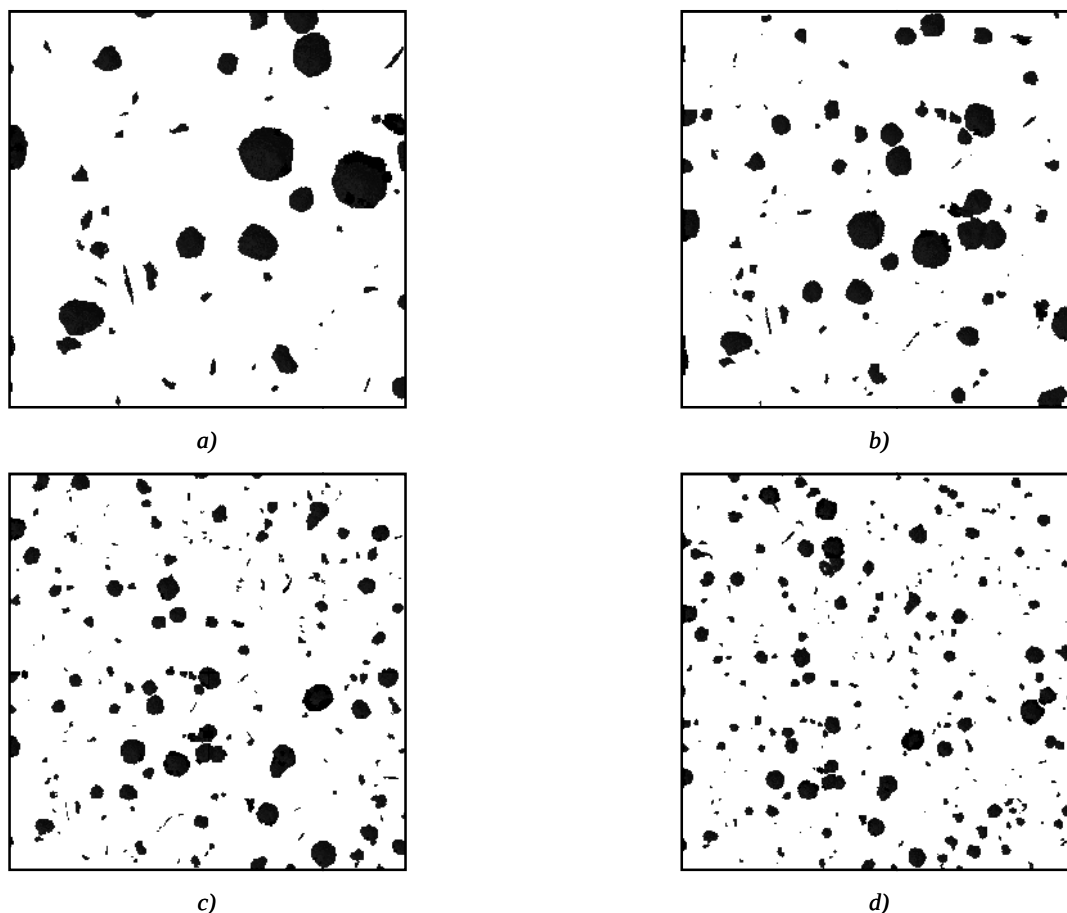


Рис. 3. Результаты обработки изображений сканированной поверхности одного и того же образца для 4-х участков: *a* — 7×7 мм; *b* — 10×10 мм; *c* — 15×15 мм; *d* — 20×20 мм

В качестве эталонных показателей, степень покрытия для каждого участка рассчитана на основании методики расчета площади отпечатков дроби в плане по значению глубин отпечатков сканированной цифровой модели поверхности [7].

Результаты расчетов степени покрытия двумя методами, а также сравнение полученных результатов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов степени покрытия двумя методами

Размер сканированного участка, мм	Эталонная степень покрытия	Общее количество пикселей на участке	Количество пикселей белого цвета на сканированном участке	Расчетная степень покрытия по методу обработки изображения	Отклонение расчетного значения от эталонного, %
7×7	12,041	112 225	100 400	10,54	12,47
10×10	11,077	112 225	100 292	10,63	4,04
15×15	10,668	112 225	100 690	10,28	3,64
20×20	9,690	112 225	100 992	10,01	-3,30

Из данных таблицы следует, что, независимо от площади участка сканированной поверхности, общее количество пикселей на 4-х участках не меняется. Это объясняется тем, что все участки сканированы с одним и тем же разрешением. Для повышения качества картин сканированной поверхности необходимо выбрать наибольшее разрешение сканирования, исходя из возможностей оптического профилометра (если имеется). Однако при увеличении разрешения время сканирования значительно возрастает.

Для участков размером 10×10 мм и более значение степени покрытия, определяемое методом обработки изображения сканированной поверхности очень мало отличается от значения степени покрытия, определенного методом измерения глубин отпечатков. Таким образом, базовая площадь обрабатываемой поверхности, необходимая для определения степени покрытия методом подсчета пикселей, находится в пределах от 100 до 225 мм².

Заключение

1. Предложенный метод значительно сокращает время определения степени покрытия после дробеударной обработки, а также исключает влияние человеческого фактора на точность показателя.

2. Для повышения точности определения величины степени покрытия за счет улучшения чистоты изображения сканированной поверхности необходимо увеличить чистоту исходной поверхности до проведения дробеударной обработки и сканировать обрабатываемую поверхность с более высоким разрешением.

Литература

1. Пашков А.Е. Об особенностях применения отечественной и зарубежной технологии формообразования обшивок и панелей самолетов // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2015. № 5 (100). С. 17-22.
2. Пашков А.Е. Технологический комплекс для формообразования длинномерных панелей и обшивок на базе отечественного оборудования // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2014. Т. 16, № 1-5. С. 1528-1535.
3. Malashchenko A.Y. Research of technological capacities of the process of long-length skin forming by combination of roll-bending and peen forming processing // Russian Aeronautics. 2016. Т. 59, № 2. С. 254-258.
4. Лихачев А.А., Герасимов В.В., Пашков А.А. Реализация системы управления процессом дробеударного формообразования на установках контактного типа // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2015. № 2 (97). С. 42-47.
5. Андрияшина Ю.С. Автоматизированный расчет технологических параметров дробеударного формообразования крупногабаритных панелей // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2013. Т. 15, № 6-2. С. 305-308.
6. Пашков А.Е. Технологические связи в процессе изготовления длинномерных листовых деталей. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. С. 138.
7. Кольцов В.П., Ле Чи Винь, Стародубцева Д.А. К определению степени покрытия после дробеударной обработки // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2017. Т. 21, № 11 (130). С. 45-52.

8. Матлин М.М., Мозгунова А.И., Лебский С.Л., Фролова А.И. Метод определения степени деформирования при применении различных способов поверхностного пластического деформирования деталей // Изв. Волгогр. гос. техн. ун-та. 2009. Т. 3, № 11 (59). С. 84-88.
9. Чапышев А.П. Статистическое описание поверхности после дробеударного формообразования // Перспективные технологии получения и обработки материалов: материалы регион. науч.-технической конф. Иркутск, 2004. С. 42-46.
10. Пашков А.Е., Чапышев А.П. Учет влияния структуры зоны обработки при дробеударном формообразовании // Технологическая механика материалов: межвуз. сб. науч. тр. Иркутск, 2003. С. 22-27.
11. Пашков А.Е., Чапышев А.П. Экспресс-метод контроля сплошности покрытия при дробеударном формообразовании // Инструмент и технологии XXI века: сб. докл. междунар. семинара. Иркутск, 2002. С. 117-120.
12. Дияк А.Ю. Перспективные методы определения степени покрытия при обработке дробью // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2014. № 7 (90). С. 12-17.
13. Дияк А.Ю. Определение степени покрытия автоматизированным методом // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2015. № 12 (107). С. 19-25.
14. Матлин М.М., Мосейко В.В. Вероятностная оценка параметров процесса дробеударной обработки // Изв. Волгогр. гос. техн. ун-та. 2005. № 2. С. 35-38.
15. Пашков А.А., Пашаев Д.С., Никуличев Н.И. Программный комплекс определения степени покрытия при дробеударной обработке // Будущее машиностроения России: материалы Девятой всерос. конф. молодых ученых и специалистов. 2016. С. 91-94.

References

1. Pashkov A.E. On application features of domestic and foreign technology of aircraft skin and panel forming // Vestnik of Irkutsk State Technical University. 2015. № 5 (100). P. 17-22.
2. Pashkov A.E. Technological complex for long-length panels and skins forming on the basis of domestic equipment // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. Т. 16, № 1-5. P. 1528-1535.
3. Malashchenko A.Y. Research of technological capacities of the process of long-length skin forming by combination of roll-bending and peen forming processing // Russian Aeronautics. 2016. Т. 59, № 2. P. 254-258.
4. Lihachev A.A., Gerasimov V.V., Pashkov A.A. Implementation of shot peen forming control system on contact type installations // Vestnik of Irkutsk State Technical University. 2015. № 2 (97). P. 42-47.
5. Andryashina YU.S. The automated calculation of peen shaping technological parameters of large-size panels // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2013. Т. 15, № 6-2. P. 305-308.
6. Pashkov A.E. Technological relationships under long sheet metal part manufacturing. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2005. P. 138.
7. Kol'cov V.P., Le Chi Vin', Starodubceva D.A. To the problem of shot peening coverage degree determination // Vestnik of Irkutsk State Technical University. 2017. Т. 21, № 11 (130). P. 45-52.
8. Matlin M.M., Mozgunova A.I., Lebskij S.L., Frolova A.I. Method for determining the degree of deformation in the application of various methods of surface plastic deformation of parts // Izvestia VSTU. 2009. Т. 3, № 11 (59). P. 84-88.
9. Chapyshev A.P. Statistical description of surface after shot peening // Perspektivnye tekhnologii polucheniya i obrabotki

materialov: materialy region. nauch.-tekhnicheskoy konf. Irkutsk, 2004. P. 42-46.

10. Pashkov A.E., Chapyshev A.P. Accounting machining zone structure effect under shot peening forming: mezhvuz. sb. nauch. tr. Irkutsk, 2003. P. 22-27.

11. Pashkov A.E., Chapyshev A.P. Express method of coverage continuity control under shot peening forming // Instrument i tekhnologii XXI veka: sb. dokl. mezhdunar. seminara. Irkutsk, 2002. P. 117-120.

12. Diyak A.YU. Promising methods to determine surface coverage under shot peening // Vestnik of Irkutsk State Technical University. 2014. № 7 (90). P. 12-17.

13. Diyak A.YU. Shot coverage degree estimation by a computer-aided method // Vestnik of Irkutsk State Technical University. 2015. № 12 (107). P. 19-25.

14. Matlin M.M., Mosejko V.V. Probabilistic estimation of parameters of process of crushing and grinding // Izvestia VSTU. 2005. № 2. P. 35-38.

15. Pashkov A.A., Pashaev D.S., Nikulichev N.I. Program Complex for Estimation of Peen Forming Coverage degree // Budushchee mashinostroeniya Rossii: materialy Devyatoj vsenos. konf. molodyh uchenyh i specialistov. 2016. P. 91-94.