

УДК 621.98.042 ; 621.923  
DOI: 10.22213/2413-1172-2022-2-40-50

## Машинная зачистка высокопрочных алюминиевых сплавов лепестковым кругом

**Д. А. Стародубцева**, кандидат технических наук, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**В. П. Кольцов**, доктор технических наук, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Ле Чи Винь**, кандидат технических наук, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Е. В. Тардыбаева**, кандидат филологических наук, Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия

*Для получения необходимой формы длинномерных панелей и обшивок в авиастроении успешно используется комплексная технология формообразования. Зачистка как операция в комплексном технологическом процессе предусмотрена после операции дробеударного формообразования перед упрочнением. Она предназначена обеспечить соответствие шероховатости и окончательной аэродинамической формы поверхности требованиям, установленным чертежом детали.*

*Для реализации этой технологии в Иркутском национальном исследовательском техническом университете была спроектирована и изготовлена специальная установка УДФ-4 (установка дробеударного формообразования). Вариант исполнения этой установки был оснащен системой ЧПУ и револьверной зачистной головкой с 4-лепестковыми кругами. Возможность выбора в процессе зачистки необходимого лепесткового круга в зависимости от кривизны и ширины обрабатываемой поверхности заметно расширила технологические возможности установки.*

*Используемые на производстве эластичные абразивные лепестковые круги прямого профиля хорошо зарекомендовали себя как по производительности зачистки, так и по стойкости инструмента. Однако практика показала, что из-за сложного воздействия абразивных лепестков в процессе контакта с обрабатываемой поверхностью при зачистке формируется особая зона неравномерного воздействия по длине контакта лепестков. Результаты экспериментальных исследований показали, что шероховатость обработанной поверхности значительно улучшается при изменении направления движения подачи лепесткового круга в зоне контакта с встречного на попутное.*

*В работе представлены экспериментальные данные исследований изменения шероховатости поверхности в зоне контакта абразивного лепесткового круга с поверхностью при зачистке в зависимости от частоты вращения круга и величины осадки, а также результаты экспериментального исследования качества обработанной поверхности при встречной и попутной подаче, показавшие приоритет попутной подачи и уменьшение величины шероховатости поверхности.*

**Ключевые слова:** зачистка, лепестковый круг, шероховатость поверхности, встречная подача при зачистке, попутная подача при зачистке, зона контакта с поверхностью.

### Введение

**П**ри зачистке достаточно большой номенклатуры деталей успешно применяются абразивные лепестковые круги [1–6]. Такой круг прямого профиля представляет собой набор лепестков абразивной шкурки, закрепленных под углом к радиальному направлению на наружной поверхности втулки. При этом лепестки изогнуты с абразивной поверхностью на выпуклой стороне [7, 8]. При вращении круга за счет действия центробежных сил лепестки круга распрямляются, что вызывает увели-

чение диаметра круга. То есть диаметр круга зависит от частоты вращения.

На рисунке 1 показан характер контакта лепесткового круга с зачищаемой поверхностью.

Из-за изменения диаметра лепесткового круга от частоты вращения особый интерес представляет характер контакта круга с обрабатываемой поверхностью. При этом изменение диаметра сопровождается деформацией круга в зоне контакта с изменением траектории движения лепестков [9–16].

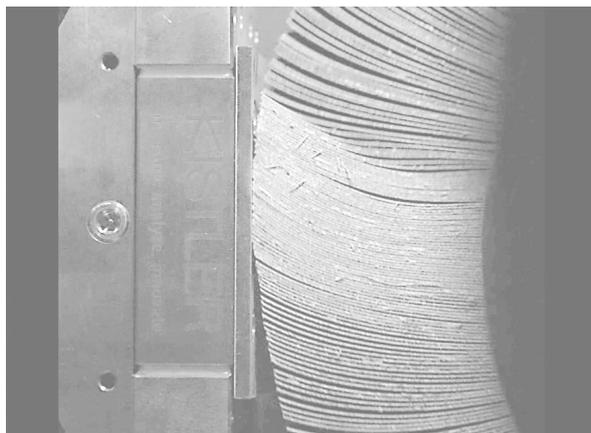


Рис. 1. Контакт лепесткового круга с обрабатываемой поверхностью

Fig. 1. Contact of the flap wheels with the treated surface

Таким образом, распрямившиеся под действием центробежных сил лепестки при вращении круга ударяются под острым углом об обрабатываемую поверхность, а затем по поверхности контакта скользят по прямой траектории. При этом в начале контакта лепестки деформируются до середины пятна контакта, а затем под действием центробежных сил и сил упругости начинают распрямляться [Стародубцева Д. А. Совершенствование процесса зачистки обводообразующих деталей после дробеударного формообразования : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 Иркутск, 2019]. Такой характер контакта круга приводит к тому, что давление лепестков по длине обработки постоянно меняется от наибольшего значения в начале контакта до минимального в конце. Так, на первом этапе контакта на поверхности образца происходит удар лепестка, далее действуют центробежные силы и силы инерции от изменения траектории движения, силы жесткости в результате деформации лепестков (при уменьшении расстояния между осью вращения и обрабатываемой поверхностью). При дальнейшем движении третий и четвертый факторы составляющей силы резания уменьшаются. При переходе линии центра вращения на поверхность контакта действуют только центробежные силы от вращения круга. Поскольку расстояние между осью вращения круга и поверхностью обработки увеличивается, то при определенных значениях скорости контакт круга с деталью может вовсе прекратиться. Если величина осадки значительна, лепестки круга сжимаются до постоянного контакта друг с другом, и тогда характер контакта существенно меняется. Лепестковый круг теряет свои уп-

ругие свойства и начинает работать как жесткий шлифовальный круг [17].

Всё вышеуказанное приводит к сложной картине формирования шероховатости поверхности в зоне зачистки, которая, в свою очередь, зависит еще и от технологических параметров, характеристик инструмента и физико-механических свойств материала обрабатываемой детали. Вышесказанное вызывает особый интерес к исследованию процесса зачистки и его технологическому совершенствованию [18, 19].

**Цель исследования** – анализ формирования шероховатости поверхности в зоне контакта лепесткового круга с обрабатываемой поверхностью детали из высокопрочного алюминиевого сплава для определения предпочтительного направления движения подачи.

#### **Формирование шероховатости поверхности в зоне контакта с лепестковым кругом**

Для обводообразующих деталей важнейшим параметром, определяющим качество поверхности, является шероховатость [20–24]. Для изучения процесса формирования шероховатости поверхности в зоне контакта с лепестками при зачистке абразивным лепестковым кругом были выполнены экспериментальные исследования с использованием образцов. В качестве образцов использовались пластины из высокопрочных алюминиевых сплавов, наиболее часто применяемых для изготовления деталей типа панелей и обшивок, – В95пчТ2В и 1163РДТВ. Размеры образцов составляли 110×110×5 мм.

Лепестковый круг КК751 Р80 диаметром 350 мм, зафиксированный на оправке, был установлен в шпинделе токарного станка модели GH-1880ZXJET, а образцы – в специальном приспособлении закреплены в резцедержателе станка. Наличие широкого диапазона частот и подач токарного станка существенно облегчило проведение опытных работ.

Для изучения характера формирования шероховатости поверхности по длине контакта с лепестковым кругом эксперименты выполнены без движения подачи с контролем величины прижима (осадки) круга к обрабатываемой поверхности при времени обработки 30 сек.

Для исследования и регистрации характера пятна контакта и контроля осадки круга при обработке использовалась высокоскоростная видеокамера модели Phantom v711.

Общий вид комплекса для исследований представлен на рисунке 2.

Шероховатость по длине контакта до и после зачистки оценивалась при помощи контактного профилометра модели Taylor Hobson Form Talysurf 200.

На рисунке 3, *a-d* показаны фотографии результатов обработки поверхности образцов в виде углублений и царапин.

Анализ результатов показал, что интенсивность обработки в значительной степени определяется частотой вращения круга. При этом интенсивность обработки по длине контакта существенно отличается. При частотах 870, 1400 и 1800 об/мин на участке от начала кон-

такта наблюдается зона интенсивной обработки (рис. 3, *b-d*), которая начинается от линии удара лепестков круга об обрабатываемую поверхность и заканчивается в зависимости от частоты вращения круга до или после проекции оси вращения круга на поверхность образца. На части образцов зона интенсивной обработки по длине контакта довольно резко заканчивается, переходя в отдельные царапины. Таким образом, характер воздействия лепестков круга с обрабатываемой поверхностью формирует профиль микронеровностей обрабатываемой поверхности детали [25].

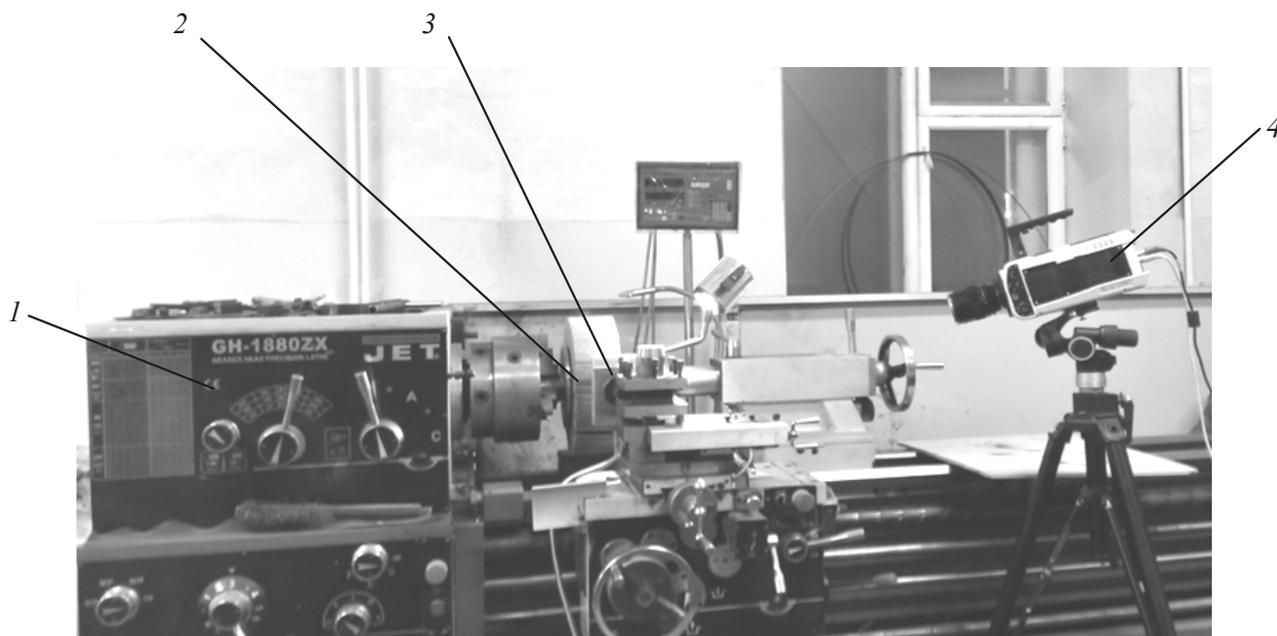


Рис. 2. Комплекс для исследования характера контактных процессов лепесткового круга с поверхностью детали на токарном станке: 1 – токарный станок модели GH-1880ZXJET; 2 – лепестковый круг; 3 – резцедержатель с образцом; 4 – видеокамера модели Phantom v711

Fig. 2. A complex for studying the nature of the contact processes of the flap: 1 - lathe model GH-1880ZX JET; 2 - flap wheels; 3 - tool holder with sample; 4 - video camera model Phantom v711

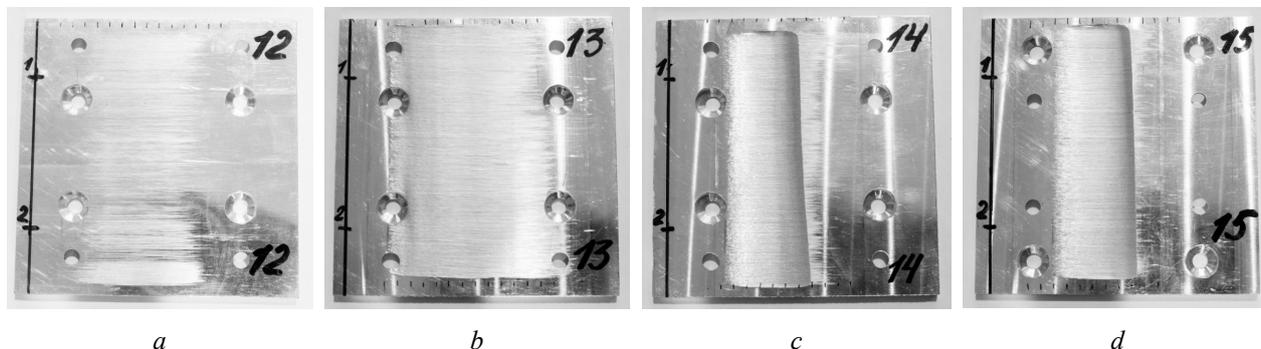
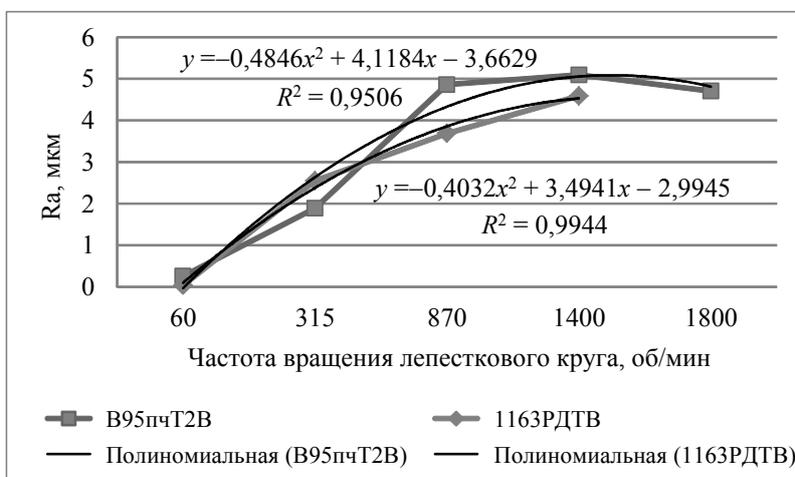


Рис. 3. Следы обработки на образцах из алюминиевого сплава В95пчТ2В при осадке 6 мм и частотах вращения: *a* – 315, *b* – 870, *c* – 1400, *d* – 1800 об/мин соответственно

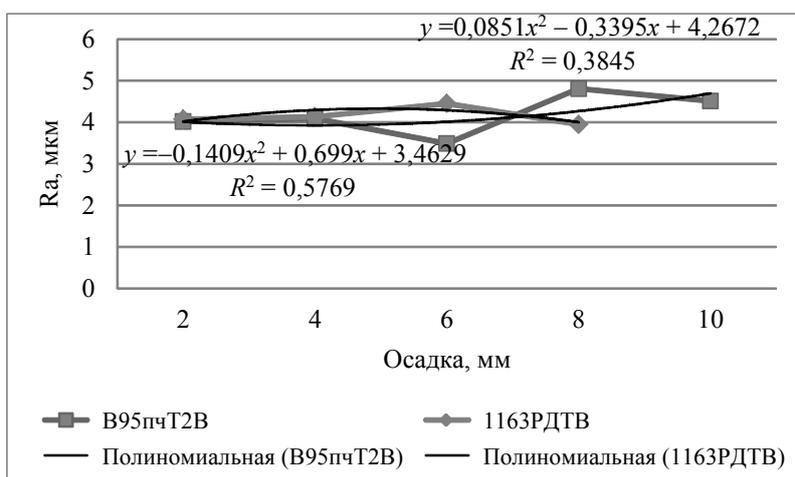
Fig. 3. Traces of processing on samples of aluminum alloy В95пчТ2В, draft 6 mm and speeds: *a* - 315, *b* - 870, *c* - 1400, *d* - 1800 rpm respectively

Результаты измерения шероховатости образцов на поверхности контакта круга с образцом в направлении, перпендикулярном направлению вращения круга, приведены на рисунках 4, а, b.

При выполнении графиков автоматически были рассчитаны уравнения регрессии, где  $y$  – значение шероховатости,  $R_a$ ;  $x$  – частота вращения круга.



a



b

Рис. 4. Зависимости изменения  $R_a$  поверхности пятна контакта: а – от частоты вращения круга при осадке 6 мм; b – величины осадки при скорости вращения круга 870 об/мин

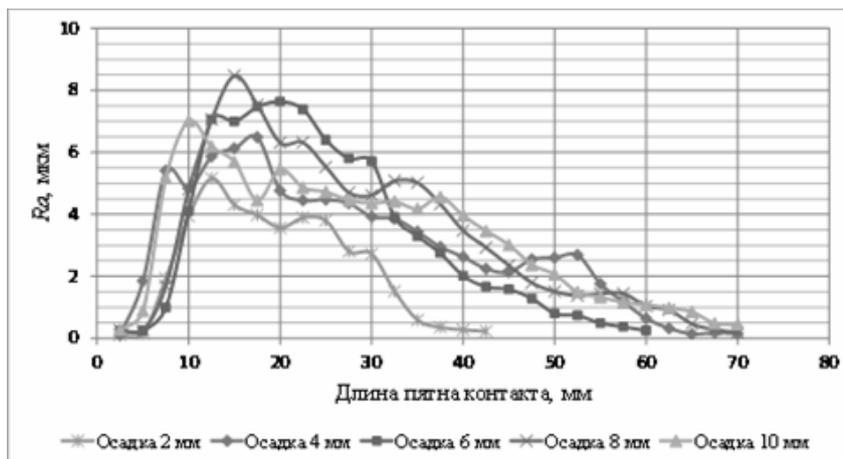
Fig. 4. Dependences of change  $R_a$  of the surface of the contact patch: a - on the frequency of rotation of the circle with a draft of 6 mm; b - from the amount of precipitation of the flap wheels speed of 870 rpm

Таким образом, данные рисунка 4, а показывают, что с увеличением частоты вращения лепесткового круга значение  $R_a$  возрастает до определенной величины, затем стабилизируется и далее остается постоянным. Это можно объяснить тем, что при увеличении скорости вращения лепесткового круга плотность прилегания лепестков к поверхности образца увеличивается вследствие роста центробежных сил, увеличивается и количество зерен, царапающих материал. Вследствие этого возрастает сьем металла, и практически полностью удаляются сле-

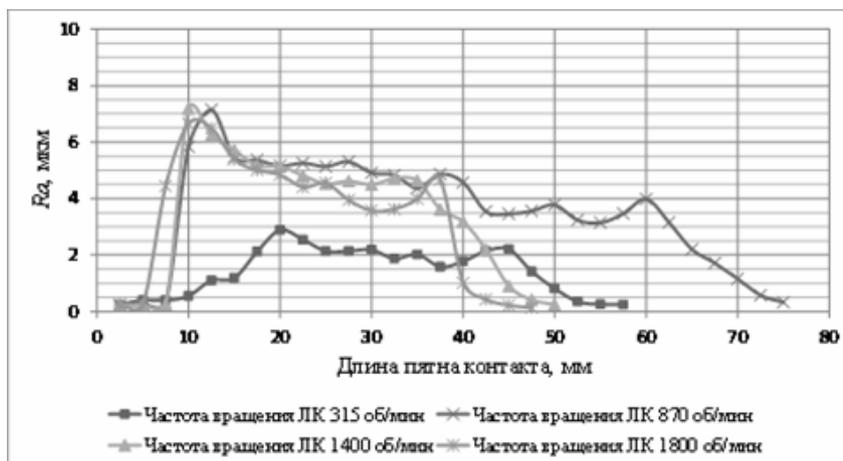
ды предшествующей обработки. Это касается обоих используемых материалов – В95пчТ2В и 1163РДТВ.

Зависимости параметра шероховатости  $R_a$  при постоянном значении частоты вращения и изменении величины осадки практически не изменяются (рис. 4, b). Из этого следует вывод о незначительном влиянии величины осадки на изменение шероховатости.

На рисунке 5 показан характер изменения шероховатости  $R_a$  по длине пятна контакта лепесткового круга с поверхностью обработки.



a



b

Рис. 5. Распределение значения Ra по длине пятна контакта лепесткового круга с поверхностью обработки: а – частота вращения 870 об/мин; б – осадка 6 мм

Fig. 5. The distribution of the Ra value along the length of the contact patch of the of the flap wheels with the processing surface: a - rotational speed of 870 rpm; b - draft 6 mm

Сравнение кривых достижимой шероховатости по поверхности контакта лепесткового круга с образцом показало, что величина шероховатости в пределах диапазона исследования скорости вращения круга от осадки практически не изменяется (рис. 5, а). При росте скорости вращения лепесткового круга достижимая шероховатость возрастает, но носит более постоянный характер (рис. 5, б).

Можно с высокой достоверностью утверждать, что значение достижимой шероховатости определяется прочностными свойствами обрабатываемого материала и режущими свойствами абразивного инструмента.

Полученные значения достижимой шероховатости по протяженности пятна контакта лепесткового круга позволяют утверждать, что направление подачи при зачистке, гарантирующее наименьшее значение полученной шероховато-

сти, должно совпадать с направлением линейной скорости круга на поверхности контакта с деталью. За счет этого происходит постоянное удаление области удара зерен о поверхность. То есть направление подачи должно быть попутным.

#### Попутная и встречная зачистка поверхности лепестковым кругом

Принято считать, что при попутном направлении движения при обработке движение подачи совпадает с направлением вращения инструмента, а при встречном – направление подачи противоположно направлению вращения инструмента, то есть при попутной зачистке направления подачи совпадает с направлением скольжения лепестков по поверхности детали, а при встречной зачистке – противоположно.

На рисунке 6, а, б представлены схемы встречной и попутной подачи при зачистке.

Для оценки фактического качества поверхности обшивки при попутной и встречной подаче при зачистке лепестковым кругом были выполнены дополнительные экспериментальные исследования в производственных условиях. Исследования проводились на установке УДФ-4 с применением рабочего органа, зачистной головки с лепестковым кругом КК751 Р80 диаметром 350 мм. Образцы для проведения опытов были изготовлены из алюминиевого сплава В95пчТ2В – из материала, что и ранее исследованные образцы. Частота вращения лепесткового круга была постоянна 1000 об/мин, продольная подача варьировалась от 1 до 3 м/мин.

На рисунке 7 показаны типичные результаты измерения шероховатости поверхности образцов на шести участках по длине обработки при попутной и встречной зачистке.

Результаты исследований показали, что независимо от зоны контакта и режимов обработки шероховатость поверхности при зачистке значительно улучшается при попутном направлении подачи по сравнению со встречным (рис. 7). При этом при малой величине подачи, следовательно, при увеличении времени обработки шероховатость поверхности в зоне контакта при попутной подаче снижается более чем в 2 раза, при дальнейшем увеличении подачи разница значений шероховатости сохраняется.

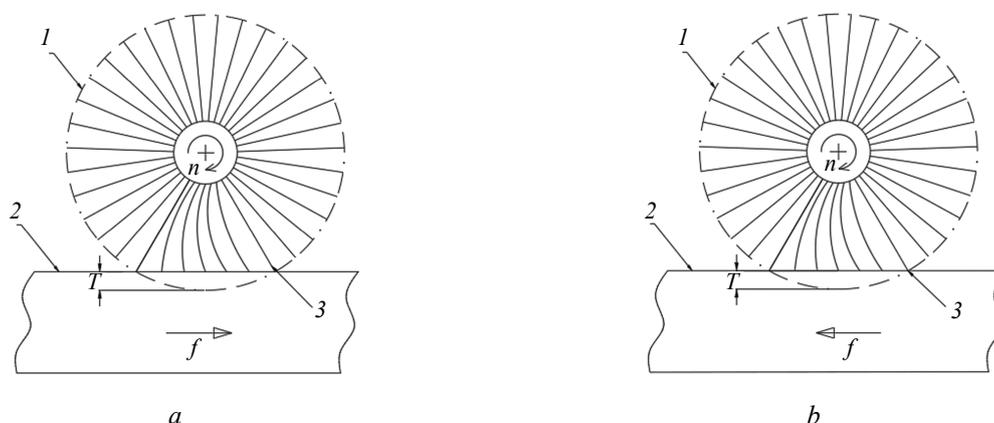
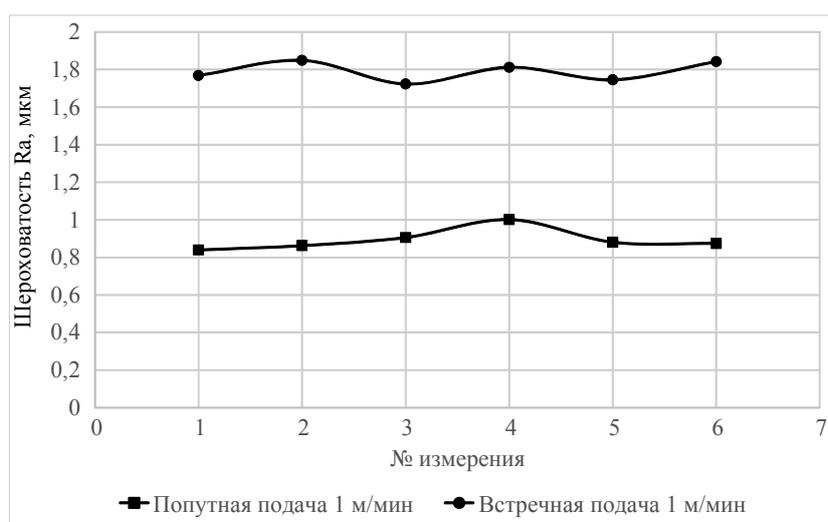


Рис. 6. Схема зачистки лепестковым кругом:  $a$  – встречное направление подачи;  $b$  – попутное направление подачи, где 1 – лепестковый круг; 2 – поверхность образца; 3 – лепестки в зоне начала контакта;  $n$  – направление вращения круга;  $f$  – направление подачи;  $T$  – осадка лепестков

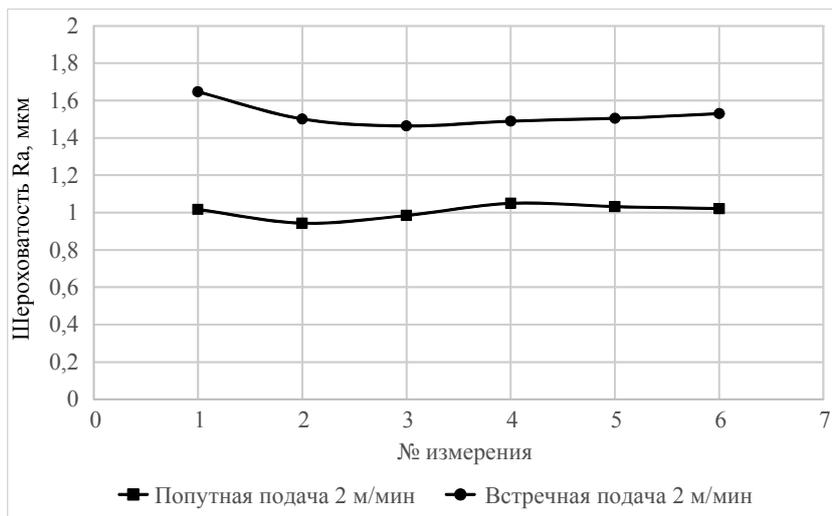
Fig. 6. Scheme of grinding with a flap wheels,  $a$  - opposite direction of delivery;  $b$  - passing direction of supply, where 1 - the flap wheels; 2 - the surface of the sample; 3 - the flaps in the zone of the beginning of contact;  $n$  - the direction of rotation of the flap wheels;  $f$  - the feed direction;  $T$  - the sediment of the flaps



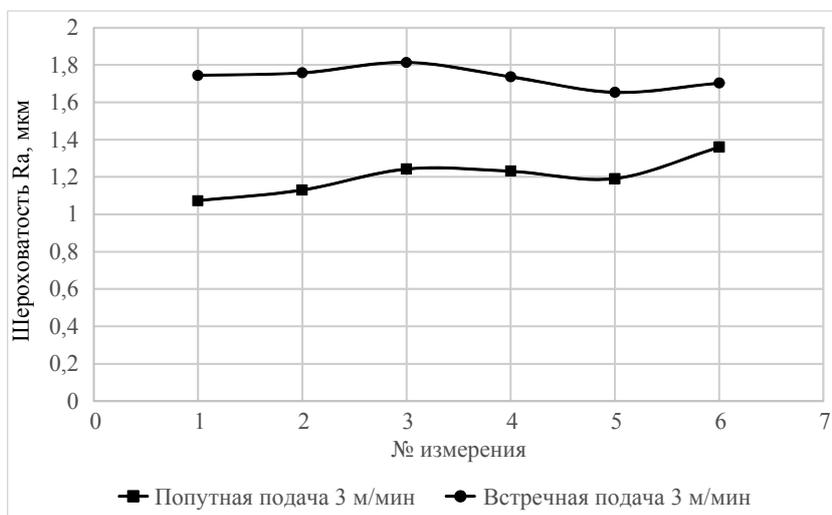
$a$

Рис. 7. Шероховатость поверхности образцов в зоне зачистки при попутной и встречной подаче:  $a$  – 1 м/мин

Fig. 7. Roughness of the surface of the samples in the grinding zone with passing and counter feed value:  $a$  - 1 м/мин



b



c

Рис. 7 (окончание): b – 2 м/мин; c – 3 м/мин

Fig. 7 (continued): b - 2 m/min; c - 3 m/min

### Выводы

Представленный в работе анализ формирования шероховатости поверхности в зоне контакта лепесткового круга необходим для дальнейшей разработки технологического процесса зачистки авиационных поверхностей панелей и обшивок по требуемым параметрам качества и производительности.

При зачистке лепестковым кругом с увеличением частоты вращения значение Ra возрастает до определенной величины, затем стабилизируется и далее остается примерно постоянным. Изменение величины осадки при постоянной частоте вращения лепесткового круга на величину шероховатости практически не влияет.

В результате выполненного анализа характера формирования шероховатости в процессе зачи-

стки можно сделать вывод, что наиболее предпочтительным вариантом зачистки поверхностей лепестковым кругом после дробеударного формообразования является зачистка с попутным направлением движением подачи при обработке, так как при попутном направлении зачистки качество поверхности детали значительно улучшается по сравнению со встречным направлением.

### Библиографические ссылки

1. Димов Ю. В. Обработка деталей эластичным инструментом : справочник. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. 484 с.
2. Подашев Д. Б. Финишная обработка деталей эластичными полимерно-абразивными инструментами: монография. Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. 246 с.

3. *Unyanin A.N., Khazov A.V.* Cutting ability of abrasive grains in the processing of billets of plastic materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019, Sevastopol, 09-13 September 2019. Sevastopol, Institute of Physics Publishing, 2020, p. 022054. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022054.
4. *Гордиенко А. В., Козулько Н. В.* Обработка деталей из полимерных композиционных материалов лепестковыми кругами различной зернистости под операцию склеивание // Технологии, инновации и предпринимательство : сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической междисциплинарной конференции (Санкт-Петербург, 31 мая 2017 г.). Санкт-Петербург : Профессиональная наука, 2017. С. 69–77.
5. *Козулько Н. В., Семиниченко К.В.* Исследование процесса окончательной абразивной обработки деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 1. С. 55–58.
6. *Lyukshin V.S., Shatko D.B., Strelnikov P.A.* Study of the working face of a flexible grinding too. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk (18-21 November 2019). Krasnoyarsk, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020, p. 12068. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012068.
7. *Евсеев Д. Г., Сальников А. Н.* Физические основы процесса шлифования. Саратов : Изд-во СГУ, 1978. 128 с.
8. *Гдалевич А. И.* Финишная обработка лепестковыми кругами. М. : Машиностроение, 1990. 112 с.
9. *Pereverzev P.P., Pimenov D.Yu.* A grinding force model allowing for dulling of abrasive wheel cutting grains in plunge cylindrical grinding. *Journal of Friction and Wear*, 2016, vol. 37, pp. 60-65. <https://doi.org/10.3103/S106836661601013X>.
10. *Baksa T., Adamek P., Hronek O., Zetek M.* Degradation of a grinding wheel when grinding cermet materials and its influence on the grinding process. *Manufacturing Technology*, 2019, vol. 19, pp. 9-13. <https://doi.org/10.21062/ujep/236.2019/a/1213-2489/MT/19/1/9>.
11. *Romanenko A., Shatko D., Strelnikov P., Nepogozhev A.* Study of the Influence of the Grinding Wheel Composition Components on Its Performance During ID Grinding. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2022, vol. 247, pp. 213-222. DOI: 10.1007/978-981-16-3844-2\_23.
12. *Непогожев А. А., Романенко А. М.* Программа по оценки влияния компонентов абразивного инструмента на среднюю температуру при шлифовании // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : сборник материалов II Международной научно-практической конференции (Кемерово, 03-04 октября 2018 г.). Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2018. С. 203–206.
13. *Unyanin A.N., Chistjakov W.S.* Analytical and Experimental Study of Grinding Forces with Flap Wheels. *Materials Research Proceedings* (Temryuk, 06-10 September 2021). Temryuk, 2022, pp. 194-198. DOI: 10.21741/9781644901755-34.
14. *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.
15. *Сапунов В. В., Евстигнеев А. Д., Чистяков В. С.* Исследование работоспособности лепестковых шлифовальных кругов при обработке заготовок из алюминиевых сплавов // Инновации в машиностроении (ИнМаш - 2021) : сборник трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Рахимянова Хариса Магсумановича (Новосибирск, 07–09 октября 2021 г.). Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2021. С. 112–118.
16. *Sapunov V., Vetkasov N., Khudobin L.* The study of the health of grinding wheels on a bakelite bunch, heat-treated in a microwave field. *Materials Today: Proceedings* (Sevastopol, 07-11 September 2020). Sevastopol, 2021, pp. 1711-1713. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.08.231.
17. *Koltsov V., Starodubtseva D.* Investigation of Traces of Interaction between Flap Wheel and Aluminum Alloy Plain Surface. *Procedia Engineering: International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017* (Saint-Petersburg, 16-19 мая 2017 г.). Saint-Petersburg, Elsevier Ltd, 2017, pp. 473-478. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.503.
18. *Паишков А. А., Паишков А. Е., Чанышев А. П.* Дробеударное формообразование обшивок двойной кривизны на дробеметных установках контактного типа с ЧПУ // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 23, №6. С. 34–47.
19. *Koltsov V.P., Le Tri Vinh, Starodubtseva D.A.* Formation of the surface roughness during grinding with flap wheels after shot peening. *MATEC Web of Conferences* (ICMTMTE 2018), 224, 01070. 2018. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822401070>.
20. *Козулько Н. В., Семиниченко К. В.* Параметры шероховатости поверхностей стеклопластиковых деталей, обработанных лепестковыми кругами различной зернистости под операцию склеивание // Высокие технологии и модернизация экономики: достижения и новые векторы развития : научные труды I Международной научно-практической конференции (Москва, 31 октября 2017 г.). М. : Профессиональная наука, 2017. С. 304–311.
21. *Шатько Д. Б., Люкшин В. С., Стрельников П. А.* Влияние формы и ориентации шлифовальных зерен на эксплуатационные характеристики инструментов на гибкой основе // Инновации в машиностроении : труды X Международной научно-практической конференции (Кемерово, 26–29 ноября 2019 г.). Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. С. 827–835.
22. *Lyukshin V.S., Shatko D.B., Strelnikov P.A.* Development of a technique for the study of the coated

abrasive surface wear. *Solid State Phenomena*, 2021, vol. 313, pp. 66-71. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.313.66.

23. Козулько Н. В. Механизация абразивной обработки деталей из полимерных композитных материалов под операцию склеивания // Вестник Донского государственного технического университета. 2018. Т. 18, № 2. С. 179–189. DOI: 10.23947/1992-5980-2018-18-2-179-189.

24. Lyukshin V.S., Shatko D.B., Strelnikov P.A. Study of the working face of a flexible grinding tool. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Krasnoyarsk, 18-21 November 2019). Krasnoyarsk, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020, p. 12068. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012068.

25. Пат. на изобретение РФ № 2759165. Способ обработки радиальным лепестковым кругом поверхности детали из алюминиевого сплава В95 / В. П. Кольцов, Д. А. Стародубцева, Ле Чи Винь, В. Б. Ракицкая, А. П. Чапышев, 2021.

### References

1. Dimov Yu.V. *Obrabotka detalej j elastichnym instrumentom* [Processing parts with an elastic tool]. Irkutsk, Irkutsk State Technical University Publ., 2013, 484 p. (in Russ.).

2. Podashev D.B. *Finishnaja obrabotka detalej j elastichnymi polimerno-abrazivnymi instrumentami: monografija* [Finishing of parts with elastic polymer-abrasive tools: monograph]. Irkutsk, Irkutsk State Technical University Publ., 2018, 246 p. (in Russ.).

3. Unyanin A.N., Khazov A.V. Cutting ability of abrasive grains in the processing of billets of plastic materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019, Sevastopol, 09-13 September 2019. Sevastopol, Institute of Physics Publishing, 2020, p. 022054. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022054.

4. Gordienko A.V., Kazulko N.V. *Obrabotka detalej iz polimernyh kompozicionnyh materialov lepestkovymi krugami razlichnoj zernistosti pod operaciju skleivanie* [Processing parts from polymer composite materials with petal circles of various grain sizes for the gluing operation]. *Tehnologii, innovacii i predprinimatel'stvo : sbornik nauchnyh trudov po materialam I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj mezhdisciplinarnoj konferencii (Sankt-Peterburg, 31 maja 2017 g.)* [Technology, innovation and entrepreneurship: a collection of scientific papers based on the materials of the I International Scientific and Practical Interdisciplinary Conference, St. Petersburg, May 31, 2017]. St. Petersburg, Professional Science Publ., 2017, pp. 69-77 (in Russ.).

5. Kazulko N.V., Seminichenko K.V. [Study of the process of final abrasive processing of parts from polymer composite materials (PCM)]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja*, 2019, no. 1, pp. 55-58 (in Russ.).

6. Lyukshin V.S., Shatko D.B., Strelnikov P.A. Study of the working face of a flexible grinding too. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,

Krasnoyarsk (18-21 November 2019). Krasnoyarsk, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020, p. 12068. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012068.

7. Evseev D.G., Salnikov A.N. *Fizicheskie osnovy processa shlifovanija* [Physical foundations of the grinding process]. Saratov, Saratov State University Publ., 1978, 128 p. (in Russ.).

8. Gdalevich A.I. *Finishnaja obrabotka lepestkovymi krugami* [Finishing with petal circles]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990, 112 p. (in Russ.).

9. Pereverzev P.P., Pimenov D.Yu. A grinding force model allowing for dulling of abrasive wheel cutting grains in plunge cylindrical grinding. *Journal of Friction and Wear*, 2016, vol. 37, pp. 60-65. <https://doi.org/10.3103/S106836661601013X>.

10. Baksa T., Adamek P., Hronek O., Zetek M. Degradation of a grinding wheel when grinding cermet materials and its influence on the grinding process. *Manufacturing Technology*, 2019, vol. 19, pp. 9-13. <https://doi.org/10.21062/ujep/236.2019/a/1213-2489/MT/19/1/9>.

11. Romanenko A., Shatko D., Strelnikov P., Nepogozhev A. Study of the Influence of the Grinding Wheel Composition Components on Its Performance During ID Grinding. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2022, vol. 247, pp. 213-222. DOI: 10.1007/978-981-16-3844-2\_23.

12. Nepogozhev A.A., Romanenko A.M. *Programma ocenki vlijaniya komponentov abrazivnogo instrumenta na srednjuju temperaturu pri shlifovanii* [The program for assessing the influence of abrasive tool components on the average temperature during grinding]. *Innovacii v informacionnyh tehnologijah, mashinostroenii i avto-transporte : sbornik materialov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Kemerovo, 03-04 oktjabrja 2018 g.)* [Innovations in information technology, mechanical engineering and motor transport: Proc. of the II International scientific and practical conference, Kemerovo, October 03-04, 2018]. Kemerovo, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev Publ., 2018, pp. 203-206 (in Russ.).

13. Unyanin A.N., Chistjakov W.S. Analytical and Experimental Study of Grinding Forces with Flap Wheels. *Materials Research Proceedings (Temryuk, 06-10 September 2021)*. Temryuk, 2022, pp. 194-198. DOI: 10.21741/9781644901755-34.

14. 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'jattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, no. 2, pp. 47-52. DOI: 10.18323/2073-5073-2018-2-47-52 (in Russ.).

15. Sapunov V.V., Evstigneev A.D., Chistyakov V.S. *Issledovanie rabotosposobnosti lepestkovyh shlifoval'nyh krugov pri obrabotke zagotovok iz aljuminievyh splavov* [Study of the performance of flap grinding wheels when processing aluminum alloy workpieces]. *Innovacii v mashinostroenii (InMash - 2021): sbornik trudov XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj pamjati doktora tehniceskikh nauk, profesora Rahimjanova Harisa Magsumanovicha (Novosibirsk,*

07–09 oktjabrja 2021 g.) Innovations in mechanical engineering (InMash – 2021): Proc. of the XII International scientific and practical conference dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, Professor Rakhimyanov Haris Magsumanovich, Novosibirsk, October 07-09, 2021). Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University Publ., 2021, pp. 112-118 (in Russ.).

16. Sapunov V., Vetkasov N., Khudobin L. The study of the health of grinding wheels on a bakelite bunch, heat-treated in a microwave field. Materials Today: Proceedings (Sevastopol, 07-11 September 2020). Sevastopol, 2021, pp. 1711-1713. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.08.231.

17. Koltsov V.P., Starodubtseva D.A. Investigation of Traces of Interaction between Flap Wheel and Aluminum Alloy Plain Surface. Procedia Engineering: International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017 (Saint-Petersburg, 16-19 мая 2017 г.). Saint-Petersburg, Elsevier Ltd, 2017, pp. 473-478. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.503.

18. Pashkov A.A., Pashkov A.E., Chapyshev A.P. [Shot-impact shaping of double-curvature skins on contact-type shot blasting machines with CNC]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2018, vol. 23, no. 6, pp. 34-47 (in Russ.).

19. Koltsov V.P., Vinh Le Tri, Starodubtseva D.A. Formation of the surface roughness during grinding with flap wheels after shot peening. MATEC Web of Conferences (ICMTMTE 2018), 224, 01070. 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822401070>.

20. Kazulko N.V., Seminichenko K.V. *Parametry sherohovatosti poverhnostej stekloplastikovykh detalej, obrabotannykh lepestkovymi krugami razlichnoj zernistosti pod operaciju skleivanie* [Surface roughness parameters of fiberglass parts treated with flap wheels of various grain sizes for the gluing operation]. *Vysokie tehnologii i modernizacija jekonomiki: dostizhenija i novye vektory razvitija : nauchnye trudy I Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii (Moskva, 31 oktjabrja 2017 g.)* [High technologies and modernization of the economy:

achievements and new vectors of development: Proc. of the I International Scientific and Practical Conference, Moscow, October 31, 2017). Moscow, Professional'naja nauka Publ., 2017, pp. 304-311 (in Russ.).

21. Shatko D.B., Lyukshin V.S., Strelnikov P.A. *Vlijanie formy i orientacii shlifoval'nyh zeren na jekspluatacionnye harakteristiki instrumentov na gibkoj osnove* [Influence of the shape and orientation of grinding grains on the performance of tools on a flexible basi]. *Innovacii v mashinostroenii : trudy X Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencija (Kemerovo, 26–29 nojabrja 2019 g.)* [Innovations in mechanical engineering: Proc. of the X International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, November 26-29, 2019)]. Kemerovo, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev Publ, 2019, pp. 827-835 (in Russ.).

22. Lyukshin V.S., Shatko D.B., Strelnikov P.A. Development of a technique for the study of the coated abrasive surface wear. *Solid State Phenomena*, 2021, vol. 313, pp. 66-71. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.313.66.

23. Kozulko N.V. [Mechanization of abrasive processing of parts made of polymer composite materials for gluing operation]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 179-189 (in Russ.). DOI: 10.23947/1992-5980-2018-18-2-179-189.

24. Lyukshin V.S., Shatko D.B., Strelnikov P.A. Study of the working face of a flexible grinding tool. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Krasnoyarsk, 18-21 November 2019). Krasnoyarsk, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020, p. 12068. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012068.

25. Koltsov V.P., Starodubtseva D.A., Vinh Le Tri, Rakitskaya V.B., Chapyshev A.P. *Sposob obrabotki radial'nym lepestkovym krugom poverhnosti detali iz aljuminievogo splava V95* [Method for processing the surface of a part made of aluminum alloy B95]. Pat. for the invention of the Russian Federation, no. 2759165, 2021 (in Russ.).

## Features of Machine Grinding of Surfaces with a Flap Wheel

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

V.P. Koltsov, DSc in Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Le Tri Vinh, PhD in Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

E.V. Tardybaeva, PhD in Philology, Baikal State University, Irkutsk, Russia

*In order to obtain the necessary shape of long panels and sheaths, the aircraft industry successfully uses a complex technology of shaping. Grinding, as an operation in a complex technological process, is provided after the operation of shot-peen forming before hardening. It is designed to ensure that the roughness and final aerodynamic shape of the surface meet the requirements established by the drawing of the part.*

*To implement this technology, a special installation UDF-4 (shot-impact forming unit) was designed and manufactured at the Irkutsk National Research Technical University. The version of this installation was equipped with a CNC system and a revolver stripping head with 4-flap wheels. The possibility of choosing the necessary flap wheels in the process of grinding, depending on the curvature and width of the treated surface, significantly expanded the technological capabilities of the installation.*

*The elastic abrasive flap wheels of a straight profile used in production have proven themselves well both in terms of grinding performance and tool durability. However, practice has shown that due to the complex impact of abrasive petals during contact with the treated surface, a special zone of uneven impact along the length of the contact of the petals is formed during grinding. The results of experimental studies have shown that the roughness of the treated*

*surface is significantly improved when the direction of movement of the flap wheels feed in the contact zone is changed from oncoming to passing.*

*The paper presents experimental data on studies of changes in surface roughness in the contact zone with the abrasive flap wheels during grinding, depending on the processing modes, as well as the results of an experimental study of the quality of the treated surface with counter and passing feed.*

**Keywords:** grinding, flap wheels, surface roughness, counter feed during grinding, passing feed during grinding, contact zone of the flap wheels with the surface.

Получено 16.03.2022

#### Образец цитирования

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.

#### For Citation

Starodubtseva D.A., Koltsov V.P., Vinh Le Tri, Tardybaeva E.V. [Features of Machine Grinding of Surfaces 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.