

---

DOI: 10.53078/20778481\_2022\_3\_30

УДК 621.75

*Е. В. Ильюшина, Н. М. Юшкевич*

---

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПНЕВМОУДАРОМ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАГОТОВОК**

---

*E. V. Ilyushina, N. M. Yushkevich*

**RESEARCH ON TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES FOR STRENGTHENING TREATMENT OF FLAT SURFACES OF ALUMINUM BILLETS BY PNEUMATIC IMPACT**

---

**Аннотация**

Приведены исследования технологических возможностей инструмента для упрочняющей обработки алюминиевых заготовок пневмоударом. Исследовано влияние подачи инструмента, давления сжатого воздуха и величины зазора между инструментом и заготовкой на шероховатость обработанной поверхности.

**Ключевые слова:**

упрочнение поверхности, упрочняющая обработка пневмоударом, шероховатость, наклеп, алюминиевые деформируемые заготовки.

**Для цитирования:**

Ильюшина, Е. В. Исследование технологических возможностей упрочняющей обработки пневмоударом плоских поверхностей алюминиевых заготовок / Е. В. Ильюшина, Н. М. Юшкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 3 (76). – С. 30–41.

**Abstract**

Technological possibilities of the tool for strengthening treatment of aluminum billets by pneumatic impact are presented. The effect of tool feed, compressed air pressure and size of the gap between the tool and a billet on roughness of the treated surface has been studied.

**Keywords:**

surface strengthening, strengthening treatment with pneumatic impact, roughness, aluminum deformable billets.

**For citation:**

Ilyushina, E. V. Research on technological possibilities for strengthening treatment of flat surfaces of aluminum billets by pneumatic impact / E. V. Ilyushina, N. M. Yushkevich // The Belarusian-Russian university herald. – 2022. – № 3 (76). – P. 30–41.

---

**Введение**

Заготовки из алюминиевых сплавов характеризуются высокой удельной прочностью, тепло- и электропроводностью, коррозионной стойкостью, однако требуют повышения износостойкости и твердости поверхностного слоя. Про-

блема улучшения качества обработки плоских поверхностей из алюминиевых сплавов актуальна и может быть решена с использованием различных технологий в области машиностроения. Применение для этих целей, например, лазерной обработки [1] обеспечивает повышение микротвердости и абразивной

износостойкости поверхности, однако связано с большими финансовыми затратами.

Использование для обработки алюминиевых сплавов различных методов поверхностного пластического деформирования для упрочнения поверхностного слоя показало хорошие результаты, не уступающие упрочнению сталей [2, 3]. При этом упрочняющая пневмоударная обработка [4] открывает широкие возможности для улучшения эксплуатационных свойств поверхностей плоских алюминиевых заготовок, например, стола каретки деревообрабатывающего станка с целью повышения его износостойкости. Силы деформирования исходного микрорельефа пневмоударом весьма малы, что имеет существенное значение во избежание коробления при обработке неравно жёсткой заготовки стола каретки. Использование упрочняющей пневмоударной обработки позволит снизить шероховатость, повысить микротвердость и улучшить эксплуатационные характеристики поверхности.

Имеющиеся на сегодняшний день наработки в области обработки плоских поверхностей пневмоударом показали, что возможности обработки алюминиевых заготовок практически не исследованы.

### ***Инструмент для упрочняющей обработки пневмоударом***

Технология обработки плоских алюминиевых заготовок упрочняющей пневмоударной обработкой заключается в тонком деформировании поверхностного слоя посредством вибрационного ударного воздействия на поверхность деформирующих шаров 7, приводимых в движение шарами 6. Конструктивная схема и экспериментальный образец

инструмента для упрочняющей обработки пневмоударом плоских поверхностей представлены на рис. 1 [5]. Движение приводящих шаров 6 происходит вместе с диском 3, который получает вращение под действием струй сжатого воздуха, подводимого к инструменту через отверстие в штуцере 5. Воздух проходит через сопла и попадает на лопатки 4 диска 3, приводя его во вращение. Инструмент оснащен полым валом 1 для автономной подачи воздуха непосредственно к шарам 6 и 7, что позволяет значительно расширить возможности обработки. Подавая воздух к шарам 7, можно ускорять и замедлять их скорость вращения, охлаждать зону обработки и очищать обрабатываемую поверхность. Регулируя подачу воздуха к шарам 6, можно увеличивать силу прижима приводящих шаров к деформирующим шарам 7, влияя тем самым на глубину лунок, оставляемых шарами на обрабатываемой поверхности. Плотность распределения лунок по поверхности и их глубина оказывают влияние на маслостойкость и микротвердость поверхностного слоя.

Апробация инструмента проводилась на плоских заготовках из алюминиевого сплава Д16. Исследования работы инструмента показали, что инструмент наносит удары по обрабатываемой поверхности, на заготовке видны следы упрочнения и образования нового микрорельефа поверхности. Шероховатость поверхности в сравнении с исходной изменяется. Для выявления технологических возможностей инструмента для упрочняющей обработки пневмоударом плоских поверхностей алюминиевых заготовок необходимо проведение ряда экспериментальных исследований.

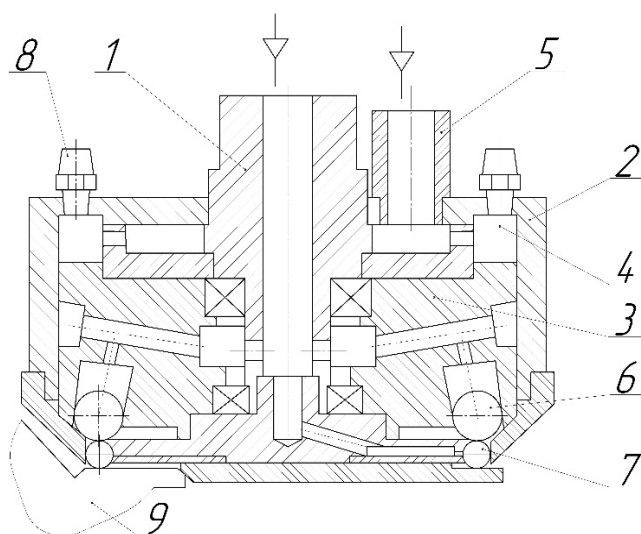


Рис. 1. Конструкция инструмента для упрочняющей обработки пневмоударом плоских поверхностей: 1 – полый вал; 2 – корпус; 3 – диск; 4 – лопатки; 5 – штуцер; 6 – приводящие шары; 7 – деформирующие шары; 8 – пневмоглушители; 9 – заготовка

**Исследование влияния режимов упрочняющей обработки пневмоударом на шероховатость обработанной поверхности алюминиевых заготовок**

Исследования проводились на заготовках из алюминиевого сплава Д16 (длина 500 мм, ширина 90 мм, высота 20 мм) по двум вариантам обработки. В первом варианте исходная поверхность предварительно обработана шлифованием ( $Ra_{исх} = 0,55...0,75$  мкм), а во втором варианте – фрезерованием ( $Ra_{исх} = 2,70...3,00$  мкм). Обработку проводили на вертикально-фрезерном станке JET. В качестве параметров, которые варьировались в процессе исследований, выбраны:

- давление сжатого воздуха  $P$ , подводимое к инструменту, МПа;
- подача стола станка  $S$  с закрепленной на нем заготовкой, мм/мин;
- зазор  $h$  между основанием инструмента и плоскостью обрабатываемой поверхности, мм.

Значение подачи стола станка варьировали в диапазоне от 80

до 420 мм/мин. Выставлять значение подачи менее 80 мм/мин нецелесообразно, т. к. обработка пневмоударом становится малопродуктивной, а при подачах больше 420 мм/мин плотность распределения лунок на обрабатываемой поверхности снижается до 15 %...30 %. Выставляемые на станке подачи не случайны, а обусловлены возможностями оборудования (стандартный ряд подач на вертикально-фрезерном станке JET).

Параметр давления сжатого воздуха, подаваемого в осевую полость инструмента для обработки ПВДО, варьировали в диапазоне от 0,05 до 0,12 МПа. При давлении менее 0,05 МПа шары в инструменте не приводятся во вращение, а максимум задаваемой величины давления обусловлен возможностями компрессорной станции ВК25Т-8-500Д.

Величину зазора между основанием инструмента и плоскостью обрабатываемой поверхности варьировали в диапазоне от 0,5 до 1,4 мм, что обусловлено конструктивными возможностями инструмента, в котором при величине зазора 1,6 мм деформирующие шары не касаются обрабатываемой поверхности.

Получена экспериментальная зависимость шероховатости обработанной поверхности от давления сжатого воздуха, которая показала, что на фрезерованной поверхности после пневмоударной обработки шероховатость снижается

примерно в 2 раза в сравнении с исходной и составляет  $Ra = 1,50 \dots 1,90$  мкм. Установлено, что с увеличением давления сжатого воздуха, подводимого к инструменту, параметр шероховатости поверхности  $Ra$  снижается (рис. 2).

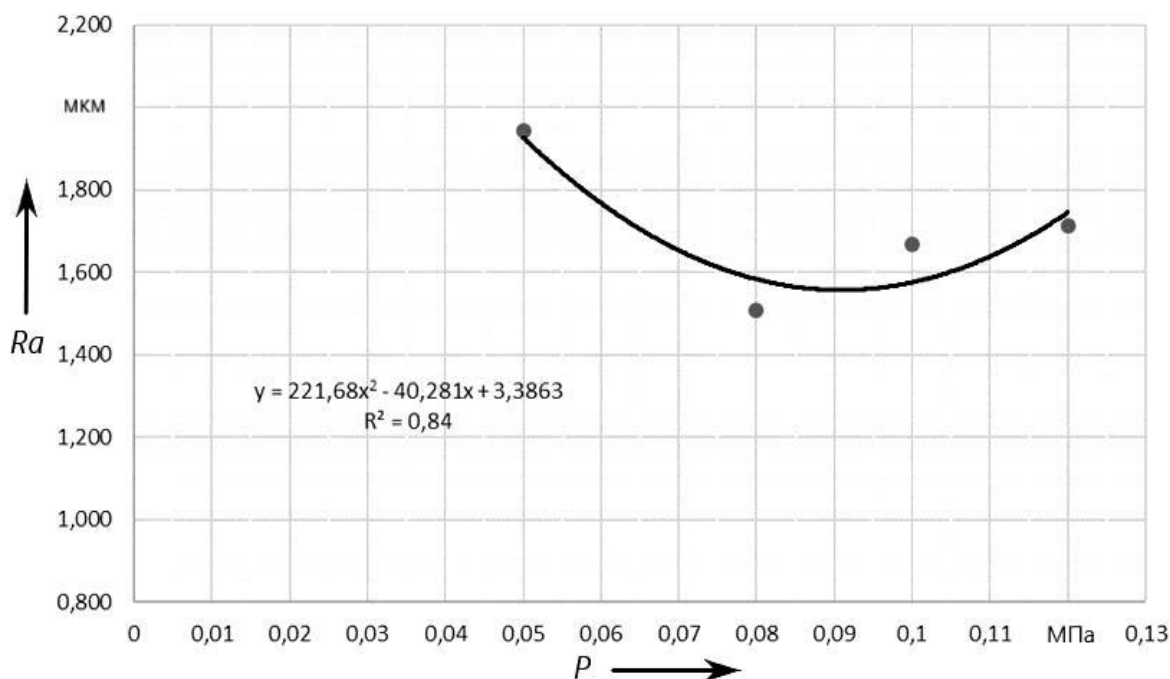


Рис. 2. График зависимости шероховатости обработанной пневмоударом фрезерованной поверхности от давления сжатого воздуха ( $S = 272$  мм/мин,  $h = 1$  мм)

Получена экспериментальная зависимость шероховатости обработанной поверхности от давления сжатого воздуха, которая показала, что после упрочняющей пневмоударной обработки шлифованной поверхности шероховатость увеличивается примерно в 2 раза в сравнении с исходной и составляет  $Ra = 0,95 \dots 1,60$  мкм. Установлено, что с увеличением давления сжатого воздуха, подводимого к инструменту, параметр шероховатости поверхности  $Ra$  возрастает (рис. 3).

Получена экспериментальная зависимость шероховатости обработанной поверхности от подачи, которая показала,

что после упрочняющей пневмоударной обработки шлифованной поверхности шероховатость увеличивается примерно в 2 раза в сравнении с исходной и составляет  $Ra = 0,90 \dots 1,60$  мкм. Установлено, что с увеличением минутной подачи инструмента параметр шероховатости поверхности  $Ra$  возрастает (рис. 4).

Получена экспериментальная зависимость шероховатости обработанной поверхности от подачи, которая показала, что после упрочняющей пневмоударной обработки фрезерованной поверхности шероховатость снижается примерно в 2 раза в сравнении с исходной и со-

ставляет  $Ra = 1,30 \dots 1,60$  мкм. Установлено, что с увеличением подачи пара-

метр шероховатости поверхности  $Ra$  возрастает (рис. 5).

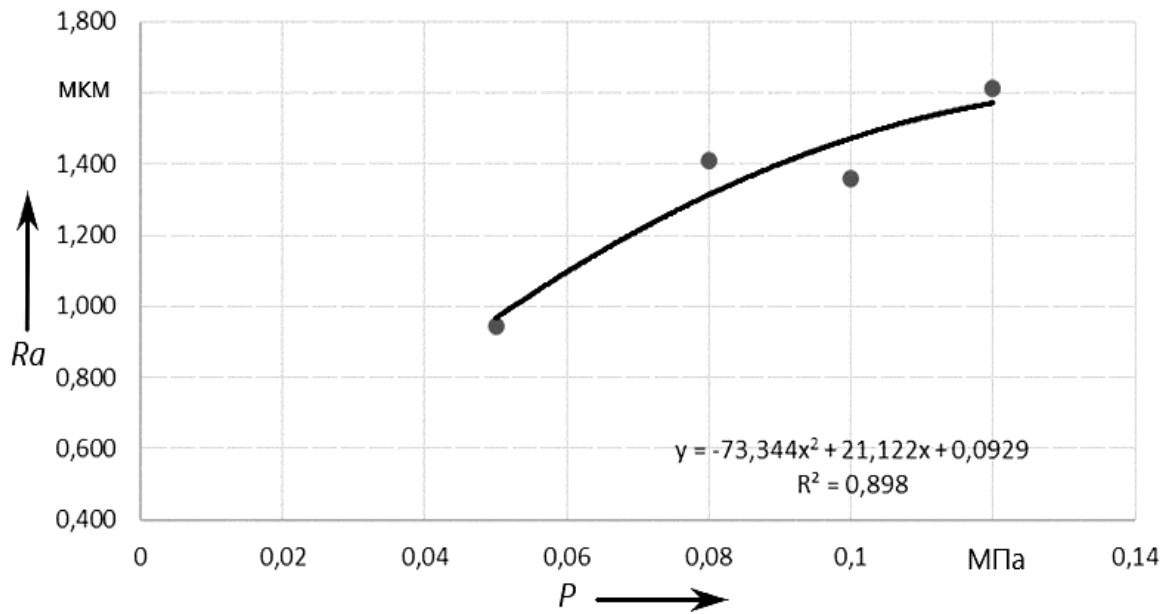


Рис. 3. График зависимости шероховатости обработанной пневмоударом шлифованной поверхности от давления сжатого воздуха ( $S = 272$  мм/мин,  $h = 1,4$  мм)

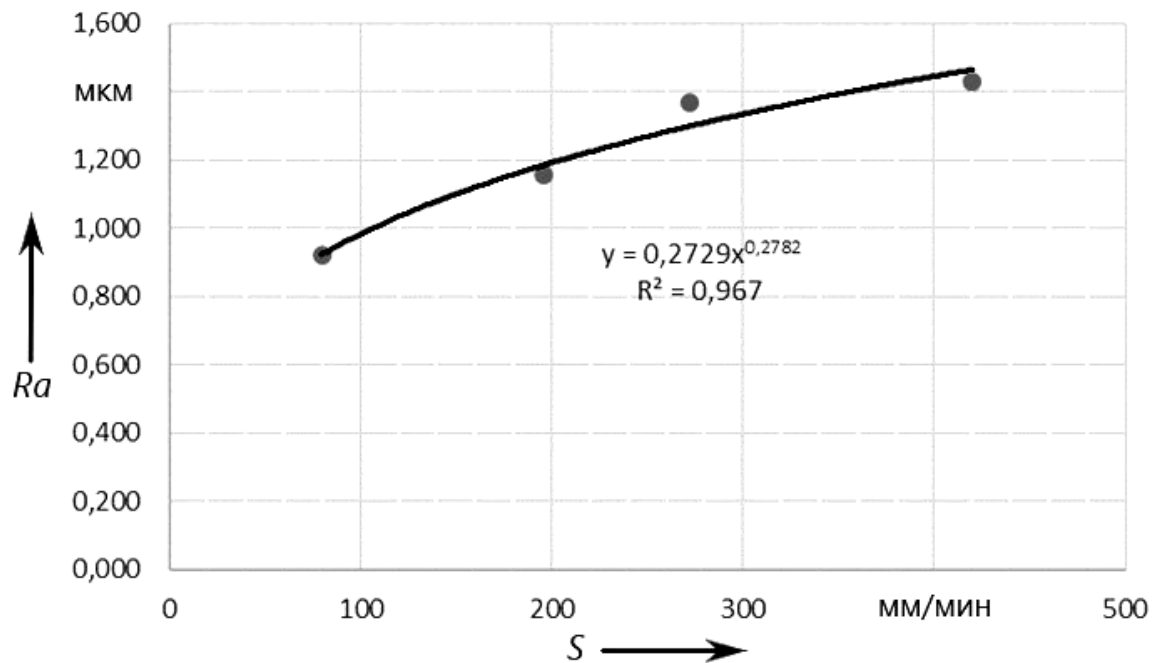


Рис. 4. График зависимости шероховатости обработанной пневмоударом шлифованной поверхности от подачи ( $P = 0,08$  МПа,  $h = 0,5$  мм)

Получена экспериментальная зависимость шероховатости обработанной поверхности от зазора  $h$  между основанием инструмента и плоскостью обрабатываемой поверхности. После упроч-

няющей пневмоударной обработки шлифованной поверхности установлено, что с увеличением зазора параметр шероховатости поверхности  $Ra$  немного возрастает (рис. 6).

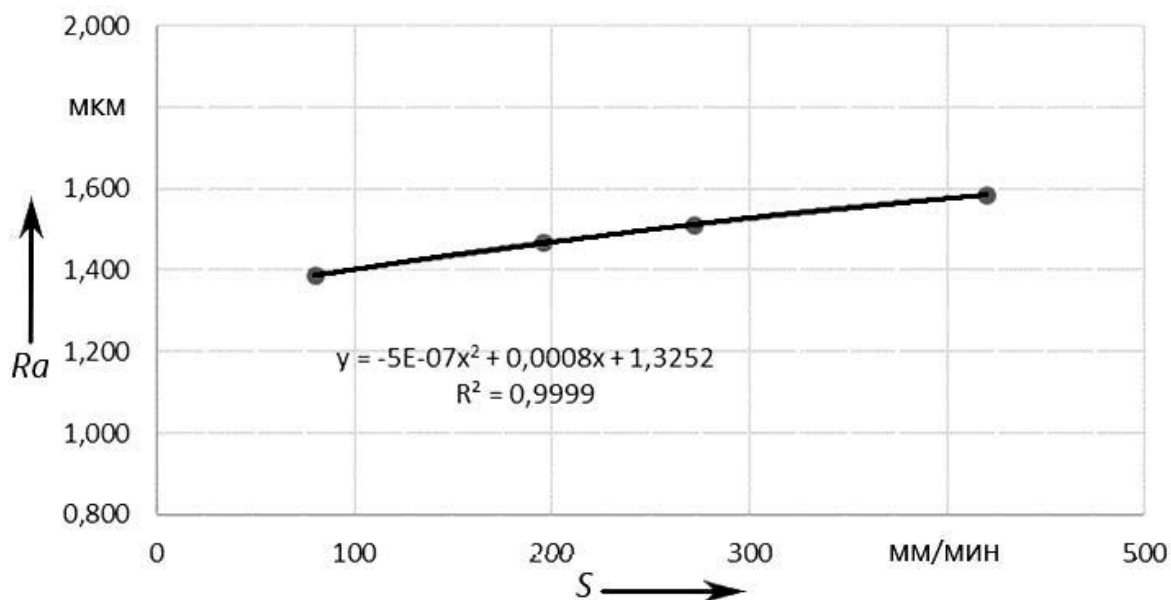


Рис. 5. График зависимости шероховатости обработанной пневмоударом фрезерованной поверхности от подачи ( $P = 0,08$  МПа,  $h = 1,4$  мм)

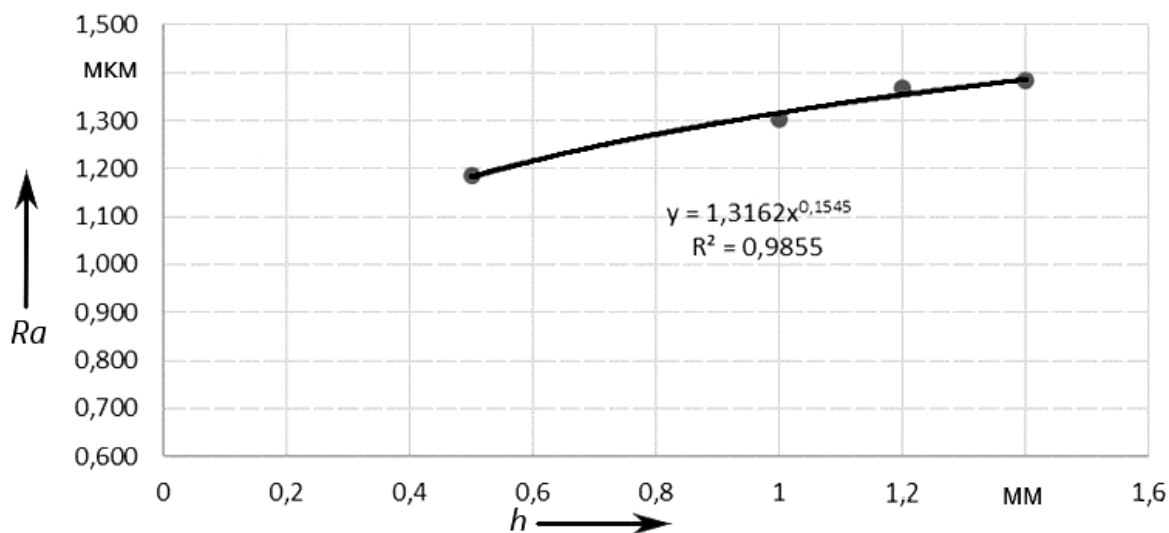


Рис. 6. График зависимости шероховатости обработанной пневмоударом шлифованной поверхности от зазора ( $S = 272$  мм/мин,  $P = 0,08$  МПа)

Получена экспериментальная зависимость шероховатости обработанной поверхности от зазора  $h$  между основанием инструмента и плоскостью обрабатываемой поверхности. После упрочняющей пневмоударной обработки фрезерованной поверхности установлено, что с увеличением зазора параметр шероховатости поверхности  $Ra$  практически не изменяется (рис. 7).

Проведенные исследования показали, что в результате упрочняющей

пневмоударной обработки на поверхности образуется новый нерегулярный микрорельеф в виде непрерывно расположенных микролунок, основными параметрами которого являются глубина микроуглублений и их шаг (плотность распределения). При этом с увеличением подачи плотность распределения лунок на поверхности уменьшается, использование подачи более 272 мм/мин нежелательно, т. к. на поверхности остаются необработанные участки.

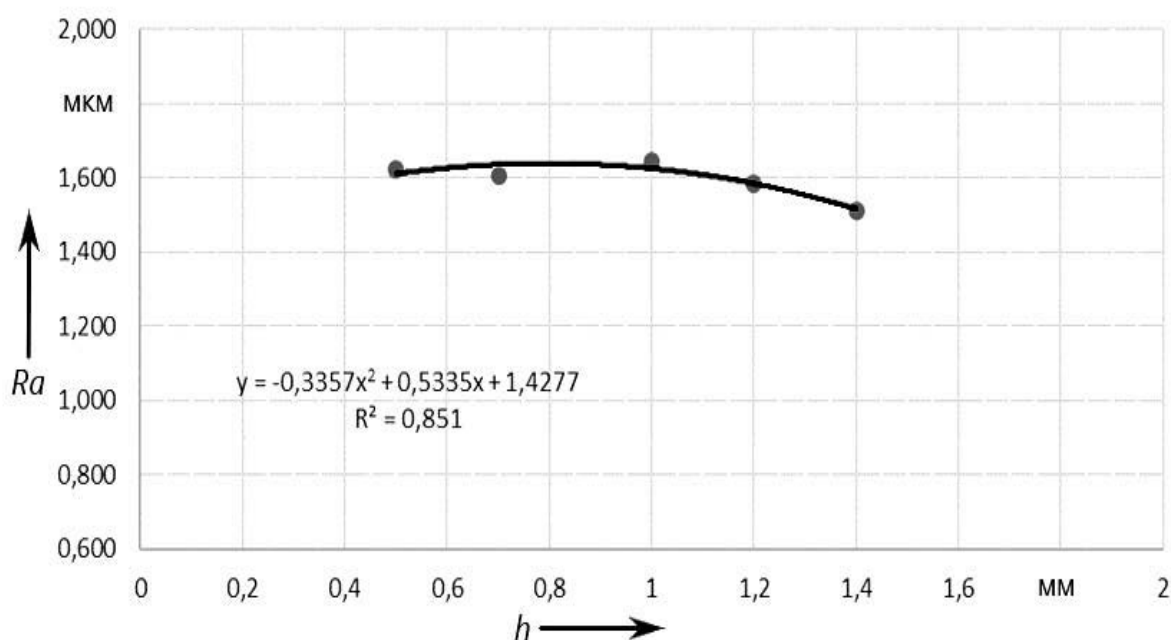


Рис. 7. График зависимости шероховатости обработанной ПВДО фрезерованной поверхности от зазора ( $S = 272$  мм/мин,  $P = 0,08$  МПа)

В процессе анализа полученных экспериментальных зависимостей можно рекомендовать для обработки алюминиевых заготовок оптимальные режимы: подача  $S = 80 \dots 272$  мм/мин, давление сжатого воздуха  $P = 0,08 \dots 0,1$  МПа, величина зазора между основанием инструмента и плоскостью обрабатываемой поверхности  $h = 1 \dots 1,4$  мм. Меньшие значения зазора брать не рекомендуется, так глубина лунки получается незначительной.

### **Исследование параметров шероховатости поверхности алюминиевых заготовок после упрочняющей обработки пневмоударом**

Эксплуатационные характеристики плоской поверхности, обработанной пневмоударной обработкой, зависят от качества поверхностного слоя, полученного в процессе.

Поверхностный слой имеет отли-

чительную от основного металла структуру, новый фазовый и химический состав. На формирование поверхностного слоя в большей степени оказывают влияние финишные операции обработки и технологическая наследственность.

Сделать вывод об эксплуатационных свойствах поверхностного слоя на основании какого-то единственного параметра невозможно, т. к. только совокупность единичных и комплексных показателей качества может дать полную картину, позволяющую судить о качестве поверхности детали.

Для оценки показателей качества поверхностного слоя используют геометрические и физико-механические параметры, которые хорошо изучены и описаны в [6–8]. На повышение износостойкости поверхности влияют среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$ , относительная опорная длина профиля  $tp$  (ГОСТ 2789–73), а также высота пиков профиля  $Rp$  (DIN EN ISO 13565:1998). При этом глубина и степень упрочнения, сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое и микротвердость также весьма важны.

Оценка качества поверхности

заготовок, обработанных упрочняющей пневмоударной обработкой, проведена в соответствии со стандартами [9, 10]. Параметры шероховатости обработанной поверхности заготовок измеряли с использованием профилометра Surf-test SJ-210 Mitutoyo.

Были получены и исследованы следующие параметры:

- центральная высота микронеровностей  $R_k$  или глубина профиля сердцевинной шероховатости;
- ограниченная высота пиков  $R_{Pk}$ , представляет собой долю пиков, выступающих из основного материала;
- ограниченная глубина впадин  $R_{Vk}$ , обозначает долю впадин, проникающих из основного профиля в материал;
- сумма параметров  $R_{Pk} + R_k$ , характеризует износостойкость рабочей поверхности.

Исходные параметры алюминиевых заготовок для последующей упрочняющей пневмоударной обработки приведены в табл. 1. Профилограммы исходных поверхностей представлены на рис. 8.

Табл. 1. Параметры шероховатости алюминиевой поверхности после шлифования и фрезерования

| Метод получения исходной поверхности | $Ra$ , мкм | $Rz$ , мкм | $R_{Pk}$ , мкм | $R_k$ , мкм | $R_{Vk}$ , мкм | $R_{Pk} + R_k$ , мкм |
|--------------------------------------|------------|------------|----------------|-------------|----------------|----------------------|
| Шлифование                           | 0,704      | 4,586      | 1,361          | 3,206       | 1,071          | 4,567                |
| Шлифование                           | 0,693      | 4,327      | 1,287          | 2,903       | 1,229          | 4,190                |
| Шлифование                           | 0,691      | 4,099      | 1,206          | 3,059       | 0,780          | 4,265                |
| Шлифование                           | 0,576      | 3,707      | 1,166          | 2,661       | 0,595          | 3,827                |
| Фрезерование                         | 2,698      | 12,029     | 2,311          | 8,841       | 0,720          | 11,152               |
| Фрезерование                         | 2,897      | 13,111     | 3,162          | 8,773       | 0,921          | 11,935               |
| Фрезерование                         | 3,045      | 12,604     | 1,534          | 11,134      | 0,431          | 12,668               |
| Фрезерование                         | 2,836      | 11,578     | 1,121          | 9,456       | 1,235          | 10,577               |



Получены профилограммы поверхностей алюминиевых заготовок, обработанных пневмоударом, для последующего их анализа в соответствии с методикой, изложенной в стандарте DIN EN ISO 13565:1998. Параметры качества плоской шлифованной поверхности, обработанной пнев-

моударной обработкой, представлены в табл. 2, а ее профилограмма – на рис. 9.

Параметры качества плоской фрезерованной поверхности, обработанной упрочняющей пневмоударной обработкой, представлены в табл. 3, а профилограмма – на рис. 10.

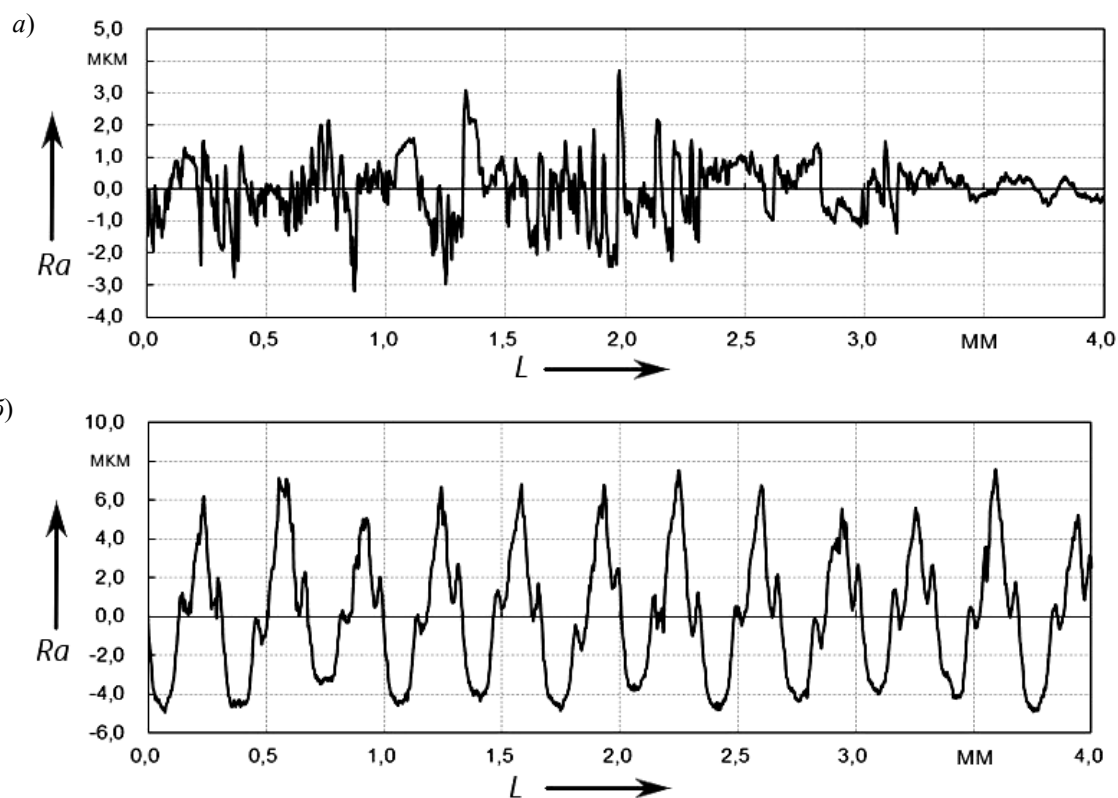


Рис. 8. Профилограммы исходных поверхностей заготовок: а – исходная поверхность получена шлифованием  $Ra = 0,66$  мкм; б – исходная поверхность получена фрезерованием  $Ra = 2,65$  мкм

Табл. 2. Параметры шероховатости шлифованной поверхности после упрочняющей пневмоударной обработки

| Величина зазора, мм | $P$ , МПа | $Ra_{исх}$ , мкм | $Ra$ , мкм | $Rz$ , мкм | $Rpk$ , мкм | $Rk$ , мкм | $Rvk$ , мкм | $Rpk + Rk$ , мкм |
|---------------------|-----------|------------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------------|
| 0,5                 | 0,08      | 0,65             | 0,904      | 5,431      | 1,175       | 2,768      | 0,841       | 3,943            |
| 0,5                 | 0,08      | 0,58             | 0,858      | 4,952      | 1,183       | 3,009      | 0,742       | 4,192            |
| 0,5                 | 0,08      | 0,71             | 1,070      | 5,603      | 1,254       | 3,165      | 0,985       | 4,419            |

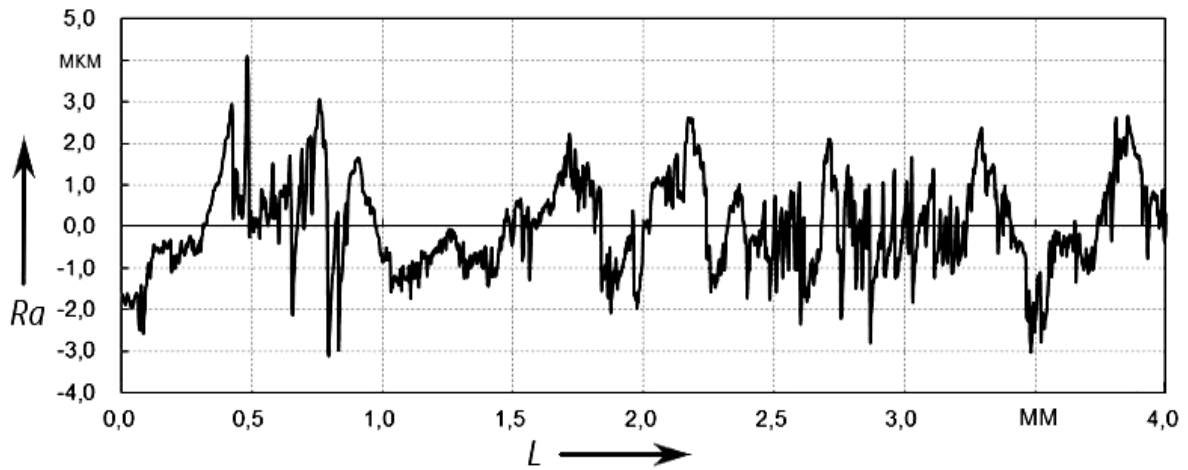


Рис. 9. Профилограмма плоской шлифованной поверхности после упрочняющей пневмударной обработки

Табл. 3. Параметры шероховатости фрезерованной поверхности после упрочняющей пневмударной обработки

| Величина зазора, мм | $P$ , МПа | $Ra_{max}$ , мкм | $Ra$ , мкм | $Rz$ , мкм | $Rpk$ , мкм | $Rk$ , мкм | $Rvk$ , мкм | $Rpk + Rk$ , мкм |
|---------------------|-----------|------------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------------|
| 1,4                 | 0,08      | 2,735            | 1,378      | 5,288      | 2,904       | 3,401      | 0,436       | 6,305            |
| 1,4                 | 0,08      | 2,801            | 1,310      | 5,866      | 2,823       | 3,211      | 0,822       | 6,034            |
| 1,4                 | 0,08      | 2,962            | 1,616      | 8,428      | 2,722       | 4,236      | 2,090       | 6,958            |

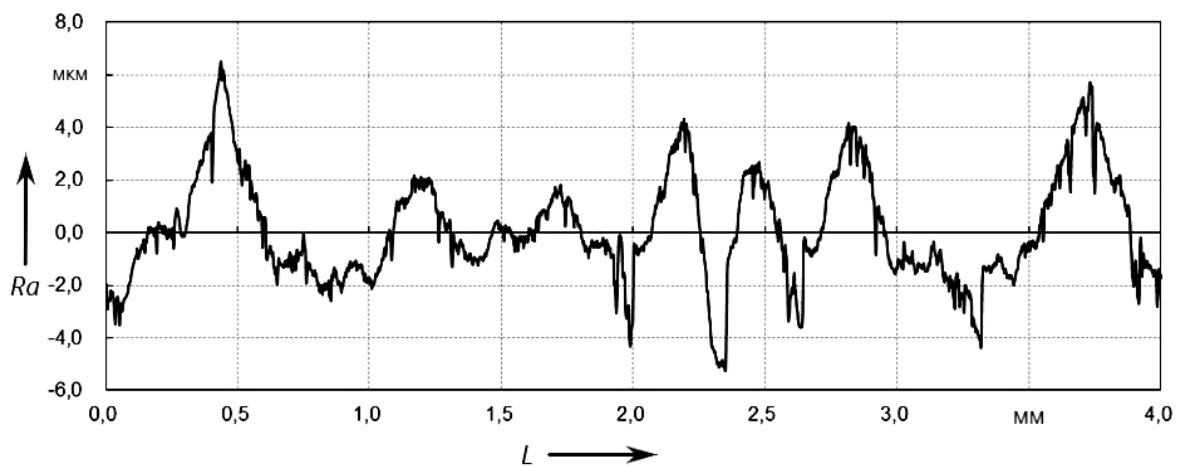


Рис. 10. Профилограмма плоской фрезерованной поверхности после упрочняющей пневмударной обработки

Сравнительный анализ параметров  $R_{vk}$ ,  $R_{pk}$ ,  $R_k$  показал преимущества поверхности после упрочняющей пневмоударной обработки над фрезерованной с точки зрения прирабатываемости и несущей способности. Параметр  $R_{pk}$  поверхности после упрочняющей пневмоударной обработки немного меньше, чем после фрезерования, что уменьшает время приработки поверхности в паре трения. Уменьшение параметра  $R_{pk}$  приводит к уменьшению работы силы трения и интенсивности изнашивания в начальный период контактирования трущихся поверхностей.

Параметр  $R_k$ , показывающий прирост материала в центральной области, для поверхности после упрочняющей пневмоударной обработки в 3 раза меньше, чем после фрезерования. Чем меньше значение  $R_k$ , тем большей несущей способностью обладает центральная область микрорельефа, что позволяет увеличить надежность и долговечность пар трения.

Сумма параметров  $R_{pk}$  и  $R_k$ , характеризующая износостойкость обработанной поверхности, после упрочняющей пневмоударной обработки уменьшилась в 2 раза в сравнении с фрезерованной поверхностью, что показывает увеличение износостойкости поверхности после упрочняющей пневмоударной обработки.

Параметр  $R_{vk}$  соизмерим у поверхности после упрочняющей пневмоударной обработки и фрезерованной поверхности.

Сравнительный анализ параметров  $R_{vk}$ ,  $R_{pk}$ ,  $R_k$  показал небольшие преимущества поверхности после упрочняющей пневмоударной обработки над шлифованной поверхностью с точки зрения прирабатываемости и несущей способности, хотя шероховатость  $Ra$  шлифованной поверхности меньше, чем после обработки пневмоударом.

## Выводы

1. Установлено, что с увеличением давления сжатого воздуха, подводимого к инструменту для упрочняющей пневмоударной обработки, параметр шероховатости поверхности  $Ra$  снижается для предварительно шлифованных поверхностей и возрастает для предварительно фрезерованных поверхностей.

2. Установлено, что при упрочняющей пневмоударной обработке с увеличением минутной подачи параметр шероховатости поверхности  $Ra$  возрастает для всех видов исходных заготовок. При этом с увеличением подачи плотность распределения лунок на поверхности уменьшается, использование подачи более 272 мм/мин нежелательно, т. к. на поверхности остаются необработанные участки.

3. Установлено, что при упрочняющей пневмоударной обработке с увеличением зазора между плоскостью инструмента и заготовкой параметр шероховатости поверхности  $Ra$  немного возрастает для предварительно шлифованных поверхностей и практически не изменяется для предварительно фрезерованных поверхностей.

4. В процессе анализа полученных экспериментальных зависимостей можно рекомендовать для упрочняющей пневмоударной обработки алюминиевых заготовок оптимальные режимы: подача  $S = 80...272$  мм/мин, давление сжатого воздуха  $P = 0,08...0,1$  МПа, величина зазора между основанием инструмента и плоскостью обрабатываемой поверхности  $h = 1...1,4$  мм. Меньшие значения зазора брать не рекомендуется, так глубина лунки получается незначительной.

5. Исследование влияния упрочняющей пневмоударной обработки на качество поверхностного слоя плоских поверхностей алюминиевых заготовок показало значительное увеличение качественных характеристик поверхностного слоя в сравнении с исходной фре-

зерованной поверхностью и лишь незначительное их улучшение в сравнении со шлифованной исходной поверхностью. Установлено, что исходная фрезерованная поверхность, обработанная

упрочняющей пневмоударной обработкой, обладает большей несущей способностью, повышенной износостойкостью и меньшим временем приработки поверхности в паре трения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поверхностное упрочнение алюминиевых сплавов / И. П. Волчок [и др.] // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2007. – № 2. – С. 87–89.
2. **Елизаветин, М. А.** Повышение надежности машин / М. А. Елизаветин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1973. – 430 с.
3. **Одинцов, Л. Г.** Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л. Г. Одинцов. – Москва: Машиностроение, 1987. – 328 с.
4. Технология финишной упрочняющей пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А. П. Минаков [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – 294 с.
5. Способ обработки поверхностным пластическим деформированием плоской поверхности и инструмент для его осуществления: пат. ВУ 12473 U / А. П. Минаков, Д. Л. Зайцев. – Опубл. 30.04.2008.
6. Оценка влияния пневмовибродинамической обработки на микрорельеф обработанных плоских поверхностей по стандарту DIN EN ISO 13565:1998 / А. П. Минаков [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2017. – № 1 (54). – С. 63–73.
7. **Каледин, Б. А.** Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием / Б. А. Каледин, П. А. Чепя. – Минск: Наука и техника, 1977. – 232 с.
8. **Шнейдер, Ю. Г.** Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю. Г. Шнейдер. – Ленинград: Машиностроение, 1982. – 246 с.
9. **ISO 13565-2:1998.** Geometrical Product Specifications (GPS). – Surface texture: profile method. Surfaces having stratified functional properties. – Part. 2: Height characterization using the linear material ratio curve. – International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland, 1998.
10. **ISO 13565-3:1998.** Geometrical Product Specifications (GPS). – Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties. – Part. 3: Height characterization using the material probability curve. – International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland, 1996.

*Статья сдана в редакцию 4 июля 2022 года*

**Елена Валерьевна Ильюшина**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
E-mail: sktb-pvdo@mail.ru.

**Надежда Михайловна Юшкевич**, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.  
E-mail: ronami.yu@gmail.com.

**Elena Valeryevna Ilyushina**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.  
E-mail: sktb-pvdo@mail.ru.

**Nadzeya Mikhailovna Yushkevich**, senior lecturer, Belarusian-Russian University.  
E-mail: ronami.yu@gmail.com.