

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПАРОНИТА НА ПЛАНШЕТНОМ РЕЖУЩЕМ ПЛОТТЕРЕ

Е.Н. Малышев, И.К. Устинов, М.П. Карпов

Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Калуга, ул. Баженова, д.2

В статье рассмотрен процесс обработки листового паронита на планшетном режущем плоттере круглых отверстий, определено качество поверхностей и предложены пути повышения его эффективности. Цель работы – выявление условий и показателей, при которых будет обеспечено качество поверхностей деталей из паронита, полученных на планшетном режущем плоттере. В качестве основных факторов, влияющих на процесс обработки, рассмотрены: номинальный диаметр отверстия, ширина перемычек между отверстиями, количество проходов инструмента. В статье рассмотрена методика определения влияния факторов на качество готовых поверхностей: точность размеров, отсутствие дефектов, искажения геометрии и необходимости дополнительной слесарной обработки. Проведен полный многофакторный эксперимент с подробным его поэтапным описанием. Наиболее подробно рассмотрены три фактора: номинальный диаметр отверстия, ширина перемычек между отверстиями, количество проходов инструмента, определено их влияние на действительный размер отверстия. Результат эксперимента – уравнение регрессионного анализа в двух масштабах: в нормализованном, чтобы выявить степень влияния факторов на точность размеров; и в натуральном, чтобы можно было вычислить диаметр готового отверстия при любых значениях факторов в пределах уровней. Применение методики позволяет оценить влияние факторов на выходное значение, что делает возможным выбрать режимы обработки, позволяющие обеспечить качество готовых отверстий. Приведены и проанализированы результаты измерений параметров отверстий при различных значениях уровней факторов для возможности достижения наилучших показателей качества поверхности.

Ключевые слова: обработка паронита, обработка листового материала, планшетный режущий плоттер.

ВВЕДЕНИЕ

Современные конструкции зачастую работают в агрессивных средах и повышенных температурах. Поэтому возникает необходимость использования уплотнительных материалов, которые способны работать в тяжелых условиях.

В настоящее время широко используются уплотнители из паронита в машиностроении (в двигателях внутреннего сгорания), электротехнике (изоляторы), металлургии (в трубопроводах), химической и нефтяной промышленности (в компрессорах) [1].

Паронит – листовый прокладочный материал. Он имеет сложный химический состав, в который входят преимущественно асбест, синтетический каучук и специальные наполнители [2].

Паронит – уникальный прокладочный материал, обладающий полным спектром необходимых свойств и характеристик. Поэтому целесообразно, чтобы качество деталей из паронита не уступало его технологическим возможностям.

Благодаря пластичным свойствам каучука паронит легко поддается физическому воздействию, что позволяет его обрабатывать ручным инструментом или на специальном оборудовании.

В данном исследовании обработка осуществляется на планшетном режущем плоттере ValianiMatProCMC - IX 150 (рис. 1). Плоттер предназначен для резки широкого диапазона упаковочных и оформительных материалов, таких как плотный картон, паронит, винил, поликарбонат и другие [3].



Рис. 1. Планшетный режущий плоттер ValianiMatProCMC - IX 150

На плоттере выполняется биговка, вырезка V-образных канавок различного дизайна, перфорация материалов толщиной до 5 мм, а также двухслойная и многослойная обработка за один прием и вырезка сложных криволинейных профилей. Эта способность экономит часы работы и является огромным преимуществом в сочетании с гибкостью в настройке при резке различных материалов [4].

Задача исследования - решение вопросов обеспечения качества деталей из паронита, а именно точности размеров, отсутствия дефектов, искажений геометрии и дополнительной слесарной обработки.

Для решения поставленной задачи:

1. разработан план эксперимента по реализации обработки деталей из паронита на планшетном режущем плоттере;

2. определено влияние факторов на действительный размер отверстия, отметить, при каких условиях процесс обработки будет особенно качественным;

3. предложены режимы обработки, позволяющие обеспечить качество деталей из паронита;

4. предложены методы, позволяющие уменьшить трудоемкость изготовления деталей из паронита, снизить затраты на обрабатываемый материал.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В ходе представленных исследований был спланирован и проведен многофакторный эксперимент, где рассматривалось влияние трех факторов на действительный размер отверстий (D_o , мм), полученных на планшетном режущем плоттере

$$D_o = f(D, a, c),$$

где D , мм – номинальный диаметр отверстия; a , мм – ширина перемычки между отверстиями; c , пр. – количество проходов инструмента.

Для выполнения эксперимента использованы:

1. обрабатываемый материал: паронит листовой ПМБ-1 ГОСТ 481-80, толщина листа 1 мм;

2. режущий инструмент: нож для режущего плоттера Graphtec;

3. оборудование: планшетный режущий плоттер ValianiMatProCMC – IX 150, микроскоп инструментальный ИМЦЛ 100х50,А;

4. вспомогательный материал: плотный пористый картон.

Схема эксперимента представлена на рис. 2.

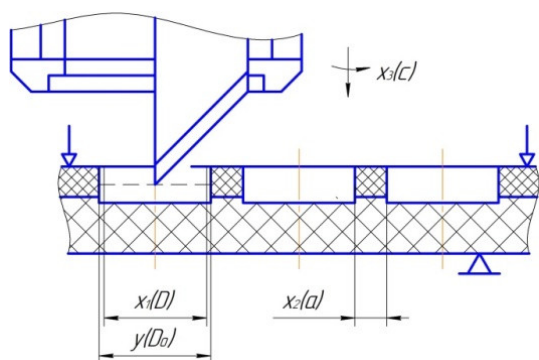


Рис. 2. Схема эксперимента $N = 2^3$

Отверстия, полученные на планшетном режущем плоттере ValianiMatProCMC – IX 150 с учетом уровней факторов, представлены на рис. 3.

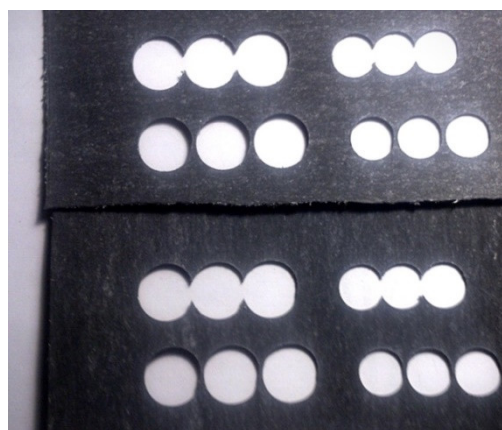


Рис. 3. Отверстия, полученные на планшетном режущем плоттере ValianiMatProCMC – IX 150

Натуральные значения уровней факторов представлены в табл. 1.

Табл. 1. Натуральные значения уровней факторов

Факторы	Уровни			Интервал варьирования
	+1	0	-1	
$x_1(D)$, мм	16	14	12	2
$x_2(a)$, мм	3	2	1	1
$x_3(c)$, пр.	2	1,5	1	0,5

Управляющая программа планшетного режущего плоттера с учетом толщины обрабатываемого листового материала вычисляет величину врезания инструмента в подложку для исключения разрывов материала при удалении отхода. Глубина врезания инструмента для каждого прохода определяется автоматически с учетом отношения общей глубины резания к количеству проходов. Общая глубина резания для листа паронита толщиной 1 мм, вычисленная программой, составляет 1,2 мм.

Таким образом, обработка в 1 проход подразумевает глубину врезания инструмента 1,2 мм; в 1,5 прохода – 0,8 мм и 0,4 мм в 1-ом и 2-ом проходе соответственно; в 2 прохода – 0,6 мм в каждом из 2-х проходов.

Нормализованные значения уровней факторов связаны с натуральными следующими зависимостями:

$$x_1 = \frac{D - 14}{2}, \quad (1)$$

$$x_2 = \frac{a - 2}{1}, \quad (2)$$

$$x_3 = \frac{c - 1,5}{0,5}, \quad (3)$$

Общий вид уравнения регрессионного анализа для полного многофакторного эксперимента ($N = 2^3$):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Результаты опытов и расчетов представлены в табл. 2.

Для каждой строки матрицы определено среднее значение отклика

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n},$$

где y_i – значение отклика в каждом опыте; n – количество повторных опытов.

Для каждого отклика вычислена дисперсия

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_i)^2}{n - 1}$$

Проверена гипотеза об однородности ряда дисперсий по G критерию:

$$G^p = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}.$$

$$G^p = 0,366; G^{табл.} = 0,5157,$$

$G^p < G^{табл.}$ - гипотеза об однородности дисперсий с доверительной вероятностью 95% принята.

Вычислена дисперсия воспроизведённого эксперимента

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N},$$

$$S_y^2 = 0,001275$$

По результатам эксперимента вычислены коэффициенты $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ уравнения регрессионного анализа как среднее значение суммы откликов \bar{y}_i с учетом знаков соответствующих столбцов:

$$b_0 = 14,314; b_1 = 2,039; b_2 = -0,105; b_3 = -0,01;$$

$$b_{12} = -0,038; b_{13} = 0,003; b_{23} = -0,07;$$

$$b_{123} = -0,008$$

Проверена гипотеза о статистической зависимости коэффициентов уравнения регрессии. Вычислена дисперсия для коэффициентов уравнения регрессии:

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N \cdot n}},$$

$$S_{b_i} = 0,0073.$$

Определен доверительный интервал

$$\Delta b_i = t \cdot S_{b_i},$$

$$\Delta b_i = 0,0155.$$

где t - коэффициент Стьюдента ($t = 2,12$).

$|b_i| \geq \Delta b_i$ - следовательно, коэффициенты $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{23}$ с доверительной вероятностью 95% признаются статистически значимыми;

$|b_i| < \Delta b_i$ - следовательно, коэффициентами b_3, b_{13}, b_{123} можно пренебречь, а значит и взаимодействием факторов.

Получено уравнение регрессионного анализа в нормализованном масштабе:

$$y(D_o) = 14,314 + 2,039x_1(D) - 0,105x_2(a) - 0,038x_{12}(Da) - 0,07x_{23}(ac), \quad (4)$$

Степень влияния факторов на действительный размер отверстия представлена на рис. 4.

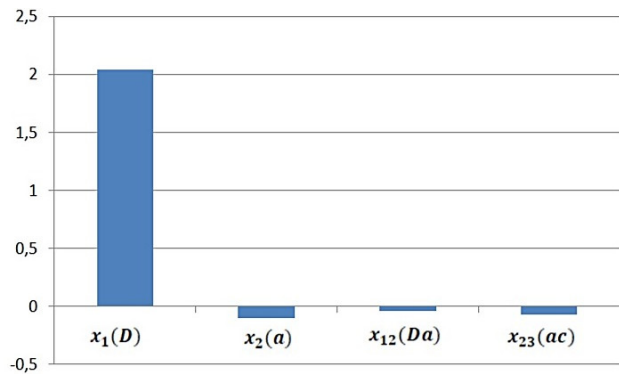


Рис. 4. Степень влияния факторов на действительный размер отверстия

Проверена гипотеза об адекватности уравнения регрессионного анализа по F-критерию Фишера:

$$F^p = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}$$

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)^2}{N - L}$$

$$S_{ад}^2 = 0,0038; S_y^2 = 0,001275$$

$$F^p = 2,98; F^T = 3,24$$

$F^p < F^T$ - следовательно, гипотеза об адекватности уравнения регрессионного анализа (4) с доверительной вероятностью 95% принята [6].

Подставив формулы (1-3) в уравнение (4), получено уравнение регрессионного анализа в натуральном масштабе:

$$D_o = -0,701 + 1,057D + 0,371a + 0,28c - 0,019Da - 0,14ac$$

Согласно уравнению регрессионного анализа (4), можно сделать вывод, что наибольшее влияние на размер действительного отверстия, оказывает значение номинального диаметра - в 19,4 раза больше влияние, чем ширина перемычки между отверстиями. Другие факторы и эффекты взаимодействия оказывают меньшую степень влияния на точность обработки.

Графики зависимостей действительного размера отверстий (D_o , мм) от номинального диаметра (D , мм), полученных на планшетном режущем плоттере при количестве проходов инструмента (c , пр.) и при ширине перемычек между отверстиями (a , мм) представлены на рис. 5.

Согласно графикам и уравнению регрессионного анализа прослеживаются следующие зависимости:

Для $x_2(a) = 1$ мм на графике представлены линейные зависимости при разном количестве проходов инструмента $x_3(c) = 1$ и $x_3(c) = 2$. При уменьшении диаметра отверстия прямая $x_3(c) = 2$ стремится к прямой $x_3(c) = 1$. Таким образом, чем большее номинальный диаметр отверстия и больше количество проходов инструмента, тем меньше точность действительного размера отверстия, проявляется расслоение

материала и множественные заусенцы, следовательно, ухудшается качество контура.

Для $x_2(a) = 2$ мм на графике представлены линейные зависимости при разном количестве проходов инструмента $x_3(c) = 1$ и $x_3(c) = 2$. Обе функции можно аппроксимировать в одну, таким образом, количество проходов инструмента оказывает минимальное влияние на действительный размер отверстий. Наблюдается положительная динамика: размеры в пределах допусков, уменьшается величина дефектов, следовательно, обеспечивается качество контура.

Для $x_3(a) = 3$ мм на графике представлены линейные зависимости при разном количестве проходов инструмента $x_3(c) = 1$ и $x_3(c) = 2$. При увеличении диаметра отверстия прямая $x_3(c) = 2$ стремится к прямой $x_3(c) = 1$. Таким образом, чем больше номинальный диаметр отверстия и больше количество проходов инструмента, тем больше точность действительного размера отверстия, отсутствуют дефекты, нет необходимости в слесарной обработке, следовательно, улучшается качество контура.

При увеличении количества проходов и ширины перемычки между отверстиями начальная точка прямой $x_3(c) = 2$ смещается по оси абсцисс к началу координат относительно прямой $x_3(c) = 1$, следовательно, увеличивается точность обработки.

Таким образом, наиболее качественным получается отверстие большего диаметра при большей ширине перемычек между отверстиями и большем количестве проходов инструмента.

Для улучшения качества деталей, полученных в процессе обработки необходимо обеспечить более плотный контакт листа и рабочей поверхности стола [7], достаточную силу закрепления; использовать смазочную жидкость – масло – для уменьшения силы трения в процессе резания [8].

Как правило, листовый материал, в том числе паронит, поставляется в рулонах, и поэтому добиться полного устранения упругих отжатий листа очень затруднительно. Метод предварительного вылеживания листового материала, предложенный Васильевым С.Е [9], позволяет решить данную проблему.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы изготовить качественный профиль на планшетном режущем плоттере необходимо:

1. предварительное вылеживание листового материала, чтобы исключить упругие отжатия, улучшить обрабатываемость материала и повысить эксплуатационные свойства;
2. обеспечить более плотный контакт листа и рабочей поверхности стола;
3. использовать смазочную жидкость (масло), которая снизит коэффициент трения и силу резания;

4. скорректировать режимы резания с учетом наиболее благоприятных комбинаций факторов: минимальный размер отверстия и минимальное количество проходов инструмента при относительно малой ширине перемычки; максимальный размер отверстия и максимальное количество проходов инструмента при относительно большой ширине перемычки.

Предложенные методы способны снизить трудоемкость изготовления деталей из листового паронита, обеспечить качество отверстий, полученных на планшетном режущем плоттере, снизить затраты на материал и увеличить производительность процесса обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Розин С.Е., Файнберг И.Г. Каучуки в производстве паронита // Каучук и резина. 1938. №6. С. 36-39.
2. Шанин Н.И. Производство асбестовых технических изделий. – Л.: Химия, 1983. С.193.
3. Голубев А.П. Перспективные методы формирования качества рабочих поверхностных слоев деталей // Современные информационные технологии сборник трудов по материалам II-й межвузовской научно-технической конференции. под общей научной редакцией В.М. Артюшенко. 2016. С. 166-172. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26877022>.
4. Филимонов Е.В., Светлова А.М., Гизитдинов Т.Р. Современные способы раскроя препрегов на основе тканевых материалов // Современные материалы, техника и технология Материалы 3-й Международной научно-практической конференции, 2013. С. 348-355.
5. Порошин Г.В., Новосельцева В.Б. Производство паронита. – М.: Химия, 1978. С.37.
6. Калмыков В.В., Федорова О.С. Основные статистические методы анализа результатов экспериментов // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2016. № 1 (5). С. 68-75.
7. Карпов М.П., Мальшев Е.Н. Исследование процесса изготовления деталей пробивкой из листа паронита // Южно-сибирский научный вестник. 2018. №3. С. 49-53. Режим доступа: <http://s-sibsb.ru/issues-of-the-journal-eng.html?sobi2Task=sobi2Details&catid=51&sobi2Id=460>.
8. Васильев С.Е. Способ изготовления паронита // Электронный ресурс: <http://www.freepatent.ru/patents/2393097>. 2010.
9. Васильев С.Е. Способ обработки листов паронита // Электронный ресурс: <http://www.freepatent.ru/images/patents/75/2388607/patent-2388607.pdf>. 2008.

Мальшев Евгений Николаевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологий машиностроения, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. (4842)720351, e-mail: m1@bmstu-kaluga.ru.

Устинов Игорь Кириллович – к.т.н., зав. кафедры М4-КФ «Инструментальная техника и инженерная графика», Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. 8-920-616-24-65, e-mail: m4-kf@bmstu-kaluga.ru.

Карпов Максим Петрович – студент факультета машиностроительных технологий, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. 8-920-872-41-73, e-mail: 328bot@mail.ru

Табл. 2. Матрица планирования полного многофакторного эксперимента.

N	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Повторные опыты			\bar{y}	S^2
									y_1	y_2	y_3		
1	+	+	+	+	+	+	+	+	16,14	16,12	16,11	16,123	0,000233
2	+	-	+	+	-	-	+	-	12,2	12,12	12,08	12,134	0,003733
3	+	+	-	+	-	+	-	-	16,54	16,6	16,57	16,57	0,0009
4	+	-	-	+	+	-	-	+	12,37	12,38	12,42	12,39	0,0007
5	+	+	+	-	+	-	-	-	16,27	16,29	16,33	16,296	0,000933
6	+	-	+	-	-	+	-	+	12,31	12,29	12,25	12,283	0,000933
7	+	+	-	-	-	-	+	+	16,41	16,44	16,43	16,426	0,000233
8	+	-	-	-	+	+	+	-	12,3	12,24	12,34	12,293	0,002533

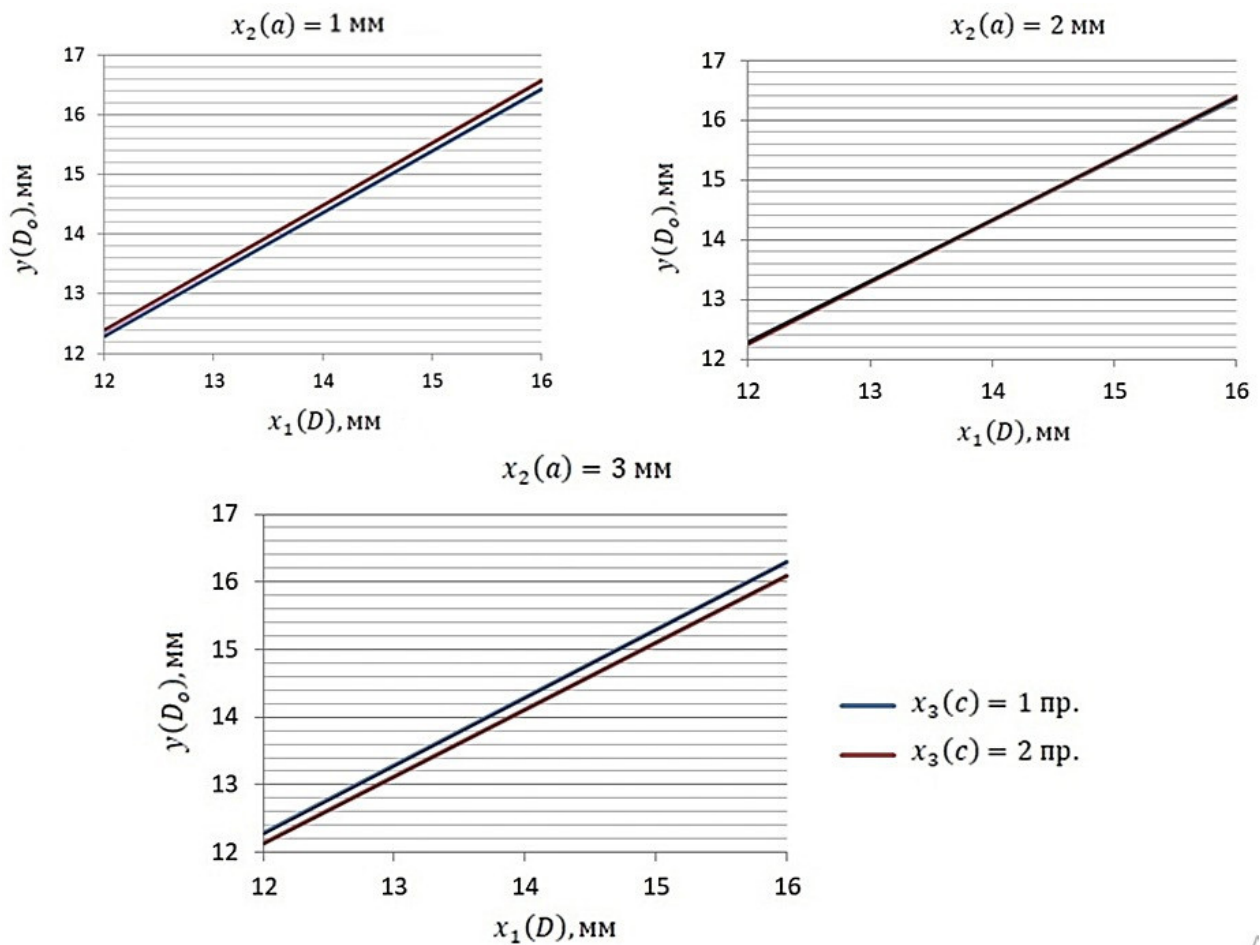


Рис. 5. Графики зависимостей действительного диаметра отверстий $D_o, \text{мм}$ от номинального диаметра $D, \text{мм}$, полученных на планшетном режущем плоттере при $c, \text{пр.}$ проходах инструмента и при ширине перемычек $a, \text{мм}$

THE STUDY OF THE PROCESS OF MANUFACTURING PARTS FROM SHEET PARONITE ON FLATBED CUTTING PLOTTER

E.N. Malyshev, I.K. Ustinov, M.P. Karpov

*Kaluga branch of Moscow State Technical University named after N.E Bauman (National Research University),
Russia, Kaluga, st. Bazhenov, 2*

The article describes the processing of sheet paronite on a flatbed cutting plotter of round holes, defines the quality of surfaces and suggests ways to improve its efficiency. The purpose of the work is to identify the conditions and indicators under which the quality of the surfaces of the paronite parts obtained on a tablet cutting plotter will be ensured. As the main factors influencing the process of processing, considered: nominal diameter of the hole, the width of the jumpers between the holes, the number of passes of the tool. The article discusses the method for determining the influence of factors on the quality of finished surfaces: dimensional accuracy, absence of defects, geometry distortion, and the need for additional metalworking. A complete multifactorial experiment was carried out with a detailed step-by-step description of it. Three factors are considered in the most detail: the nominal diameter of the hole, the width of the bridges between the holes, the number of tool passes, and their effect on the actual size of the hole. The result of the experiment is a regression analysis equation on two scales: normalized, to determine the degree of influence of factors on dimensional accuracy; and in kind, so that you can calculate the diameter of the finished hole for any values of factors within the levels. The application of the technique makes it possible to evaluate the influence of factors on the output value, which makes it possible to choose processing modes that allow to ensure the quality of the finished holes. The results of measurements of the parameters of the holes are given and analyzed for different values of the factor levels in order to be able to achieve the best surface quality indicators.

Key words: paronite processing, sheet material processing, flatbed cutting plotter.

REFERENCES

1. Rosin C. E., Feinberg I. G. Rubbers in the production of paronite // Rubber and rubber. 1938. No. 6. Pp. 36-39.
2. Shanin N. So. Production of asbestos technical products. - L.: Chemistry, 1983. P. 193.
3. Golubev A. p. Promising methods of forming the quality of the working surface layers of parts // Modern information technology proceedings of the II-th interuniversity scientific and technical conference. under The General scientific editorship of V. M. artyushenko. 2016. P. 166-172. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26877022> ahhh!
4. Filimonov, E. V., Svetlov A. M., Gizitdinov T. R. Modern methods of cutting prepreg-based fabrics of // Modern materials, techniques and technology Materials of 3rd International scientific-practical conference, 2013. P. 348-355.
5. Poroshin G. V., Novoseltseva V. B. production of paronite. - Moscow: Chemistry, 1978. P.37.
6. Kalmykov V. V., Fedorova O. S. Basic statistical methods of analysis of experimental results // Electronic journal: science, technology and education. 2016. No. 1 (5). P. 68-75.
7. Karpov M. P., Malyshev E. N. Study of the manufacturing process of parts punched from paronite sheet // South Siberian scientific Bulletin. 2018. No. 3. P. 49-53. Mode of access: <http://s-sibsb.ru/issues-of-the-journal-eng.html?sobi2Task=sobi2Details&catid=51&sobi2Id=460>.
8. Vasiliev S. E. method of making paronite // Electronic resource: <http://www.freepatent.ru/patents/2393097>. 2010.
9. Vasiliev S. E. method of processing sheets of steam // Electronic resource: <http://www.freepatent.ru/images/patents/75/2388607/patent-2388607.pdf>. 2008.

Malyshev Evgeny Nikolaevich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Machine Building Technology Department, Kaluga Branch of the Bauman MSTU. N.E. Bauman, tel. (4842) 720351, e-mail: m1@bmstu-kaluga.ru.

Ustinov Igor Kirillovich - Candidate of Technical Sciences, Head of M4-CF "Instrumental engineering and engineering graphics", Kaluga Branch of MSTU. N. E. Bauman, tel. 8-920-616-24-65, e-mail: m4-kf@bmstu-kaluga.ru

Karpov Maxim Petrovich - student of the Faculty of Machine-Building Technologies, Kaluga Branch of the MSTU. N.E. Bauman, tel. 8-920-872-41-73, e-mail: 328bot@mail.ru.