



УДК 621.9

## РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РЕЗАНИИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ СТРУЕЙ

Г.В. Барсуков, А.В. Михеев, Т.А. Журавлева

## DEVELOPMENT OF CRITERIA FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE WORKABILITY LAMINATES CUTTING JET WATERJET

G.V. Barsukov, A.V. Mikheev, T.A. Zhuravleva

**Аннотация.** Предложен критерий обрабатываемости листовых слоистых материалов гидроабразивной струей по расслоению при начальной прошивке, позволяющий определить: необходимость корректировки технологических режимов прошивки обрабатываемого материала; целесообразность увеличения межлекального расстояния при раскладке деталей на листе при его раскрое; необходимость удаления точки начальной прошивки материала от обрабатываемого контура; необходимость применения специальных технологических приемов («отсекающие резы» и т.п.) при вырезке деталей; возможность обработки внутренних поверхностей (пазов, отверстий, окон и т.д.).

**Ключевые слова:** гидроабразивное резание; критерий обрабатываемости; обрабатываемость; слоистые материалы; многодетальный раскрой; прошивка отверстия

**Abstract.** The criterion of workability sheet laminates waterjet stream of delamination in the initial version, to determine: the need to adjust the firmware technological modes of the processed material; mezhlekalnogo feasibility of increasing the distance for the layout of parts on the sheet when cutting; the need to remove the initial flash point of the material being processed by the circuit; the need to use special techniques ("shut-off cuts", etc.) for cutting out parts; possibility of processing inner surfaces (grooves, holes, windows, etc.).

**Key words:** Abrasive waterjet cutting; criterion workability; machinability; laminates mnogodetalny cutting; drilling

### Введение

Внедрение новых технологий изготовления изделий, совершенствование существующих видов резания вызывают необходимость оценки их обрабатываемости. Это технологическое свойство материала определяет возможность достижения заданных технических и технологических требований при минимальной стоимости и необходимой производительности обработки [1, 2].

Обрабатываемость материалов резанием можно оценить одним или несколькими показателями. К ним относятся: качество обработанной поверхности; стойкость режущего инструмента; силы, возникающие при резании; скорость резания; тип стружки; и т.п.

В качестве количественной оценки обрабатываемости резанием пластмасс предложен ряд критериев. Среди них: критерий оценки обрабатываемости по скорости резания, критерий оценки обрабатываемости по стойкости инструмента и др.

Как показал производственный опыт, основной проблемой гидроабразивного резания слоистых материалов является возникновение расслоений при начальной прошивке материала. Эксперименты показали, что на появление и величину расслоения влияют как технологические параметры прошивки (траектория движения фокусирующей трубки при прошивке и давление прошивки, диаметр фокусирующей трубки и средний размер абразивного зерна), так и физико-механические свойства материала и его состояние на момент обработки (микротрещины, микропоры и микродефекты в материале, возникшие в

процессе его изготовления, транспортировки и хранения) [3, 4]. Данная группа факторов относится к «неуправляемым», т.к. каждая листовая заготовка является «уникальной» по наличию микропор, микротрещин и микродефектов, допустимых требованиями ГОСТ 12652-74.

### Разработка критерия обрабатываемости

Предлагается проводить оценку обрабатываемости слоистых материалов по коэффициенту относительной обрабатываемости по критерию величины расслоения (коэффициент обрабатываемости по расслоению)  $K_n$ .

Коэффициент обрабатываемости по расслоению представляет собой отношение величины расслоения обрабатываемого материала  $H$  к величине расслоения эталонного материала при оптимальных технологических режимах, полученных экспериментально для данной толщины  $H_{эт}$ :

$$K_n = \frac{H}{H_{эт}}, \quad (1)$$

где  $H$  - величина расслоения обрабатываемого материала, мм;  $H_{эт}$  - величина расслоения эталонного материала при оптимальных технологических режимах, мм.

Чем больше коэффициент обрабатываемости по расслоению  $K_n$ , тем более отличны свойства обрабатываемого материала от эталонного.

При отсутствии расслоения принимаем величину расслоения  $H = 1$ , что соизмеримо с диаметром отверстия, образующегося в материале при прошивке.

Количественная оценка обрабатываемости слоистых материалов, например, стеклотекстолитов по расслоению является крайне важной характеристикой, позволяющей специалисту, составляющему раскрой материала решить следующие задачи:

1. Определение необходимости корректировки технологических режимов прошивки.
2. Определение целесообразности увеличения межлекального расстояния в раскрое.

Межлекальное расстояние при раскрое большинства материалов составляет 6 - 8 мм (рис. 1).

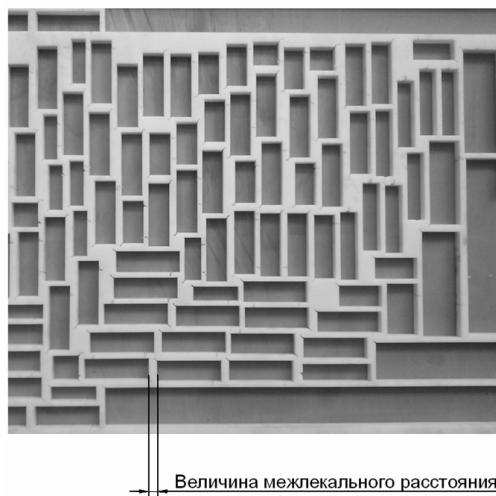


Рисунок 1 - Отход материала после раскроя деталей

Данное значение обеспечивает отсутствие зарезов на деталях от прошивок и переминок, жесткость положения детали в процессе ее обработки (отсутствие вибраций), безопасное и легкое извлечение деталей после их вырезки. При обработке стеклопластиков

не исключается появление расслоений при прошивке. Для исключения распространения расслоения на обрабатываемые детали, межлекальное расстояние должно быть больше величины расслоения на 50 – 60 %. При этом расслоение остается в отходе материала, а полученные детали являются годными. Однако при размерах расслоения, больших 10 - 12 мм величина межлекального расстояния в раскрое должна быть не менее 15 мм. Такой раскрой материала становится нерациональным с точки зрения расхода материала. В данном случае для экономии раскраиваемого материала будет необходимо применение специальных технологических мероприятий по ограничению распространения расслоений на поверхность детали.

3. Определение целесообразности увеличения расстояния  $h$  удаления точки прошивки от обрабатываемого контура (рис. 2). Значение расстояния удаления точки прошивки от обрабатываемого контура влияет на значение межлекального раскроя, а, следовательно, и на экономичность расхода материала.

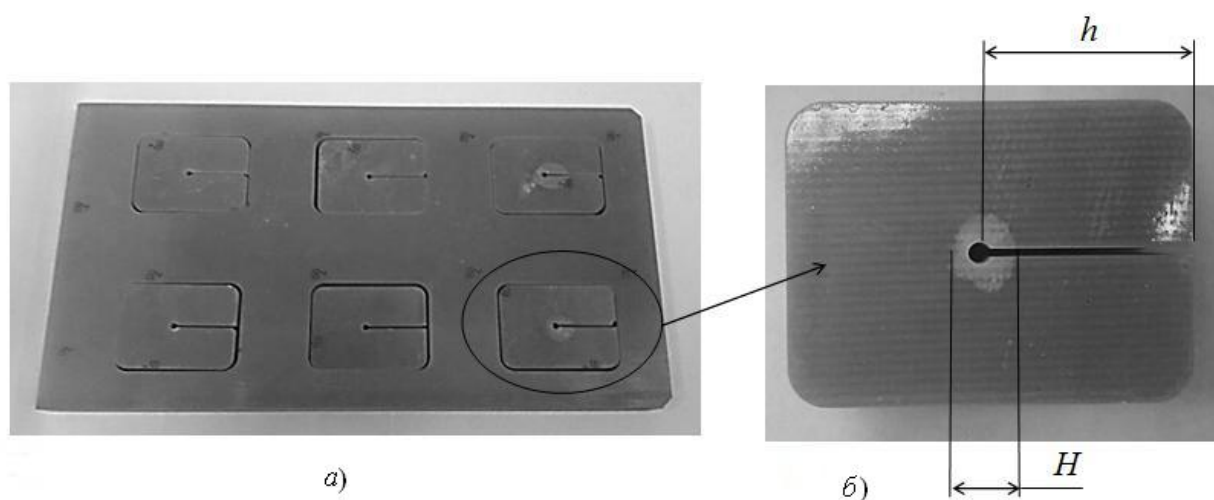


Рисунок 2 - Заход гидроабразивной струи к обрабатываемому контуру детали: а) общий вид; б) увеличено

4. Определение возможности обработки внутренних поверхностей деталей (отверстий, окон и т.д.) из данного материала. В ряде случаев целесообразнее производить обработку только наружного контура детали и достаточно больших сквозных элементов (от 10 - 15 мм), а обработку оставшихся внутренних контуров выполнять способами механической обработки.

Исходя из цели экономии раскраиваемого материала, автором предложено разделить листовой материал из стеклотекстолитов на группы по величине коэффициента обрабатываемости по расслоению:

- к первой группе относится листовой материал, со значением коэффициента относительной обрабатываемости по расслоению  $K_n \leq 5$ . Обрабатываемый материал считается близким по своим свойствам к эталонному;

- ко второй группе относится листовой материал, со значением коэффициента относительной обрабатываемости по расслоению  $5 < K_n \leq 10$ .

Для исключения возникновения брака деталей при обработке данных материалов необходима корректировка эталонных режимов прошивки:

- снижение давления при прошивке;
- увеличение диаметра фокусирующей трубки;
- использование абразива меньшей зернистости.

В ряде случаев возникает необходимость увеличения межлекального расстояния в раскрое.

- к третьей группе относится листовый материал, со значением коэффициента относительной обрабатываемости по расслоению  $K_n > 10$ . При данных значениях необходима не только корректировка технологических параметров прошивки, но и проведение специальных мероприятий по исключению распространения расслоений на обрабатываемый контур [5].

Отметим, что данная классификация хорошо применима для обработки наружных контуров. Для определения целесообразности обработки внутренних контуров необходимо сопоставление размеров расслоения и внутреннего контура.

### **Определения коэффициента относительной обрабатываемости по расслоению**

Для объективной оценки обрабатываемости слоистых материалов на примере стеклопластиков методом гидроабразивной резки была разработана методика диагностирования материала и определения коэффициента относительной обрабатываемости по расслоению листовых слоистых стеклопластиков.

Диагностирование материала необходимо производить непосредственно перед его обработкой. Поскольку каждая листовая заготовка «уникальна» по своим физико-механическим свойствам, необходимо производить диагностирование каждой листовой заготовки партии [6].

На основании данной методики можно записать следующий алгоритм последовательности выполнения приемов для диагностирования стеклопластика и определения коэффициента его относительной обрабатываемости по расслоению:

1. Перед диагностированием материала подготавливается предварительная управляющая программа раскроя деталей, в которой содержатся не только контуры деталей, подлежащих обработке, но и несколько прошивок в различных точках листовой заготовки. В первую очередь выполняются тестовые прошивки. На листовой заготовке достаточно выполнить 8 - 10 тестовых прошивок. Прошивку необходимо производить в местах будущих отходов материала (между деталями, в окнах или отверстиях). Примерное расположение точек прошивок показано на рис. 3. Технологические режимы прошивки назначаются в соответствии с эталонными (см. таблицу).

2. При обработке листовых заготовок, толщиной менее 5 мм необходимо применение подложек (фанера, специальный сетчатый настил и т.п.) для исключения прогиба материала при его обработке.

3. Произвести тестовые прошивки. Остановить работу установки. Оценить величину максимального расслоения, образующегося при прошивке.

4. Рассчитать коэффициент обрабатываемости материала по расслоению по формуле (1).

5. Определить, к какой группе относится партия данного материала:

- если материал относится к первой группе (значение коэффициента относительной обрабатываемости по расслоению  $K_n \leq 5$ ) обрабатываемый материал считается близким по своим свойствам к эталонному материалу. Поэтому обработку следует производить на эталонных режимах. Сравнив величины расслоения с межлекальным расстоянием в раскрое и расстоянием удаления точки прошивки от обрабатываемого контура, определяется необходимость корректировки раскроя с точки зрения расположения деталей друг относительно друга и увеличения длины захода к обрабатываемому контуру;

- если материал относится ко второй группе (значение коэффициента относительной обрабатываемости по расслоению  $5 < K_n \leq 10$ ) необходима корректировка технологических параметров прошивки:

а) снижение величины давления прошивки материала (давление прошивки материала при этом не должно быть ниже значения критического давления прошивки материала, во избежание засорения фокусирующей трубки);

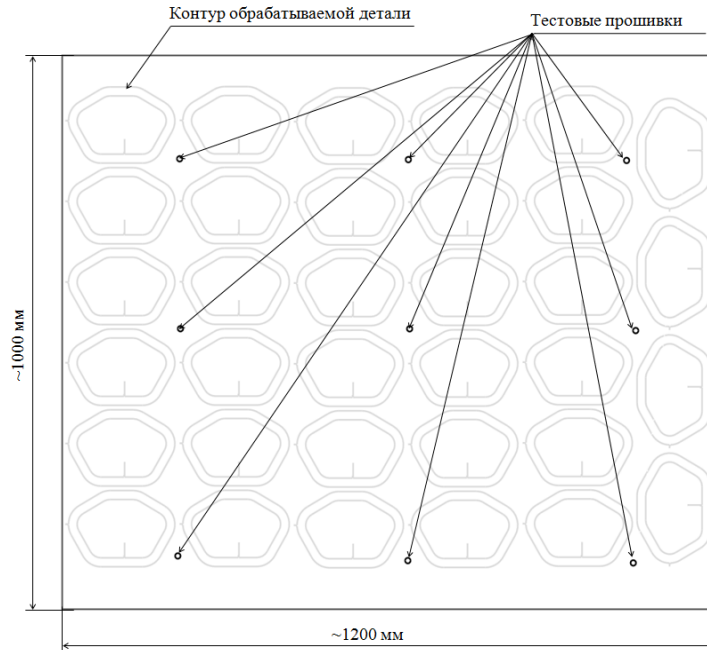


Рисунок 3 - Пример расположения тестовых прошивок в раскрое деталей при диагностировании материала на обрабатываемость по расслоению

Таблица - Эталонные режимы прошивки для стеклотекстолита СТЭФ-1с ГОСТ 12652-74

Толщина материала, мм	Траектория движения фокусирующей трубки при прошивке	Значение эталонного расслоения Нэт, мм	Критическое давление прошивки, МПа	Рекомендуемое давление прошивки, МПа	Диаметр фокусирующей трубки, мм	Используемый абразивный материал
1	С движением фокусирующей трубки по окружности Ø 1 мм	1	62	78	0,76	Гранат 80mesh
5			62	78		
10			64	76		
15			66	76		
20			66	76		
30			68	72		
40			68	70		
50			68	70		
1	С неподвижной фокусирующей трубкой	1	66	72	0,76	Гранат 80mesh
5		1	66	70		
10		1	68	70		
15		1	68	70		
20		1	68	70		
30		4	68	70		
40		3	68	70		
50		5	68	70		

- б) использование абразив меньшей зернистости (например, гранат 120 mesh);
- в) использование фокусирующей трубки большего диаметра (например, с диаметром выходного отверстия 1,02 мм).

Также определяется целесообразность увеличения межлекальных расстояний в раскрое до значений 10 - 12 мм;

- если партия материала относится к третьей группе ( $K_n > 10$ ), то физико-механические свойства обрабатываемого материала и эталонного материала существенно различаются. Если корректировка технологических режимов прошивки не приводит к значительному уменьшению величины расслоения, необходимо проведение специальных технологических мероприятий по исключению распространения расслоений на поверхность детали, описанных ниже.

### **Заключение**

Разработана методика оценки обрабатываемости слоистых материалов гидроабразивной струей по коэффициенту относительной обрабатываемости по расслоению  $K_n$ , что позволяет провести корректировки раскроя с целью исключения возникновения расслоений на поверхности готовой детали. Предложено разделить слоистый материал на группы по величине  $K_n$ . К первой группе относится листовый материал, не требующий корректировки прошивки и траектории движения фокусирующей трубки. Ко второй группе относится листовый материал, при обработке которого необходима корректировка эталонных режимов прошивки и увеличения межлекальных расстояний в раскрое. К третьей группе относится листовый материал, при обработке которого требуется проведение специальных мероприятий по исключению распространения расслоений на обрабатываемый контур.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Momber A.W., Kovacevic R. Principles of Abrasive Water Jet Machining. Springer, 1998. 394 p.
2. Тихомиров Р.А., Николаев В.И. Резание струями жидкости высокого давления. Механическая обработка пластмасс. Л.: Машиностроение, 1975. 120 с.
3. Барсуков Г.В., Журавлева Т.А. Исследование влияния технологических режимов гидроабразивного резания на расслоение поверхности деталей из стеклотекстолита // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2013. № 4. С. 47 – 56.
4. Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В. Моделирование разрушения многослойной преграды с газовым зазором под действием сверхзвукового струйного потока свободных абразивных частиц // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2010. № 4-2. С. 65–70.
5. Барсуков Г.В., Журавлева Т.А. Разработка специальных технологических приемов, обеспечивающих исключение влияния расслоений на качество деталей из стеклотекстолита при гидроабразивной резке // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2014. № 3 (305). С. 76-85.
6. Журавлева Т.А., Барсуков Г.В., Михеев А.В. Повышение качества гидроабразивного резания деталей из стеклотекстолита на основе предварительного диагностирования состояния обрабатываемого материала // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2014. № 6 (308). С. 32-38.



## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Барсуков Геннадий Валерьевич*

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел, Россия, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств,

E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru)

*Barsukov Gennadiy Valerevich*

FSEI HE «Prioksky State University», Orel, Russia, Chairman of The engineering and technological support of machine-building production, Doctor of Technical Science, Professor,

E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru)

*Михеев Александр Васильевич*

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел, Россия, кандидат технических наук, докторант, кафедра конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств,

E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru)

*Mikheyev Aleksandr Vasilevich*

FSEI HE «Prioksky State University», Orel, Russia, PhD, Doctorate, Department of Design and Technology software engineering production,

E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru)

*Журавлева Татьяна Александровна*

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел, Россия, аспирант, кафедра конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств,

E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru)

*Zhuravleva Tatiana Aleksandrovna*

FSEI HE «Prioksky State University», Orel, Russia, graduate student, Department of Design and Technology software engineering industries,

E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru)

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:  
302020, Орел, ул. Московская, 34, ТИ ПГУ, КТОМП, каб. 308. Барсуков Г.В.  
+7(906) 6650002