Е. М. Фролов¹, А. А. Каменев², О. О. Трухляев¹

**АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

¹Волгоградский государственный технический университет

²ООО НПП «Сиалит»

E-mail: e_frolov@vstu.ru

В статье приводятся результаты анализа современных подходов к исследованию и совершенствованию методов механической обработки полимерных материалов. Показано, что научные работы по механической обработке композиционных материалов на основе полимеров на данный момент обладают актуальностью в связи с недостатком данных о свойствах материалов, характеризующих их обрабатываемость.

Ключевые слова: композиционные материалы, механическая обработка, резание пластмасс.

E. M. Frolov¹, A. A. Kamenev², O. O. Trukhlyayev¹

**ANALYSIS OF APPROACHES TO THE RESEARCH
OF MECHANICAL PROCESSING OF POLYMER MATERIALS**

¹Volgograd state technical university

²L.L.C. RPE "Sialit»

The article presents the results of analysis of modern approaches to research and improvement of methods of mechanical processing of polymer materials. The article illustrates the fact that scientific works on the mechanical processing of composite materials based on polymers are currently relevant due to the lack of data on the properties of materials that characterize their workability.

Keywords: composite materials, mechanical processing, plastic cutting.

В условиях большого количества различных видов полимерных композиционных материалов возникает задача определения оптимальных параметров обработки для каждого вида. Эта проблема освещена в работах [4], [6], [13], [12]. Попытки переноса данных, полученных при обработке металлов и дерева, приводят к различного рода проблемам при обработке пластика, например к механическим повреждениям (сколам, вырывам, прижогам), перегреву в зоне резания, приводящему к потере режущих способностей инструмента, освещенным в статьях [8], [17], [3], [1], [7]. Создание новых технологий механической обработки пластика, приведенных в статьях [2], [14], [15], [11], [18], являются альтернативным решением в нахождении наиболее эффективного способа обработки композитов на основе пластика.

В совместной работе А. Сафонова и Л. Сафонова [16] рассмотрены основные вопросы теории и практики механической обработки пластмасс. Изучение закономерностей процесса резания пластмасс, оценка их реологических и термических характеристик позволят обеспечить необходимое качество обрабатываемых поверхностей и увеличить эффективность обработки. Особое внимание следует уделить процессу охлаждения режущего инструмента, способствующему повышению качества обработанной поверхности с увеличением производительности. Представленные общие закономерности процесса механической обработки полимеров помогают оптимизировать отдельные факторы, влияющие на процесс резания.

Очень важно учитывать особенности обрабатываемости композитов на основе пластика, влияние проблем, которые могут возникнуть в результате их механической обработки, на эффективность процесса резания, качество обработанной поверхности, а также стойкость инструмента. В работе В. К. Нгуен [9] рассматривает влияние технологических параметров на шероховатость обработанной поверхности при резании пластмасс. Установлено, что шероховатость поверхности при продольном точении зависит от сочетания режимов резания и характеристик режущих инструментов: подача, главный и вспомогательный угол в плане, радиус при вершине лезвия. В работе выведены уравнения геометрических соотношений технологических параметров для предварительного определения детерминированной геометрии инструмента составляющей высоты микронеровностей при продольном и поперечном точении,

а также при торцевом фрезеровании. В работе Я. А. Вострикова и О. Ю. Еренкова [8] исследованы факторы, влияющие на процесс резания полимерных материалов. Установлена низкая эффективность применения предназначенных для обработки металлов режущих инструментов и технологических методов при обработке пластмасс. Учитывая, что полимеры имеют отличные от металлов и сплавов свойства, применение инструмента для обработки металла нецелесообразно. Например, теплообразование при резании пластмасс приводит к более негативным последствиям. На обработанной поверхности возникают прижоги, оплавления, сколы.

Разработка оптимальных решений механической обработки и рассмотрение проблем обрабатываемости для конкретных видов композитов на основе полимеров является важной ступенью в формировании нормативных материалов и решении проблемы обеспечения высокого качества поверхности. В работе *A. Yardi-meden* [4] исследовано влияние режимов резания механической обработки композиционных материалов на основе стеклопластика на улучшение качества полученной поверхности. По результатам исследования установлено, что снижение подачи, увеличение скорости резания приводит к уменьшению шероховатости поверхности Ra ; для аналогичных значений подачи и скоростей резания увеличение радиуса вершины инструмента приводит к уменьшению шероховатости поверхности; сила резания увеличивается с увеличением подачи и скорости резания; увеличение радиуса при вершине инструмента уменьшает силы резания. Из чего следует, что высокая скорость резания, низкое значение подачи наиболее оптимальный вариант для получения поверхности с низкой шероховатостью. В совместной работе Mahmoud M. A. Nassar, Ramanathan Arunachalam, Khalid I. Alzebeheh [6] рассмотрены проблемы обрабатываемости композитов, армированных натуральным волокном при сверлении и фрезеровании, а также рекомендованы оптимальные режимы резания по отношению к рассматриваемым методам обработки. Проведена оценка влияния параметров режущего инструмента и режимов обработки на возникновение и величину расслоения материала под воздействием сил резания. Установлено, что к уменьшению расслоения приводит увеличение скорости резания и уменьшение подачи, применение параболических сверл и сверл с величиной угла при вершине, близкой к 118° . Однако, высокие скорости

вращения шпинделя приводят к крошению стружки, что указывает на повышение хрупкости материала и снижение качества обработанной поверхности из-за появления микротрещин.

В работе *M. Putz, M. Dix, M. Neubert, G. Schmidt, R. Wertheim* [5] проведено исследование механической обработки эластомера на основе бутадиен-нитрильного каучука (NBR) с предварительной криогенной обработкой. Исследования показали улучшение обрабатываемости материала при использовании жидкого азота, выразившееся в уменьшении пластической деформации обработанной поверхности и увеличении склонности к хрупкому разрушению.

В работе *V. Lopresto, A. Caggiano, R. Teti* [3] исследованы основные проблемы, возникающие при механической обработке армированных волокном пластиков, наиболее серьезной из которых является повреждение армирующих волокон и прилегающего к ним материала заготовки. Установлено, что помимо геометрии режущего инструмента и режимов резания, особое влияние оказывает ориентация направления резания относительно волокон обрабатываемого материала. При угле взаимной ориентации до 30° достигается повышение качества обработанной поверхности. Обработка при угле ориентации волокон более 60° приводит к растрескиванию обработанной поверхности параллельно направлению волокна, а также износу по задней поверхности режущего инструмента.

Новые инструментальные материалы (PCD, CBN, DLC, TiN), конструкция инструмента и оптимальный выбор режимов резания может существенно увеличить стойкость инструмента. В совместной работе *Jinguan Du, Haizhen Zhang, Yongmiao Geng, Wuyi Ming, Wenbin He, Jun Ma, Yang Cao, Xiaoke Li, Kun Liu* [1] проанализированы проблемы механической обработки керамических матричных композитов, армированных углеродом.

Оптимизация существующих режимов резания является одним из основных направлений в решении вопроса эффективности обработки пластика. В работе *В. А. Самсонова* [10] разработаны рекомендации по выбору рациональных условий точения деталей из пластмасс с заданной шероховатостью поверхности на основе обобщения научных статей, справочных материалов, каталогов, отечественной и иностранной литературы. С помощью предложенных эмпирических зависимостей и таблиц попра-

вочных коэффициентов возможно определить рациональные режимы резания при точении деталей из пластмасс.

В совместной работе *О. Е. Еренкова, А. П. Богачева, М. В. Зеленова* [15] предложен способ токарной обработки заготовок из капролона, при котором обеспечивается повышение точности размеров и формы обработанной поверхности. Задача решается тем, что заготовку из капролона предварительно подвергают обработке шариком. Глубину резания устанавливают с учетом величины упругого восстановления деформированного шариком поверхностного слоя заготовки. В указанном слое образуется структура материала, в которой часть связей разрушена, а часть напряжена и имеет низкую энергию активации связей, что способствует разрыву части возбужденных связей в полимерных цепях тепловыми флуктуациями. Предварительная обработка позволяет снизить прочность поверхностного слоя капролона на 8–11 %, вследствие чего при дальнейшей обработке резанием повышается точность размеров и формы полученной поверхности.

Представленный анализ иллюстрирует актуальность исследований в области механической обработки пластиков в связи с совершенствованием и наращиванием применения данных материалов в важных для современного общества областях. Как в России, так и за рубежом ведутся работы по всестороннему изучению данного вопроса и скорейшей выработке наилучших технологических и инструментальных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A review on machining of carbon fiber reinforced ceramic matrix composites / J. Du et al. // *Ceramics International*. – 2019. – № 45. – С. 18155–18166.
2. A study of cutting temperatures in turning carbon-fiber-reinforced-plastic (CRFP) composites with nose radius worn tools / C.S. Chang // *Polymers and Polymer Composites*. – 2018. – № 26 (1). – С. 19–26.
3. High Performance Cutting of Fibre Reinforced Plastic Composite Materials / V. Lopresto et al. // *Procedia CIRP*. – 2016. – № 46. – С. 71–82.
4. Investigation of optimum cutting parameters and tool radius in turning glass-fiber-reinforced composite material / A. Yardimeden // *Sci Eng Compos Mater*. – 2016. – № 23(1). – С. 85–92.
5. Investigation of Turning Elastomers Assisted with Cryogenic Cooling / M. Putz et al. // *Procedia CIRP*. – 2016. – № 40. – С. 631–636.
6. Machinability of natural fiber reinforced composites: a review / Mahmoud M. A. Nassar et al. // *Int J Adv Manuf Technol*. – 2017. – № 88. – С. 2985–3004.
7. Micro Model of Carbon Fiber/Cyanate Ester Composites and Analysis of Machining Damage Mechanism / Liu et

- al. // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2019. № 32. – С. 52.
8. Анализ параметров режущих инструментов для механической обработки полимерных материалов / Я. А. Востриков, О. Ю. Еренков // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2012. – Т. 1. – С. 23–27.
9. Влияние технологических параметров на шероховатость изделий при обработке пластмасс / Нгуен Ван Кыонг, Дао Тиен Той, Чинь Тхань Нга // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып. 8. Ч. 1. – С. 356–363.
10. Выбор режимов резания при обработке деталей из пластмасс точением / В. А. Самсонов // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – 2017. – № 41. – С. 153–156.
11. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов / О. Ю. Еренков, А. В. Гаврилова // Вестник ТОГУ. Технические науки. – 2007. № 1(4). – С. 137–140.
12. Оптимизация режимов резания при лезвийной обработке глубоких отверстий в полимерных деталях / А. В. Стукач, А. А. Соловьев // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2010. – № 1(11). – С. 15–17.
13. Особенности точения пластиков Ф-4, ПА-6, Ф-4К20 / Д. И. Токарев, А. А. Дроздов, М. Н. Гуляев и др. // Вестник ПНИПУ. – 2018. – Т. 20, № 2. – С. 35–42.
14. Пат. 132199 Россия, U1 G01N 3/58. Устройство для определения начала наступления термической деструкции полимерных композиционных материалов и пластмасс при их обработке резанием / В. М. Ярославцев, Н. Г. Назаров. – Заявка 2013114748/28 от 02.04.2013 – Оpubл. Бюл. №25 от 10.09.2013.
15. Пат. 2554142 Россия, C1 B29C 37/00, B29C 59/02. Способ токарной обработки заготовок из капролона / О. Ю. Еренков, А. П. Богачев, М. В. Зеленов. – Заявка 2014100813/05 от 10.01.2014. – Оpubл. Бюл. №18 от 27.06.2015.
16. Прямоугольные электрические соединители. Основные вопросы теории и практики механической обработки пластмасс / А. Сафонов, Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2009. – № 7. – С. 44–50.
17. Прямоугольные электрические соединители. Основные принципы проектирования и изготовления деталей из фторопласта-4 методом механической обработки / А. Сафонов, Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2013. – № 6. – С. 56–62.
18. Способ точения заготовок из пластмасс / О. Ю. Еренков // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении : сб. науч. ст. – 2016. – С. 41–43.