

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ РЕЗАНИИ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.М. Ярославцев

mt13@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Эффективным направлением улучшения показателей качества обработки резанием изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов может служить применение технологий, в основе которых лежит использование дополнительного термомеханического воздействия, которое за счет изменения состояния и свойств материала поверхностного слоя заготовки обеспечивает требуемый результат. Опытным путем установлены рациональные значения температуры и продолжительности ее воздействия на обрабатываемую поверхность заготовки. Показано, что при оптимальных условиях термомеханической обработки достигается значительное снижение шероховатости обработанной поверхности, полностью исключается образование ворса. Эффективность использования новой технологии экспериментально проверена при обработке

Ключевые слова

Инновационные технологии, обработка резанием, полимерные композиционные материалы, качество поверхностного слоя, ворсистость поверхности, термомеханическое воздействие, термодеструкция

наружных и внутренних цилиндрических поверхностей

Поступила в редакцию 01.03.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Надежность функционирования изделия в течение его жизненного цикла тесно связана с параметрами качества поверхностного слоя деталей машин, которые, в свою очередь, определяются выбранным технологическим процессом изготовления и (или) восстановления [1–3]. Так, лезвийная и особенно абразивная обработка резанием изделий из отдельных разновидностей волокнистых полимерных композиционных материалов (ПКМ) в результате перерезания волокон наполнителя приводит к образованию ворса на обработанной поверхности, что для случаев чистой обработки является недопустимым дефектом [4–11]. И, как следствие, выполнение требований технической документации к отсутствию ворса или ограничению его количественных характеристик при формировании поверхностного слоя разными видами механической обработки становится зачастую главной проблемой технологического обеспечения качества изделий [4, 7–11].

Высокую склонность к образованию ворса имеют полиармированные гибридные композиционные материалы (КМ), содержащие гетероволокнистые нити, существенно отличающиеся прочностными и упругими свойствами, пространственные многокомпонентные структуры КМ (например, каркас 3D из стеклянных и кварцевых волокон) и особенно органопластики или композиции, содержащие органоволокна (рис. 1).

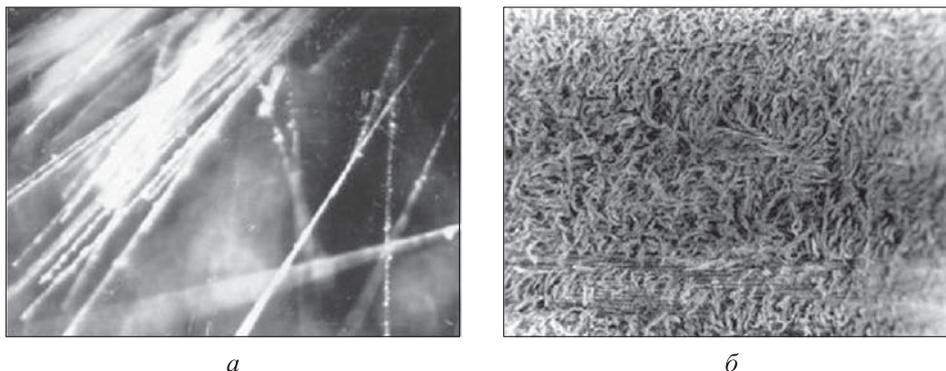


Рис. 1. Поверхность изделия из волокнистого ПКМ после токарной обработки:
а — трехмерный пространственный стеклопластик 3К1Ф3, армированный кварцевыми волокнами; *б* — органопластик СВМ-6

Одним из решений проблемы, связанной со снижением уровня ворсистости поверхности, является применение специальных конструкций режущего инструмента [4, 9–13]. Однако это не позволяет полностью устранить ворсистость и во многих случаях не обеспечивает требуемого качества поверхностного слоя изделия, поскольку в процессе обработки возникают микро- и макроотслоения, на поверхности вскрываются внутренние дефекты материала в виде пор, раковин, непроклеенных слоев и т. д.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан способ чистовой обработки волокнистых ПКМ — резание с дополнительным технологическим покрытием [10, 11, 13, 14], позволяющий полностью устранить ворс. В этом случае обработка в окончательный размер состоит из двух этапов: сначала выполняют предварительную обработку в окончательный размер, затем ворс, образовавшийся на поверхности заготовки, связывают нанесением твердеющего технологического покрытия и проводят повторный (чистовой) проход режущего инструмента в тот же размер. На втором проходе режущим инструментом одновременно удаляется технологическое покрытие и прочно удерживаемый им ворс, обеспечивая возможность получения высокого класса шероховатости поверхности. В качестве покрытия используют различные типы связующего, применяемого при изготовлении ПКМ, или быстротвердеющие клеи и лаки, которые имеют химическое сродство с основным материалом. Основным недостатком способа является низкая операционная производительность, вызванная потерями времени на процесс полимеризации или затвердевания дополнительного покрытия перед окончательным проходом инструмента. Например, при применении в качестве технологического покрытия эпоксидного связующего ЭДТ-10 время его отверждения составляет 9...12 ч, что соответствует промежутку времени до возможности осуществления второго прохода в окончательный размер. Для сокращения времени отверждения покрытия осуществляют искусственный подогрев поверхности (до 120 °С), при этом рекомендуется использовать СВЧ-нагрев или радиоактивное облучение, что существенно ухудшает экологию и санитарно-гигиенические условия труда.

В настоящей работе показано, что в качестве еще одного направления улучшения показателей качества изделий из волокнистых ПКМ может служить применение технологий, в основе которых лежит использование совмещенных во времени и пространстве различных энергетических воздействий на материал разных технологических методов обработки: метода поверхностного пластического деформирования и термической обработки. Подвод комплекса энергий (механической и тепловой), требуемого количества и структуры, в зону обработки осуществляется одним источником. Комбинированное энергетическое воздействие обеспечивает требуемый результат обработки за счет изменения состояния и свойств материала поверхностного слоя, полученных им в результате обработки резанием [13, 15–17]. Эффективность использования новой технологии экспериментально проверена при обработке наружных и внутренних цилиндрических поверхностей.

Особенности влияния термомеханического воздействия (ТМВ) на материал изучали с помощью лабораторного устройства, разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Конструктивная схема устройства приведена на рис. 2.

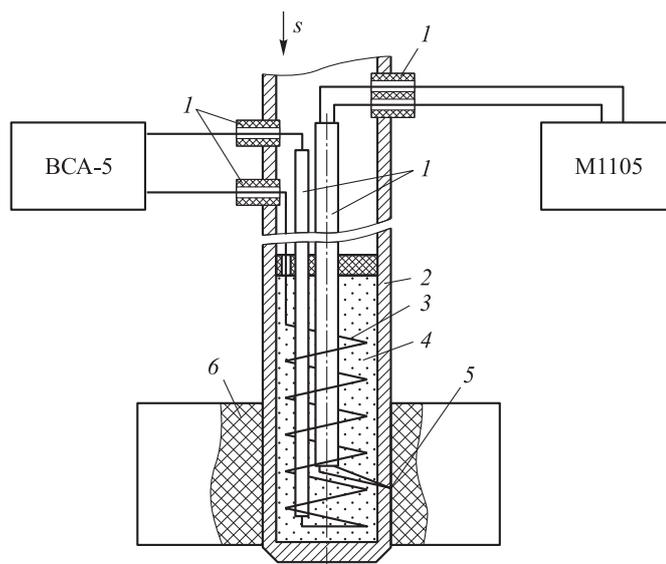


Рис. 2. Конструктивная схема лабораторного устройства для обработки отверстий с термомеханическим воздействием:

1 — керамические электрические изоляторы; 2 — рабочий корпус нагревательного элемента; 3 — электрическая спираль; 4 — полость рабочего корпуса; 5 — термопара; 6 — образец

Устройство состоит из нагревательного элемента, селенового выпрямителя марки ВСА-5, с помощью которого регулируется температура рабочего корпуса нагревательного элемента, и вольтметра типа М1105, регистрирующего значения температуры рабочей поверхности. Нагревательный элемент устройства представляет собой цилиндрический медный корпус 2, нагрев которого осуществляют с помощью размещенной внутри электрической спирали 3. Теплоемкость

нагревательного элемента обеспечивается за счет заполнения полости 4 корпуса кварцевым песком. Температура на поверхности рабочего корпуса 2 регистрируется с помощью проволочной термопары 5 (ТХА, тип К: хромель–алюмель), соединенной с милливольтметром. Изоляция подводющих элементов нагревательной спирали и проводов термопары состоит из керамических трубок 1 (типа МКР).

При экспериментальных исследованиях определяли влияние температуры и длительности теплового воздействия на качество обработанной поверхности. С этой целью в плоском образце б из органопластика СВМ-6 толщиной $\delta = 20$ мм спиральным сверлом $\varnothing 16$ мм (2300-2866 ГОСТ 4010-77) изготавливали серию отверстий. На рекомендуемых при сверлении органопластика СВМ-6 режимах обработки ($v = 0,6$ м/с; $S_o = 0,1$ мм/об) формирование поверхности отверстия сопровождается образованием значительной ворсистой. При этом вследствие высоких упругих деформаций наблюдается и характерная для данного материала усадка диаметра отверстия до $\sim 15,83...15,87$ мм. Затем в отверстие с натягом ($\sim 0,15$ мм на диаметр) вводится нагревательный элемент устройства (его рабочая часть) диаметром 16 мм, закрепленный в сверлильном патроне на вертикально-сверлильном станке мод. 2Н118. В процессе исследования рабочие температуры на стыке нагревательного элемента и поверхности отверстия изменяли в интервале $\theta = 150...600$ °С. Продолжительность τ воздействия температуры на обрабатываемую поверхность заготовки составляла от 10 до 120...180 с.

Экспериментально установлено, что при определенном сочетании значений температуры и времени ее воздействия повышается качество обработанной поверхности, полностью устраняется ворсистость поверхности, что во многих случаях исключает последующую или окончательную механическую обработку. Наиболее рациональными условиями термомеханической обработки органопластика с эпоксидным связующим ЭДТ-10 (ОСТ 3-3178-75) являются следующие температурно-временные интервалы: $\theta = 200...300$ °С и $\tau = 10...20$ с. В этом случае происходит лишь размягчение связующего [18] без заметного изменения его структуры в результате термодеструкции. Давление на стыке трения рабочего корпуса 2 нагревательного элемента, вводимого с натягом в обработанное отверстие, и вязкого поверхностного слоя ПКМ обеспечивает прочную связь ворса, образовавшегося при предшествующей обработке резанием, со связующим веществом и окончательно формирует обработанную поверхность изделия.

Результаты исследований также показывают, что увеличение температуры ТМВ более $\theta \geq 300$ °С приводит к заметному изменению структуры поверхностного слоя с образованием продуктов распада связующего, уменьшению прочности соединения армирующих волокон, существенному снижению качества обработанной поверхности. Воздействие температур $\theta \geq 400$ °С в течение времени, превышающего $\tau = 2...3$ мин, способствует развитию процессов термодеструкции на глубину до 0,25 мм и более, что вызывает необходимость последующей механической обработки отверстия для удаления материала, претерпевшего термическую деструкцию. При высоких температурах ($\theta \geq 500$ °С) имеет место

интенсивная деструкция материала с выделением дыма, образованием на поверхности слоя кокса, сопровождающимся частичным обугливанием ворса.

Процесс ТМВ на поверхностях заготовок может быть реализован на разных операциях обработки резанием. В этом случае источниками теплового и механического воздействий на обрабатываемую поверхность ПКМ могут быть самые разные технологические устройства и конструктивные элементы технологической системы. Например, при обтачивании цилиндрической поверхности заготовки диаметром 130 мм из органопластика СВМ-6 ($v = 0,85$ м/с; $S_o = 0,2$ мм/об; $t = 1,5$ мм) с применением ТМВ в лабораторных условиях в качестве источника термомеханической энергии было использовано накатное роликовое устройство: обкатывание выполняли роликом, подогреваемым до температуры 190...280 °С. В результате выявлено, что данная технология обработки позволила значительно повысить качество обработанной поверхности: полностью устранить ворсистость и снизить параметр шероховатости поверхности с $Rz = 32...16$ мкм (4–5-й классы) до $Ra = 2,5...1,25$ мкм (6-й класс).

К наиболее рациональным способам термомеханического воздействия на обработанную резанием поверхность можно отнести способ, основанный на использовании сил трения. Примером такой технологии обработки служит изготовление сквозных отверстий в заготовках из органопластика СВМ-6. В экспериментах применяли спиральные сверла из быстрорежущей стали Р6М5 с цилиндрическим хвостовиком диаметром 11 мм (2300-2832 ГОСТ 4010–77), 14,50 мм (2300-2859 ГОСТ 4010–77) и 18 мм (2300-2875 ГОСТ 4010–77). При установке сверл на станке в патроне относительно большой участок присоединительной (крепежно-базирующей) части инструмента (хвостовика) оставляли свободным (рис. 3).

При обработке отверстия перемещение инструмента в осевом направлении (движение подачи S_o) осуществляли на полную длину его рабочей части, а также на длину хвостовика, свободную от закрепления в сверлильном патроне (см. рис. 3). В результате в полученное отверстие, имеющее усадку диаметра после сверления, с натягом (~0,1 мм на диаметр 10 мм) заходит цилиндрическая присоединительная (хвостовая) часть инструмента (см. рис. 3), выполняющая роль выглаживающей прошивки. Вращение и поступательное перемещение цилиндрического хвостовика сверла вызывают под действием сил контактного трения быстрый (за 10...15 с) нагрев поверхности отверстия до 200...300 °С. При кратковременном воздействии таких

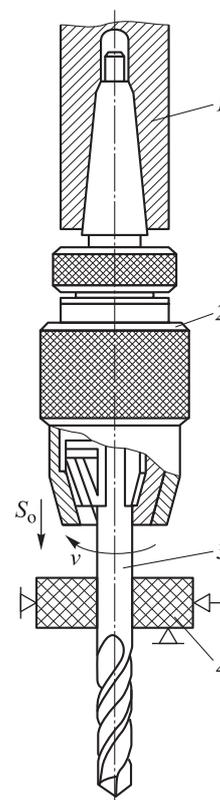


Рис. 3. Схема обработки отверстий в органопластике с ТМВ:

1 — шпиндель станка; 2 — сверлильный патрон; 3 — сверло; 4 — заготовка

температур происходит размягчение связующего, образование псевдожидкой массы [17, 18]. Давление цилиндрической прошивки (хвостовика) на стенки отверстия, а также ее вращательное и поступательное перемещения обеспечивают равномерное распределение размягченного (псевдожидкого) связующего по всей поверхности, впрессовывают выступающий ворс в связующее вещество (формирование «третьего тела»), препятствуют схватыванию и заклиниванию инструмента в обрабатываемом отверстии, обеспечивают высокое качество обработанной поверхности. Так, например, при обработке отверстий диаметром 11, 14,5 и 18 мм параметр шероховатости поверхности снижается с $Rz = 40 \dots 20$ мкм (4-й класс шероховатости поверхности) до $Ra = 2,5 \dots 1,6$ мкм (6-й класс).

Состояние участка поверхности хвостовика, свободного от закрепления в сверлильном патроне, также отражается на качестве обработки. Так, исследования показали, что участвующий в ТМВ отполированный гибким эластичным кругом участок присоединительной части сверла до $Ra = 0,32 \dots 0,16$ мкм обеспечивает более высокий класс шероховатости поверхности отверстия в органо-пластике (7-й; $Ra = 0,8 \dots 0,63$ мкм). Полученный результат на один класс выше, чем в случае применения хвостовика в стандартном исполнении, данные для которого приведены ранее.

Следует отметить, что при сверлении отверстий в изделиях из стекло- и углепластика величина усадки диаметра отверстий значительно, на порядок меньше [19], что существенно отражается на режимных параметрах ТМВ, таких как контактное давление на стыке трения хвостовика инструмента с обрабатываемой поверхностью и скорость увеличения температуры. В этом случае для интенсификации процесса ТМВ при обработке отверстий могут использоваться сверла с увеличенным диаметром хвостовика по сравнению с диаметром рабочей части инструмента (рис. 4) на необходимую величину натяга. В экспериментальных исследованиях требуемый диаметр уступа получали путем шлифования рабочей части стандартных сверл по наружному диаметру. Применяли сверла с диаметрами рабочей части $d = 11,0$, $14,6$ и $18,0$ мм, выполненными из сверл $d = 11,10$ мм (2300-2833 ГОСТ 4010-77), $d = 14,75$ мм (2300-2860 ГОСТ 4010-77), $d = 18,25$ мм (2300-2876 ГОСТ 4010-77) соответственно. Обработывали сквозные отверстия глубиной 18 мм в образцах из стекло- и углепластика на следующих режимах резания: $v = 0,17 \dots 0,20$ м/с; $S_0 = 0,14$ мм/об.

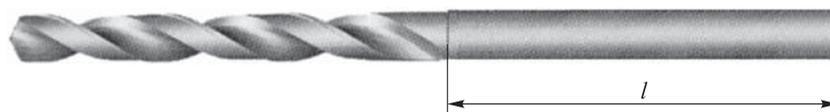


Рис. 4. Сверло с увеличенным диаметром присоединительной части l

Опытным путем установлено, что применение сверл с уступами, как показано на рис. 4, при обработке отверстий в заготовках из стекло- и углепластика так же, как в заготовках из органо-пластика, повышает за счет ТМВ качество об-

работанных отверстий. В частности, шероховатость поверхностей снижается от значений $Ra = 8,0 \dots 5,0$ мкм до величин $Ra = 4,0 \dots 2,0$ мкм.

При технологической обработке режима ТМВ следует учитывать, что с ростом износа инструмента по задней поверхности h_z увеличивается усадка отверстия и соответственно величина натяга (удельного давления) на стыке трения, оказывающая непосредственное влияние на интенсивность нагрева обрабатываемой поверхности.

Обобщение представленных данных позволяет рекомендовать рассмотренные технологии, основанные на целенаправленном изменении свойств волокнистых ПКМ путем комбинированного теплового и механического воздействий на обработанную резанием поверхность, как перспективное направление решения технологических проблем обеспечения высокого качества изделий разных отраслей промышленности, использующих в своих конструкциях волокнистые ПКМ. Внедрение новых технологий позволяет полностью исключить ворс на обработанной поверхности, обеспечив высокий класс шероховатости. Комбинированные технологии, выполняемые за одну установку заготовки и осуществляющие обработку резанием и ТМВ одним инструментом, наряду с высоким качеством обрабатываемых поверхностей, создают благоприятные условия для повышения производительности обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников К.С., Баландин Г.Ф., Дальский А.М. и др. Технологические основы обеспечения качества машин / под общ. ред. К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1990. 256 с.
2. Ярославцев В.М. Технологическое обеспечение качества и надежности деталей машин методами обработки в условиях реновации // Методы менеджмента качества. 1997. № 12. С. 24–28.
3. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Прогнозирование надежности реновируемых деталей машин на основе анализа структуры технологии восстановления // Методы менеджмента качества. 1999. № 8. С. 52–58.
4. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных материалов. Л.: Машиностроение, 1987. 176 с.
5. Криворучко Д.В., Залого В.А., Пасечник В.А. и др. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор) / под общ. ред. профессора В.А. Залого. Сумы: Университетская книга, 2013. 272 с.
6. Верезуб Н.В., Тарасюк А.П., Хавин Г.Л., Гетманов А.А. Механическая обработка волокнистых полимерных композитов. Харьков: Изд-во ХНАДУ (ХАДИ), 2001. 179 с.
7. Ярославцев В.М. Особенности и метрологические резервы оценки качества изделий из полимерных композиционных материалов // Комментарии к стандартам. 2012. № 11. С. 30–35.
8. Макаров В.Ф., Мешкас А.Е., Ширинкин В.В. Исследование проблем механической обработки современных высокопрочных композиционных материалов, используемых для производства деталей авиационной и ракетно-космической техники // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, машиноведение. 2015. Т. 17. № 2. С. 30–41.

9. Тарасюк А.П., Кондратюк О.Л., Везуб Н.В. Технологии механической обработки полимерных композитов. Харьков: Точка, 2015. 226 с.
10. Ярославцев В.М. Обработка резанием полимерных композиционных материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 180 с.
11. Ярославцев В.М. Высокоэффективные технологии обработки изделий из композиционных материалов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 4. С. 1–24. DOI: 10.7463/0412.0361759
URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/361759.html>
12. Ющенко Д.А., Лобанов Д.В. Методы лезвийной обработки изделий из композиционных материалов, их специфика и перспективы // Технологии и материалы. 2015. № 3. С. 26–35.
13. Ярославцев В.М. Технологические решения проблем обработки ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2005. № 2. С. 41–62.
14. Ярославцев В.М. Совершенствование метода резания с дополнительным технологическим покрытием для чистовой обработки волокнистых композитов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. № 2. С. 196–209.
DOI: 10.7463/0216.0833934 URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/833934.html>
15. Ярославцев В.М. Базовые положения общности технологических методов обработки // Материалы 7-го Всероссийского Совещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. С. 185–186.
16. Ярославцев В.М. Разработка методологии поиска новых методов обработки и ее практическая реализация // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2007. № 2. С. 56–70.
17. Ярославцев В.М., Назаров Н.Г. Способ сверления волокнистых полимерных материалов и инструмент для его осуществления. Патент РФ 2593559. Заявл. 30.12.2014, опубл. 10.08.2016.
18. Семенов Б.И., Игнатова Е.В. Методы соединения однородных и разнородных материалов и композитов, перспективные для использования в ракетостроении // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. Спец. выпуск. 2005. С. 99–105.
19. Мозговой Н.И., Марков А.М. Исследование процесса формирования показателей качества отверстий в деталях из стеклопластика // Ползуновский вестник. 2009. № 1–2. С. 284–287.

Ярославцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Ярославцев В.М. Новые технологии повышения качества поверхностного слоя при резании волокнистых полимерных композиционных материалов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 6. С. 79–88.

DOI: 10.18698/0236-3941-2017-6-79-88

NEW TECHNOLOGIES FOR SURFACE LAYER QUALITY IMPROVEMENT IN CUTTING FIBROUS POLYMER COMPOSITE MATERIALS

V.M. Yaroslavtsev

mt13@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper shows that an effective method to improve the quality of machining the products made of fibrous polymer composite materials can be application of technologies based on additional thermo-mechanical effect, which provides the desired treatment result by changing the state and properties of the material of the surface layer of the workpiece. By test we established the rational temperature values and the duration of its impact on the processed surface of the workpiece. Findings of the research show that under optimal conditions of thermo-mechanical treatment it is possible to achieve a significant reduction in roughness of the processed surface, and hair formation is completely eliminated. The effectiveness of the new technology was verified experimentally when processing internal and external cylindrical surfaces

Keywords

Innovative technology, machining, polymer composite materials, surface layer quality, hairiness of the surface, thermo-mechanical effects, thermal destruction

Received 01.03.2017
© BMSTU, 2017

REFERENCES

- [1] Kolesnikov K.S., Balandin G.F., Dal'skiy A.M., et al. Tekhnologicheskie osnovy obespecheniya kachestva mashin [Background technology of machines quality maintenance]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 256 p.
- [2] Yaroslavtsev V.M. Engineering quality and reliability maintenance of machinery parts by treatment methods in conditions of renovation. *Metody menedzhmenta kachestva* [Methods of Quality Management], 1997, no. 12, pp. 24–28 (in Russ.).
- [3] Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. Reliability prediction for renovated machinery parts based on structure analysis of remanufacturing technique. *Metody menedzhmenta kachestva*, 1999, no. 8, pp. 52–58 (in Russ.).
- [4] Stepanov A.A. Obrabotka rezaniem vysokoprochnykh kompozitsionnykh materialov [Cutting work of high-strength composites]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1987. 176 p.
- [5] Krivoruchko D.V., Zaloga V.A., Pasechnik V.A., et al. Mekhanicheskaya obrabotka kompozitsionnykh materialov pri sborke letatel'nykh apparatov (analiticheskiy obzor) [Composites machining in process of aircraft assembling (analytical review)]. Sumy, Universitetskaya kniga Publ., 2013. 272 p.
- [6] Verezub N.V., Tarasyuk A.P., Khavin G.L., Getmanov A.A. Mekhanicheskaya obrabotka voloknistykh polimernykh kompozitov [Fibre polymer composites machining]. Khar'kov, KhNADU (KhADI) Publ., 2001. 179 p.
- [7] Yaroslavtsev V.M. Features and metrological backup of polymer composites product quality assessment. *Kommentarii k standartam*, 2012, no. 11, pp. 30–35 (in Russ.).
- [8] Makarov V.F., Meshkas A.E., Shirinkin V.V. Research problems machining high strength composite materials used for the production of details of aviation and space-rocket technicians. *Vestnik PNIPU. Mashinostroenie, mashinovedenie* [Bulletin PNRPU. Mechanical Engineering, Materials Science], 2015, vol. 17, no. 2, pp. 30–41 (in Russ.).

- [9] Tarasyuk A.P., Kondratyuk O.L., Verezub N.V. *Tekhnologii mekhanicheskoy obrabotki polimernykh kompozitov* [Polymer composites machining technologies]. Khar'kov, Tochka Publ., 2015. 226 p.
- [10] Yaroslavtsev V.M. *Obrabotka rezaniem polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Cutting work of polymer composites]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2012. 180 p.
- [11] Yaroslavtsev V.M. High efficiency technologies of machining of products made of composite materials. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication], 2012, no. 4, pp. 1–24 (in Russ.).
DOI: 10.7463/0412.0361759 Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/361759.html>
- [12] Yushchenko D.A., Lobanov D.V. Methods cutting processing of composite materials their specificity and prospects. *Tekhnologii i materialy* [Aviation Materials and Technologies], 2015, no. 3, pp. 26–35 (in Russ.).
- [13] Yaroslavtsev V.M. Technology solutions for problems of machining rocket and space constructions made of composites. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mechan. Eng.], 2005, no. 2, pp. 41–62 (in Russ.).
- [14] Yaroslavtsev V.M. An improved cutting method with additional technological coating for clean finishing of fibrous composites. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication], 2016, no. 2, pp. 196–209 (in Russ.). DOI: 10.7463/0216.0833934
Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/833934.html>
- [15] Yaroslavtsev V.M. Fundamental propositions of processing method similarity. *Materialy 7-go Vserossiyskogo Soveshchaniya-seminara «Inzhenerno-fizicheskie problemy novoy tekhniki»* [Proc. 7th Russ. Institute “Engineering-physical problems of new technics”]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2003, pp. 185–186 (in Russ.).
- [16] Yaroslavtsev V.M. Development and practical implementation of methodology of search of new methods of material processing. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mechan. Eng.], 2007, no. 2, pp. 56–70 (in Russ.).
- [17] Yaroslavtsev V.M., Nazarov N.G. *Sposob sverleniya voloknistykh polimernykh materialov i instrument dlya ego osushchestvleniya* [Drilling method for fibre polymer composites and tools for its realization]. Patent RF 2593559. Appl. 30.12.2014, publ. 10.08.2016.
- [18] Semenov B.I., Ignatova E.V. Joining methods for uniform and non-uniform materials and composites, which are promising for use in rocket production. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mechan. Eng.], 2005, spec. iss., pp. 99–105 (in Russ.).
- [19] Mozgovoy N.I., Markov A.M. Research on process of quality index formation of the holes in fiberglass parts. *Polzunovskiy vestnik*, 2009, no. 1–2, pp. 284–287 (in Russ.).

Yaroslavtsev V.M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of Material Processing Technologies Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Yaroslavtsev V.M. New Technologies for Surface Layer Quality Improvement in Cutting Fibrous Polymer Composite Materials. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2017, no. 6, pp. 79–88.
DOI: 10.18698/0236-3941-2017-6-79-88