

**Еренков О. Ю., Верещагина А. С., Кравченко Е. Г.**  
**O. Yu. Yerenkov, A. S. Vereshchagina, E. G. Kravchenko**

### **ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАГОТОВКУ**

### **LATHE MACHINING OF POLYMERIC MATERIALS BASED ON THE ELECTROPHYSICAL IMPACT UPON BLANKS**



**Еренков Олег Юрьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: [erenkov@list.ru](mailto:erenkov@list.ru).

**Mr. Oleg U. Yerenkov** – Dr.habil. of Engineering, Professor, Department of Mechanical Engineering, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: [erenkov@list.ru](mailto:erenkov@list.ru).



**Верещагина Александра Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: [osa321@gmail.com](mailto:osa321@gmail.com).

**Ms. Alexandra S. Vereshchagina** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: [osa321@gmail.com](mailto:osa321@gmail.com).



**Кравченко Елена Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: [ek74@list.ru](mailto:ek74@list.ru).

**Ms. Elena G. Kravchenko** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: [ek74@list.ru](mailto:ek74@list.ru).

**Аннотация.** Рассмотрены особенности высокопроизводительной токарной обработки полимерных материалов, заключающиеся в изменении свойств обрабатываемого материала посредством электрофизического воздействия на его структуру с целью снижения энергосиловых параметров токарной обработки. Исследовалась прочность полимерного материала в зависимости от параметров обработки образцов наносекундными электромагнитными импульсами. На основе результатов эксперимента разработана концепция высокопроизводительной токарной обработки полимерных материалов, базирующаяся на аддитивном эффекте, возникающем при комбинировании обычной токарной обработки с электрофизическим воздействием на заготовку в виде облучения ее наносекундными электромагнитными импульсами.

**Summary.** The paper considers the high-performance turning machining of polymeric materials which aims at changing the properties of processed materials by means of electrophysical impact upon their structure for the purpose of decreasing the energy and power parameters of turning. We study the durability of polymeric materials depending on the parameters of processing the samples with nanosecond-long electromagnetic pulses. Relying on the results of the experiment, we propose a technique for high-performance turning of polymeric materials which is based on the additive effects arising from the combination of conventional lathe turning and electrophysical impact upon a blank through bombarding it by nanosecond-long EMPs.

**Ключевые слова:** полимерные материалы, высокоскоростная токарная обработка, наносекундный электромагнитный импульс.

**Key words:** polymeric materials, high-speed turning, nanosecond electromagnetic pulse.

УДК 621.921.8 (043)



Наличие у полимерных материалов специфичных свойств обуславливает резкое отличие процессов их резания от процессов резания металлов [1], в связи с чем реализация высокоскоростной и, следовательно, высокопроизводительной токарной обработки полимерных материалов представляет на сегодняшний день нерешенную научно-практическую проблему.

На практике производительность токарной обработки полимерных материалов лимитируется стойкостью режущего инструмента и качеством обработанной поверхности. При этом режимы обработки и параметры режущей части инструмента назначаются без учета состояния структуры полимерного материала, что и является причиной ограниченной производительности процесса на основе обычных методов обработки.

Таким образом, задача повышения производительности токарной обработки заготовок из полимерных материалов является актуальной для современного машиностроения, так как ее решение позволит улучшить технико-экономические показатели выпускаемой продукции.

Одним из путей решения данной задачи является разработка и реализация новой концепции высокопроизводительной токарной обработки полимерных материалов, техническая сущность которой заключается в изменении свойств обрабатываемого материала посредством электрофизического воздействия на его структуру с целью снижения энергосиловых параметров токарной обработки.

Ранее проведенными исследованиями [2] установлено, что для изменения структуры и, соответственно, свойств полимерных материалов используют электрофизические воздействия, такие как термообработка, обработка материалов ультразвуковыми колебаниями, магнитными и электрическими полями, электромагнитными импульсами.

Авторами проводились исследования прочности полимерного материала в зависимости от параметров обработки образцов наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ). В качестве исследуемого материала использовался капролон, широко применяемый для изготовления деталей для различных машиностроительных производств. В качестве источника НЭМИ применялся специальный генератор ГНИ-01-1-6, изготовленный Южно-Уральским государственным университетом и имеющий следующие параметры:

- длительность импульсов – 1 нс;
- мощность одного импульса более 1 МВт;
- амплитуда импульсов более 8 кВ;
- максимальная допустимая частота следования генерирующих импульсов – 1000 Гц;
- напряженность электрического поля достигает  $10^5 - 10^7$  В/м.

Характерной особенностью наносекундных электромагнитных импульсов является их однополярность, что приводит к отсутствию осциллирующих колебаний в излучаемом поле. Следствием этого выступает наличие пространственно-временного направленного действия силы за время одного импульса, создающего условия для воздействия на структуру и физико-химические свойства вещества [3].

Экспериментальные исследования влияния облучения НЭМИ на прочность капролона выполнялись следующим образом. На первом этапе плоские образцы капролона, изготовленные в виде двусторонних «лопаток» с прямоугольным сечением в рабочей зоне размером  $3 \times 2$  мм, подвергались воздействию НЭМИ в течение определенного промежутка времени от 1 до 10 мин. Затем образцы подвергались одноосному растяжению при помощи нагружающего устройства универсальной установки АЛА ТОО ИМАШ 20-75. Кривая нагружения  $\sigma = f(\tau)$  регистрировалась с помощью самописца разрывной установки, при этом испытания проводили при постоянных условиях проведения опытов: выдерживались технология изготовления образцов, температура, влажность, скорость и величина нагружения при одноосном растяжении, согласно ГОСТ 11262–80.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные по исследованию прочности капролона в зависимости от времени воздействия НЭМИ, при этом прочность капролона оценивалась по пределу вынужденной эластичности. Анализ представленных данных показывает, что облучение капролона НЭМИ в течение 1, 5 и 10 мин приводит к снижению прочности образцов.

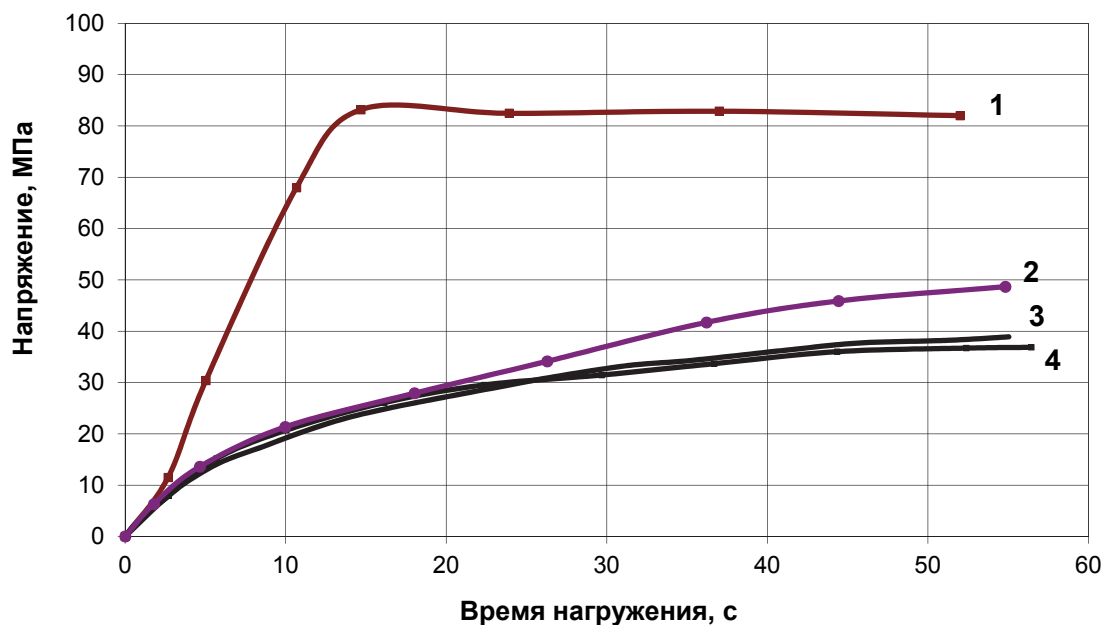


Рис. 1. Прочность капролона в зависимости от времени облучения НЭМИ:  
1 – без облучения; 2 – время облучения 1 мин;  
3 – время облучения 5 мин; 4 – время облучения 10 мин

Такой факт можно объяснить следующим образом. Как известно, полимерные материалы имеют тенденцию к изменению физико-механических свойств за счет электронного возбуждения полимерной структуры после электрофизического воздействия [4]. Если происходит электронное возбуждение полимерных цепей, то оно вызывает уменьшение энергий её связи. Данный эффект приводит к уменьшению механической стабильности нагруженной полимерной сетки и таким образом способствует разрыву цепи, возникновению разрушения или распространению микротрещин, увеличению дефектных мест, т. е. разрыхлению и охрупчиванию, и, следовательно, снижению механической прочности материала.

На основании представленных экспериментальных данных (см. рис.1) разработан способ обработки заготовок из капролона [5]. Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является повышение производительности обработки заготовки и физико-механических свойств изделий. Указанная задача решается тем, что предварительно точению заготовки из капролона предварительно обрабатывают НЭМИ. Заготовку из капролона закрепляют в токарном станке известным способом. Затем к торцам заготовки с помощью электродов подключают генератор наносекундных электромагнитных импульсов и производят обработку. После обработки заготовки капролона наносекундными электромагнитными импульсами её отсоединяют от генератора и обрабатывают механически на токарном станке обычными резцами.

С целью совершенствования технологического процесса разработан более совершенный способ обработки заготовок из капролона [6] и устройство для его реализации [7]. Техническая сущность способа заключается в том, что одновременно с резанием производят процесс облучения заготовки наносекундными электромагнитными импульсами, при этом в

качестве электродов для облучения наносекундными электромагнитными импульсами используют резец и скользящий элемент, которые контактируют с заготовкой из капролона и изолированы от металлических частей станка.

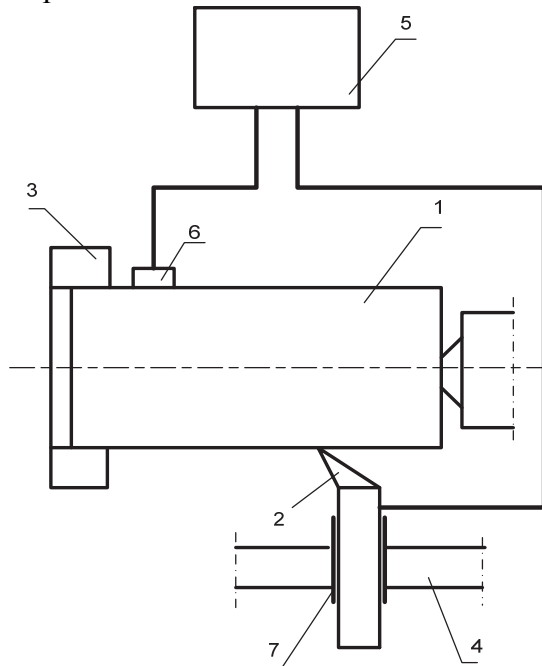


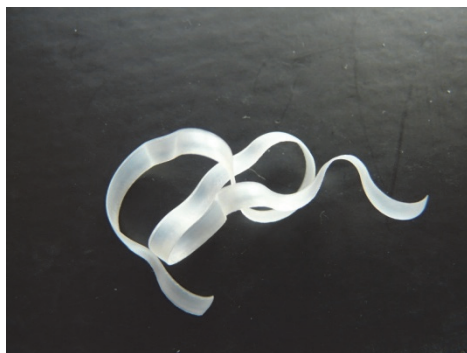
Рис. 2. Схема устройства для обработки заготовок из капролона

На рис. 2 приведена схема устройства для обработки заготовок из капролона. Заготовку 1 из капролона закрепляют в токарном станке известным способом. Затем к режущему инструменту 2 и к скользящему элементу 6 с помощью зажимов подключают генератор 5 наносекундных электромагнитных импульсов и производят обработку импульсами. Одновременно производят механическую обработку заготовки 1 режущим инструментом 2 с образованием стружки. Такая комбинированная обработка, в силу проявления вышеописанных эффектов, приводит к образованию разупрочненного поверхностного слоя материала, что позволит увеличить скорость резания и, следовательно, повысить производительность токарной обработки.

Подтверждением такого предположения служат фотографии стружек капролона, полученные при токарной обработке заготовок.

Стружка на рис. 3, а является непрерывной сливной. Такой вид стружки получается при обработке капролона в результате вязкого разрушения материала заготовки под действием режущих кромок инструмента. После добавления операции облучения заготовки НЭМИ характер стружкообразования резко изменяется, и стружка образуется элементная (рис. 3, б), т.е. состоящая из отдельных фрагментов. Такая стружка образуется в результате хрупкого разрушения материала под действием режущих кромок инструмента.

а)



б)

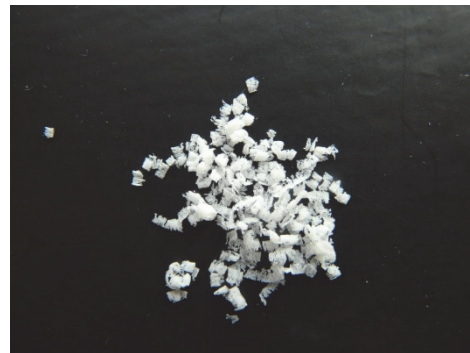


Рис. 3. Стружка капролона: а – после точения обычной заготовки; б – после точения заготовки, облученной НЭМИ

Факт образования элементной стружки (рис. 3, б) является экспериментальным подтверждением вышеописанных предположений об изменении структуры капролона под воздействием НЭМИ. При проведении токарной обработки заготовок производили измерение составляющей  $P_z$  силы резания при помощи балочного датчика силы СВ1А-КЗ, закрепленного на резце, аналогично ранее проведенным исследованиям [8]. Так, при точении обычной



заготовки из капролона составляющая  $P_z$  силы резания составляла 25 кН, а при точении заготовки, одновременно облучаемой НЭМИ, сила резания снижается до 12 кН. Снижение силы  $P_z$  объясняется технологическим разупрочнением поверхностного слоя обрабатываемой заготовки, которое происходит за счет развития имеющихся и образования новых внешних и внутренних дефектов в виде микротрещин благодаря воздействию НЭМИ.

Параметры токарной обработки устанавливаются на основании ранее проведенных исследований [8; 9] и составляли: скорость резания 145 м/с, продольная подача 0,1 мм/об, глубина резания 1,0 мм.

## Выводы

Сформирована новая концепция высокопроизводительной токарной обработки полимерных материалов, базирующаяся на аддитивном эффекте, возникающем при комбинировании обычной токарной обработки с электрофизическим воздействием на заготовку в виде облучения ее наносекундными электромагнитными импульсами.

Дальнейшие исследования будут посвящены установлению взаимосвязей между параметрами воздействия и качественными изменениями в структуре различных полимерных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Еренков, О. Ю. Инновационные технологии механической обработки полимерных материалов резанием / О. Ю. Еренков. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2014. – 202 с.
- 2 Еренков, О. Ю. Технология получения и обработка резанием полимерных композиционных материалов / О. Ю. Еренков. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2014. – 143 с.
- 3 Белкин, В. С. Наносекундные электромагнитные импульсы и их применение / В. С. Белкин, В. А. Бухарин, В. К. Дубровин [и др.]; под ред. В. В. Крымского. – Челябинск: 2001. – 110 с.
- 4 Карташов, Э. М. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров / Э. М. Карташов, Б. Цой, В. В. Шевелев. – М.: Химия, 2002. – 736 с.
- 5 Пат. № 2494864 Российская Федерация, (51) МПК В 29 С 37/00. Способ обработки заготовок из пластмасс / О. Ю. Еренков, С. О. Еренков, А. П. Богачев. – № 2012107300; заявл. 28.02.2012; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 28. – 3 с.
- 6 Пат. № 2503538 Российская Федерация, (51) МПК В 29 С 37/00. Способ обработки заготовок из капролона / О. Ю. Еренков, С. О. Еренков, Хосен Ри, В. Э. Ри, А. П. Богачев. – № 2012151758; заявл. 03.12.2012; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1. – 3 с.
- 7 Пат. № 2518595 Российская Федерация, (51) МПК В 29 С 37/00. Устройство для обработки заготовок из пластмасс / О. Ю. Еренков, С. О. Еренков, Хосен Ри, В. Э. Ри, А. П. Богачев. – № 2012107300; № 2012151756; заявл. 03.12.2012; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16. – 3 с.
- 8 Erenkov O. Yu., Erenkov, S. O., Radchenko M. V. Experimental study of the effect of engineering system condition during turning polymer materials on machined surface roughness // Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 49, Nos. 7–8, November, 2013 Page 491-494.
- 9 Еренков, О. Ю. Математическая модель нелинейных колебаний и определение условий неустойчивости технологической системы при точении / О. Ю. Еренков, А. Г. Ивахненко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2010. – № I-1(1). – С. 45-51.