

УДК 621.375.826
DOI: 10.12737/21426

А.В. Богданов, к.т.н., **Ю.В. Голубенко**, к.т.н.,
Е.М. Тюльпанова, студент
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр.1)
E-mail: mtbmstu@mail.ru

Особенности лазерной резки полимеров

Приведены свойства и строение полимерных материалов. Рассмотрено влияние параметров излучения на результат лазерной резки полимеров. На основе этого определены оптимальные режимы резки.

Ключевые слова: лазерная резка; лазер; полимерные материалы; полимеры.

A.V. Bogdanov, Can.Eng., **Yu.V. Golubenko**, Can.Eng.,
E.M. Tyulpanova, Student
(Bauman STU of Moscow, 5, Building 1, 2-d Baumanskaya Str., Moscow 105005)

Peculiarities in polymer laser cutting

In this paper the application of laser cutting methods for polymeric materials working is under consideration. The authors analyze the laser beam effect upon polymers reasoning from the peculiarities of their structure and properties. The methods to eliminate defects at polymer laser cutting, the methods to increase the interaction effectiveness of radiation with material, process quality are offered. To determine the dependences of a cut width and a value of flash formed at the beam input and its output of material worked there were carried out experiments at different rates and constant capacity of CO₂-laser. According the results of the researches carried out the optimum working modes were established.

Keywords: laser; polymeric materials; polymers.

Полимерные материалы, характеризующиеся разнообразными свойствами, широко применяются в современной технике. Общий объем их потребления в мире растет.

Полимерные материалы – это высокомолекулярные материалы, молекулы которых (микромолекулы) состоят из большого числа повторяющихся группировок или молекулярных звеньев, соединенных между собой химическими связями. Число звеньев характеризует степень полимеризации. Полимеры могут иметь естественное (целлюлоза, натуральный каучук) и искусственное (полиэтилен, полистирол, полиамид и др.) происхождение.

Свойства полимеров – прочность, теплоустойчивость, твердость, теплопроводность и т.д. – зависят от химического строения элементарных звеньев, размера структуры и формы макромолекул и молекулярной организации.

Наиболее распространенными полимерами являются следующие: полиолефины – полиэтилен, полиизобутилен, полипропилен, поливинил-циклогексан и др.; хлорсодержащие полимеры – поливинилхлорид (ПВХ), пенополивинилхлориды (ПВХ-1, ПВС-1, ПВХЭ), полистирол (ПС), АБС-пластики; акриловые пластики – полиметилакрилат (ПММА); полиамиды (гетероцепные полимеры) – капрон,

фенилон; полиэфиры (поликонденсационные полимеры) – поликарбонаты, полиэтилен-терефталат; фторопласты – фторлоны Ф-4М, Ф-40 и др.

Методика проведения исследований

Наряду с традиционными методами обработки полимеров применяют лазерную обработку – резку [1].

При воздействии лазерного излучения на органические материалы происходят различные химические реакции деструкции, испарения, сублимации, термической диссоциации с выделением газов. В ряде случаев образуется аэрозоль в виде мелкодисперсных частиц испаренного материала.

При быстром испарении материала под воздействием лазерного излучения даже небольших плотностей мощности, порядка $10^3 \dots 10^4$ Вт/см², образуется эрозионный факел, который экранирует обрабатываемую поверхность, вызывает поглощение излучения и снижает интенсивность процесса нагрева. Конкретный уровень мощности, вызывающий экранировку, зависит от параметров излучения, свойств обрабатываемого материала и окружающей среды.

Кроме рассмотренных явлений поглощения и рассеяния при обработке полимерных материалов могут возникать искажения формы луча, тепловое расплывание, случайные смещения центра тяжести пучка излучения.

Практически при любых условиях процесс лазерной резки сопровождается формированием шероховатости поверхности, или «канавок» и «гребней», на кромках («щеках») реза. Можно наблюдать бороздки различной амплитуды и с разным расстоянием между гребнями в зависимости от используемых параметров резки.

Объяснение механизмов шероховатости (бороздок) можно дать с учетом неустойчивостей течения расплава на фронте лазерной резки. Однако общепринятой модели такого механизма пока не существует.

Одна из ранних моделей была разработана проф. Д. Шуокером [2]. В ней рассмотрены вынужденные колебания слоя расплава, поддерживаемые пульсациями давления и скорости потока режущего газа. Частотный спектр этих пульсаций находится в диапазоне от нуля до нескольких килогерц, и существуют частоты, резонансные частотам свободных колебаний слоя расплава.

Согласно моделям, рассматриваемым в

других работах [3], предполагается, что поток приводится в движение касательным напряжением от струи режущего газа. Эти модели строятся на нестационарных двухмерных уравнениях баланса массы, импульса и тепла. Этот анализ позволил получить хорошее совпадение аналитического выражения для глубины бороздок с результатами экспериментальных измерений.

Существует совершенно иная концепция механизма неустойчивости процесса лазерной резки, приводящей к образованию бороздок [4]. Основной причиной этой неустойчивости является такая особенность температурного поля, создаваемого медленно перемещающимся источником тепла, что это поле в первом приближении соответствует полю неподвижного источника.

В этом случае сканирующий лазерный пучок постоянно перекрывает и нагревает верхнюю поверхность образца, и часть этой поверхности, примыкающая к фронту реза, начинает разрушаться (плавиться, испаряться, крошиться и т.д.) раньше, чем поверхность фронта реза. Если материал нагреваемой зоны после плавления удаляется за счет продольного перепада давления в струе режущего газа, то диаметр отделяющейся капли определяется динамическим давлением потока газа, размером поля течения, на котором изменяется давление газа, и поверхностным натяжением [5].

Для устранения влияния эрозионного факела с целью повышения эффективности резки в зону взаимодействия излучения с материалом подается рабочий газ для соответствующих материалов. Первоочередное назначение этого газа заключается в удалении испарившихся частиц, плазмы и образовавшегося расплава. В ряде случаев, например, при газолазерной резке диэлектриков, поверхностный слой материала разогревается до температуры разрушения и выдувается газовой струей с последовательным разрушением слоев, что способствует увеличению скорости заглупления и резки.

Кроме того, газовая струя также защищает поверхность оптической фокусирующей системы от попадания на нее продуктов выброса из зоны резки.

При резке материалов органического происхождения следует обратить внимание на меньшую ширину реза, по сравнению с определяемой геометрией сфокусированного лазерного излучения. Это связано с образованием слоя газов из материала разрезаемого образца под действием лазерного излучения.

Этот слой газов смешивается с газом (воздухом), продуваемым из сопла резака, и образует раскаленную газовую струю, прорезающую в дальнейшем материал в глубину.

Качество и производительность резки неметаллов в значительной степени определяются сочетанием параметров лазерного излучения и газового сопла.

Качество процесса лазерной резки полимеров определяется состоянием кромки реза. Состояние кромки реза зависит от скорости резки, давления газовой струи. Экспериментальные исследования проводились на полимере марки АПЭТ – аморфный полиэтилентерефталат.

Исследования проводились с целью выявления характера зависимости ширины реза от скорости лазерной резки и от давления воздуха в резаке при различных направлениях движения резака. Вырезаемый образец имел форму восьмиугольника (рис. 1).

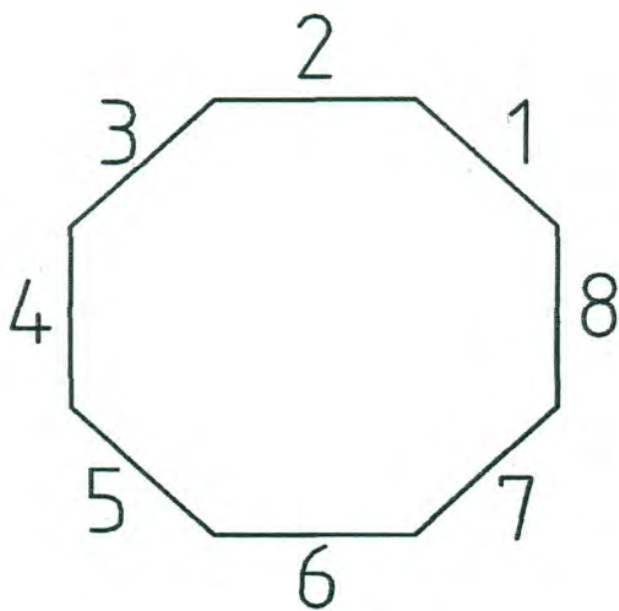


Рис. 1. Экспериментальный образец:
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – порядковые номера сторон резов

Эксперименты проводились на отпаяном CO₂-лазере: мощность 150 Вт; выходная апертура – 7 мм; состав излучения – одномодовый; расходимость луча – 0,003 рад; фокусное расстояние линзы – 100 мм; диаметр пятна в фокусе – 0,3 мм; толщина обрабатываемого материала – 6 мм.

Эксперименты для выявления зависимости ширины реза и образуемого грата на входе и выходе от скорости резания проводились при постоянной мощности $P = 80$ Вт.

Результаты экспериментальных исследований

Результаты исследований представлены на рис. 2 – 4, графиках (рис. 5) и табл. 1 – 3.

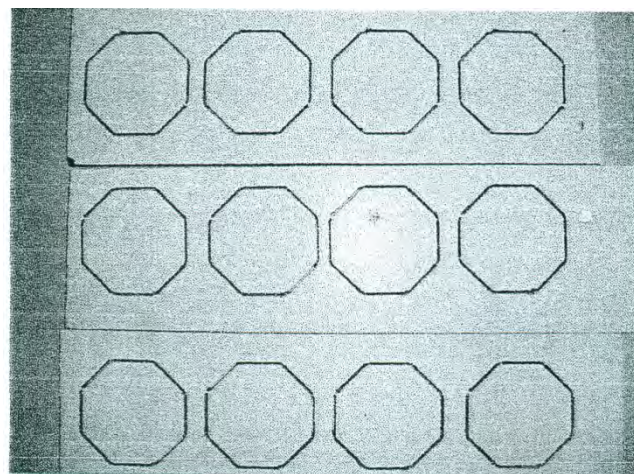


Рис. 2. Лицевая поверхность

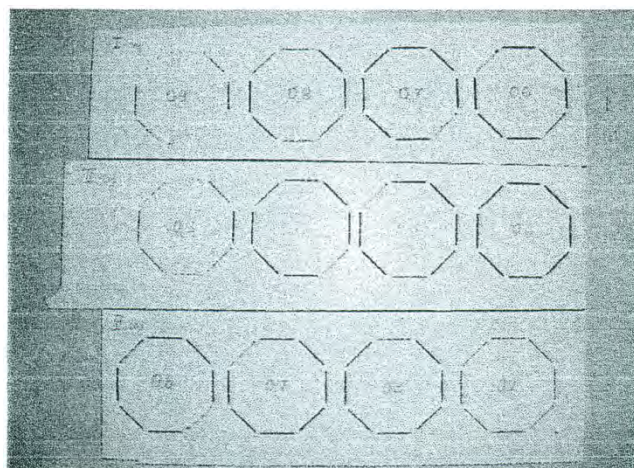


Рис. 3. Изнаночная поверхность

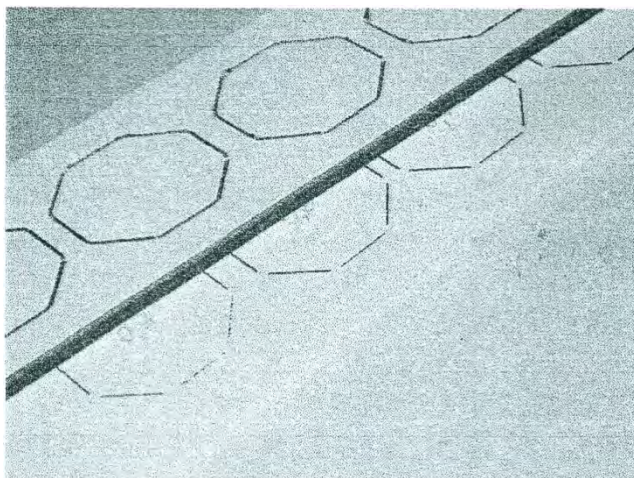


Рис. 4. Сравнение поверхностей реза (сверху – лазерный рез, продукты распада делают рез темным, при необходимости отмываются водой)

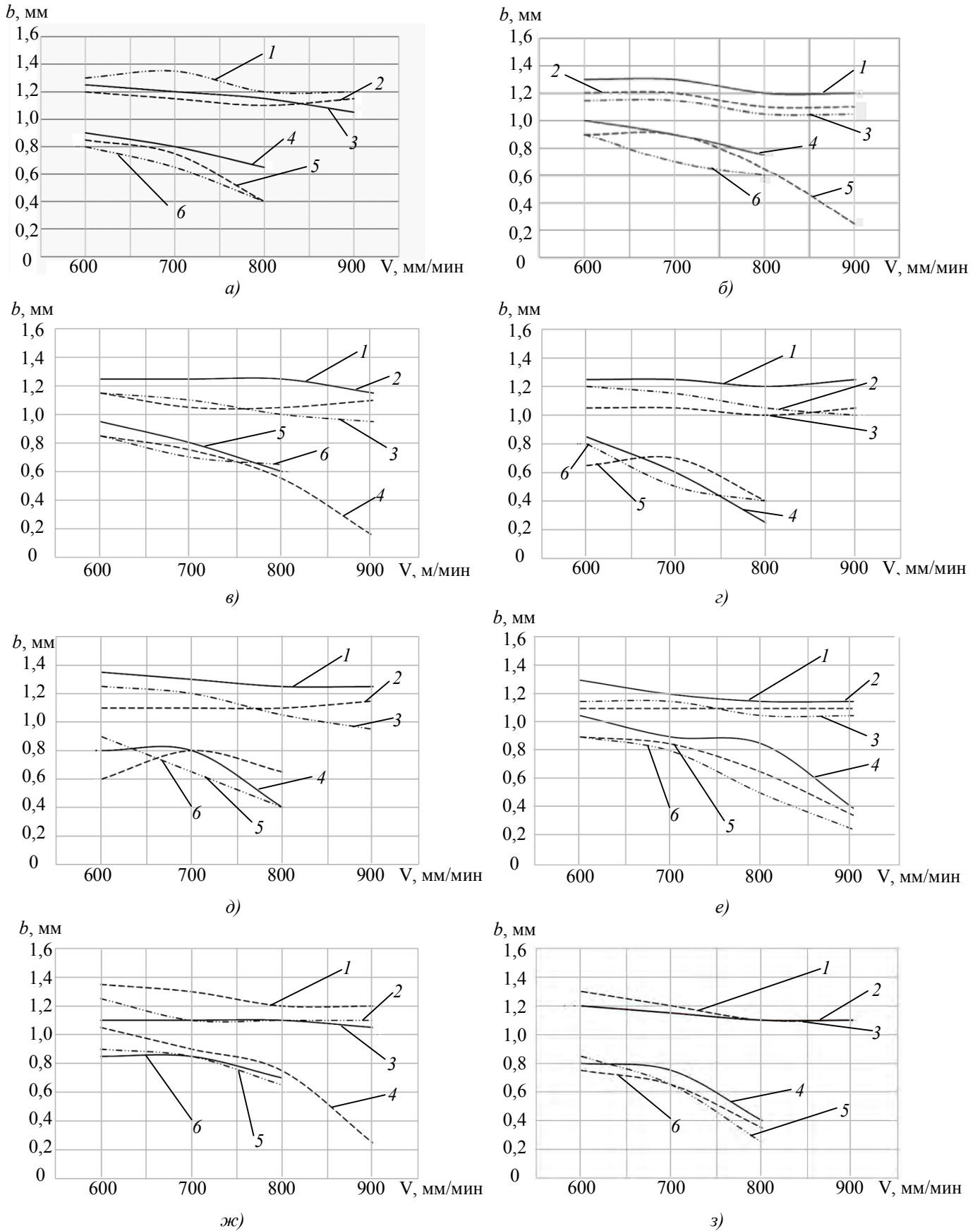


Рис. 5. Зависимость ширины реза от давления и скорости на стороне: а – 1; б – 2; в – 3; г – 4; д – 5; е – 6; ж – 7; з – 8 (графики 1, 2, 3 – лицевая сторона образца; 4, 5, 6 – изнаночная сторона)

1. Максимальное давление газа

Скорость резки, мм/мин	Ширина реза на лицевой стороне восьмигранника, мм								Ширина реза на изнаночной стороне восьмигранника, мм							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
600	1,3	1,3	1,25	1,25	1,35	1,3	1,35	1,3	0,9	1	0,95	0,85	0,8	1,05	1,05	0,8
700	1,35	1,3	1,25	1,25	1,3	1,2	1,3	1,2	0,8	0,9	0,8	0,6	0,8	0,9	0,9	0,75
800	1,2	1,2	1,25	1,2	1,25	1,15	1,2	1,1	0,65	0,75	0,6	0,25	0,4	0,85	0,75	0,4
900	1,2	1,2	1,15	1,25	1,25	1,15	1,2	1,1	непрорез				0,4	0,25	непрорез	

2. Среднее давление газа

Скорость резки, мм/мин	Ширина реза на лицевой стороне восьмигранника, мм								Ширина реза на изнаночной стороне восьмигранника, мм							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
600	1,2	1,2	1,15	1,05	1,1	1,1	1,1	1,2	0,85	0,9	0,85	0,65	0,6	0,9	0,9	0,85
700	1,15	1,2	1,05	1,05	1,1	1,1	1,1	1,15	0,75	0,9	0,75	0,7	0,8	0,8	0,85	0,65
800	1,1	1,1	1,05	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	0,4	0,65	0,55	0,4	0,65	0,5	0,65	0,25
900	1,15	1,1	1,1	1,05	1,15	1,1	1,05	1,1	непрорез		0,25	0,15	непрорез		0,25	непрорез

3. Минимальное давление газа

Скорость резки, мм/мин	Ширина реза на лицевой стороне восьмигранника, мм								Ширина реза на изнаночной стороне восьмигранника, мм							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
600	1,25	1,15	1,15	1,2	1,25	1,15	1,25	1,2	0,8	0,9	0,85	0,8	0,9	0,9	0,85	0,75
700	1,2	1,15	1,1	1,15	1,2	1,15	1,1	1,15	0,65	0,7	0,7	0,5	0,65	0,85	0,85	0,65
800	1,15	1,05	1,0	1,05	1,05	1,05	1,1	1,1	0,4	0,6	0,65	0,4	0,4	0,65	0,7	0,35
900	1,05	1,05	0,95	1,0	0,95	1,05	1,1	1,1	непрорез				0,35	непрорез		

4. Резка лазером с одномодовым излучателем

Скорость резки, мм/мин	Ширина реза на лицевой стороне восьмигранника, мкм								Ширина реза на изнаночной стороне восьмигранника, мкм							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
400	650	600	750	700	650	550	550	550	750	550	850	650	650	550	600	650
600	600	600	650	700	600	550	500	550	400	300	350	500	350	300	350	250
800	550	550	600	650	600	500	500	550	280	250	270	250	280	300	230	220
1000	550	400	550	600	550	500	500	500	непрорез							

Выводы

В результате проведенных исследований и анализа экспериментов, взятых из компетентных источников, было установлено, что на экспериментальной установке с мощностью 150 Вт оптимальными режимами обработки являются: скорость резки – 650...700 мм/мин; давление воздуха в резке – 0,25 МПа.

Для одномодового лазера мощностью 150 Вт, исходя из анализа экспериментов, оптимальной является скорость 650 мм/мин. Чтобы определить оптимальное давление воздуха в резке в этом случае, нужно провести ряд экспериментов, и, зная оптимальное значение скорости, это сделать достаточно просто.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубенко, Ю.В., Бондарев, А.В., Пономаренко, К.В. Лазерная резка полимеров и неметаллических композиционных материалов // Технология машиностроения. – 2005. – № 10. – С. 57–59.
2. D. Schuocker, Ind. Las. Handbook, Ed.D. Belforte D.M. Levitt, Penwell, Tulsu, OK, 1987. pp. 65–79.

3. P. Sforza, V. Santecesaria. Proc. SPLE 2207, 1994. pp.836–847.

4. Макашов, Н.К., Асмолов, Е.С., Блинов, В.В. // Квантовая электроника. – 1992. – №9. – С. 910–915.

5. Коваленко, В.С., Романенко, В.В., Олещук, Л.М. Безотходные процессы лазерной резки. – Киев: Техника, 1987.

REFERENCES

1. Golubenko, Yu.V., Bondarev, A.V., Ponomarenko, K.V. Laser cutting of polymers and nonmetallic composites // *Engineering Techniques*. – 2005. – № 10. – pp. 57–59.

2. D. Schuocker, Ind. Las. Handbook, Ed.D. Belforte D.M. Levitt, Penwell, Tulsu, OK, 1987. pp. 65–79.

3. P. Sforza, V. Santecesaria. Proc. SPLE 2207, 1994. pp.836–847.

4. Makashov, N.K., Asmolov, E.S., Blinov, V.V. // *Quantum Electronics*. – 1992. – №9. – pp. 910–915.

5. Kovalenko, V.S., Romanenko, V.V., Oleshchuk, L.M. *Nonwaste Processes of Laser Cutting*. – Kiev: Equipment, 1987.

Рецензент д.т.н. И.И. Васильцов

Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Обращайтесь в редакцию! E-mail: naukatm@yandex.ru