

## ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА

Д.В. Вагин

dmitryvagin@mail.ru

SPIN-код: 4863-5126

Е.В. Семенов

gvneis@yandex.ru

SPIN-код: 2227-4176

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

---

### Аннотация

Рассмотрено применение обработки волоконным лазером для маркировки полиметилметакрилата (ПММА). Выявлена принципиальная возможность получения выступающих над поверхностью материала изображений с достаточной контрастностью при воздействии на образец излучением, для которого органическое стекло (ПММА) является прозрачным. Для проведения экспериментов использовался волоконный лазер с длиной волны излучения 1,06 мкм, оснащенный сканирующей оптической системой. Для изучения процесса формирования выступающего над поверхностью изображения варьировались такие параметры, как средняя мощность, скорость маркировки, частота следования импульсов и интервал заливки. Исследовано влияние каждого из параметров на высоту получаемого валика.

### Ключевые слова

Лазерная маркировка, лазерная обработка полиметилметакрилата (ПММА), маркировка прозрачного пластика, формирование выпуклых структур

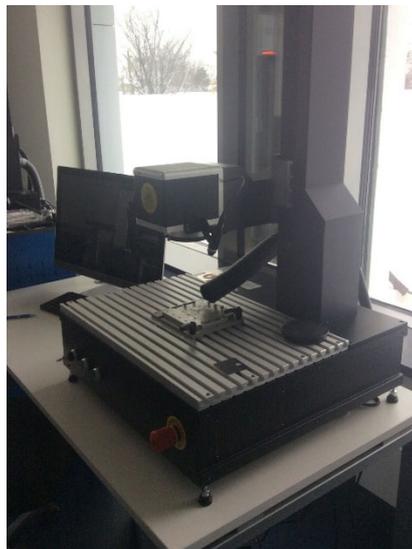
Поступила в редакцию 25.04.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

---

**Введение.** Маркировка является перспективным направлением развития в области лазерных технологий благодаря ее востребованности практически везде [1]. В настоящее время наименее исследованным является процесс лазерной маркировки диэлектриков. К ним относятся стеклянные материалы, полимеры, драгоценные камни и т. п. Одним из таких материалов является полиметилметакрилат (ПММА). Благодаря своим свойствам органическое стекло (ПММА) находит широкое применение в таких областях, как приборостроение (для изготовления корпусов, диэлектрических деталей), для создания сувениров и рекламной продукции, а также на транспорте, в строительстве и архитектуре [2–5].

В настоящее время наиболее распространенным методом маркировки оргстекла является удаление материала с поверхности излучением CO<sub>2</sub>-лазера и образованием лунки цветом, отличающимся от основного материала [6]. Простота данного метода обусловлена тем, что органическое стекло непрозрачно для длины волны  $\lambda = 10,6$  мкм. На данном этапе развития лазерной техники набирают популярность волоконные итербиевые лазеры, излучающие в ближнем



**Рис. 1.** Внешний вид установки HTF MARK 20

ИК-диапазоне с длиной волны  $\lambda = 1,06$  мкм, для которой ПММА является прозрачным. При этом полимер обладает конечной оптической прочностью [7, 8], т. е. при достижении определенной плотности мощности или количества воздействий происходит разрушение материала и образование контрастного изображения. Интерес представляет также локальное увеличение объема материала за счет появления пузырьков в следствии термодеструкции полимера [9, 10]. Таким образом, имеется принципиальная возможность маркировки ПММА излучением волоконного иттербиевого лазера.

#### **Объекты и методы исследования.**

Обработку образцов проводили на промышленной установке HTF MARK 20 (рис. 1), характеристики которой приведены ниже.

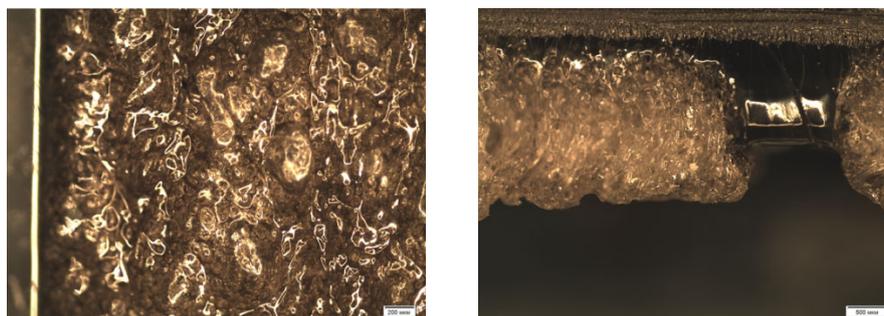
#### **Основные технические характеристики HTF MARK 20**

Длина волны, нм .....	1060–1085
Энергия в импульсе, мДж .....	до 1 мДж
Частота повторения импульсов, кГц .....	20–80
Скорость маркировки, мм/с .....	100–5000
Диаметр пятна в фокусе, мкм .....	30
Точность позиционирования, мкм .....	5
Средняя мощность, Вт .....	2–20

Управление установкой осуществляли с помощью программы Marking studio. В качестве объекта исследований использовали прозрачную пластинку ПММА.

**Формирование выпуклого изображения.** В ходе экспериментов выявлен небольшой диапазон режимов, при котором начинается формирование изображения, выступающего относительно основного материала. Эти режимы характеризуются малой интенсивностью (при которой не происходит поглощения за один проход) и коэффициентом перекрытия в перпендикулярном линиям заливки направлению близким к единице. В результате в материале образуются пузырьки (рис. 2), которые поднимают материал над поверхностью, а также создают контрастность.

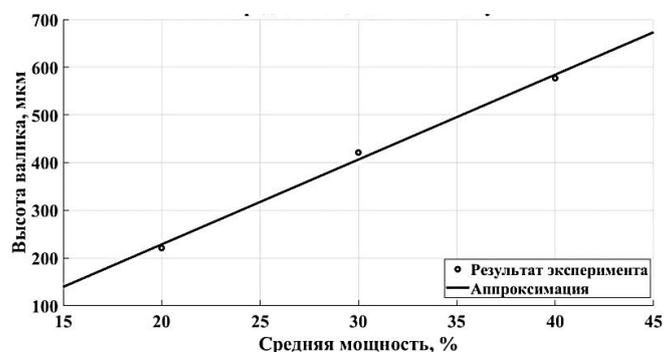
Отметим, что при увеличении шага в направлении, перпендикулярном линиям заливки, число проходов излучения по одному и тому же месту уменьшается, поэтому вспучивания не возникает. Следует ожидать, что и при достаточном уменьшении плотности мощности вспучивания не произойдет. При превышении определенного значения погонной энергии материал плавится и горит.



**Рис. 2.** Валик на пластинке толщиной 2 мм:  
*a* — вид сверху, увеличение  $\times 50$ ; *б* — вид разлома

В ходе экспериментов было изучено влияние параметров лазерной маркировки на высоту изображения относительно основного материала. Наиболее важными параметрами, от которых зависит формирование объемной структуры, являются средняя мощность, скорость маркировки, частота следования импульсов, интервал заливки и положение фокуса относительно обрабатываемой поверхности.

**Влияние средней мощности на высоту валика.** Как показано на рис. 3, с увеличением мощности увеличивается высота получаемого валика, но при дальнейшем повышении мощности начинается интенсивное плавление материала за пределами воздействия лазерного луча, процесс локального вспенивания нарушается, возможно начало горения.



**Рис. 3.** Влияние средней мощности на высоту валика

**Влияние скорости маркировки на высоту валика.** На рис. 4 видно, что с увеличением скорости маркировки происходит уменьшение высоты получаемого валика. Это связано с меньшим количеством вводимой энергии вследствие изменения коэффициента перекрытия в направлении следования сканирования. Однако стоит подчеркнуть, что в результате увеличения скорости уменьшается время между двумя соседними линиями заливки, что также сказывается на параметрах получаемого валика.

**Влияние частоты следования импульсов на высоту валика.** На рис. 5 продемонстрировано, что с увеличением частоты следования импульсов высота

полученного валика увеличивается. Это, вероятно, связано с изменением коэффициента перекрытия, что ведет к увеличению количества поглощаемой энергии. Отметим, что скорость маркировки при этом остается неизменной, вследствие чего время между соседними линиями заливки остается постоянным.

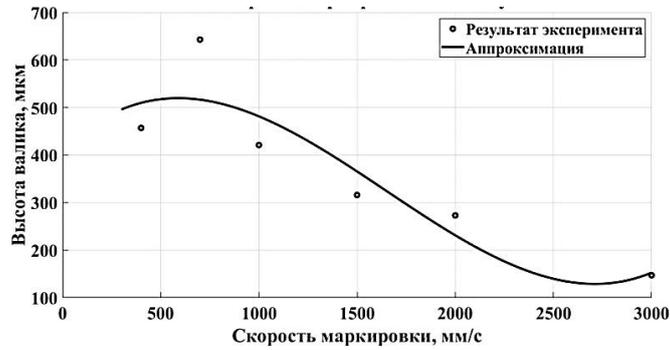


Рис. 4. Влияние скорости маркировки на высоту валика

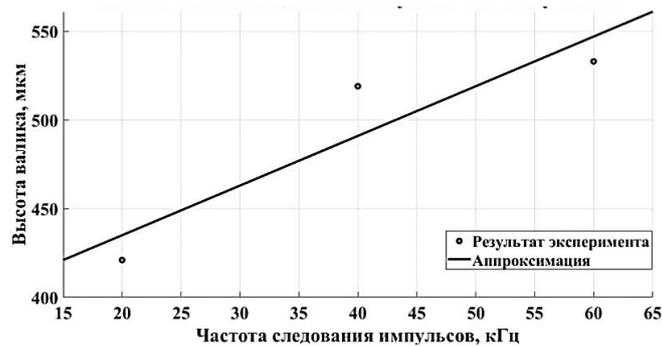


Рис. 5. Влияние частоты следования импульсов на высоту валиков

**Влияние интервала заливки на высоту валика.** Как видно на рис. 6, при увеличении интервала заливки высота валика уменьшается вследствие уменьшения коэффициента перекрытия в направлении, перпендикулярном линиям заливки. При определенном шаге заливки (более 0,02 мм) валик не формируется.

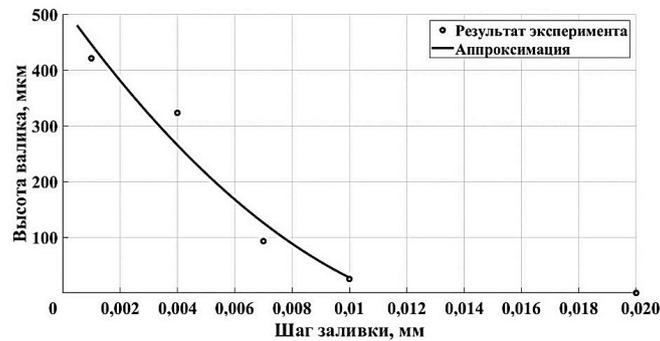


Рис. 6. Влияние интервала заливки на высоту валиков

**Выводы.** В ходе исследования выполнена маркировка прозрачного ПММА. Получено контрастное изображение, выступающее над поверхностью основного материала. Изучено влияние на высоту получаемого валика основных параметров лазерной маркировки, таких как средняя мощность, скорость маркировки, частота следования импульсов и интервала заливки.

### Литература

- [1] Горный С.Г., Юдин К.В. Применение лазерной маркировки в промышленности. *Металлообработка*, 2003, № 6, с. 21–23.
- [2] Новиков В.Л. Применение современных технологий в декоративно-прикладном искусстве и дизайне. *Теоретические и практические аспекты развития современной науки. Мат. XIV межд. науч.-практ. конф.* М., Институт Стратегических Исследований, 2014, с. 129–134.
- [3] Петров А.А., Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г. и др. Исследование особенностей изготовления деталей остекления из частично сшитых органических стекол. *Авиационные материалы и технологии*, 2013, № 2, с. 32–34.
- [4] Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Тригуб Т.С. и др. Модифицированные органические стекла для перспективной авиационной техники. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2012, № 2, с. 2–4.
- [5] Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Богатов В.А. Модифицированные органические стекла для перспективной авиационной техники. *Вопросы оборонной техники*, 2009, № 3, с. 33–39.
- [6] Букатый В.И., Пономарев А.А. Взаимодействие мощного лазерного излучения с полимерами. *Известия Алтайского государственного университета*, 2008, № 1, с. 98–100.
- [7] Бутенин А.В., Коган Б.Я. Механизм разрушения прозрачных полимерных материалов при многократном воздействии импульсного лазерного излучения. *Квантовая электроника*, 1976, т. 3, № 5, с. 1136–1138.
- [8] Воронина Э.И., Ефремов В.П., Привалов В.Е. и др. Оптическая прочность полимерных материалов при их лазерной абляционной деструкции. *Журнал технической физики*, 2009, т. 79, № 5, с. 143–145.
- [9] Li J., Wang W., Mei X., et al. The formation of convex microstructures by laser irradiation of dual-layer polymethylmethacrylate (PMMA). *Opt. Laser Technol.*, 2018, vol. 106, pp. 461–468. DOI: 10.1016/j.optlastec.2018.05.014  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030399217316031>
- [10] Степанов Д.В., Ремез Л.М. Получение псевдообъемных букв на пластике методом лазерной маркировки. *Молодежный научно-технический вестник*, 2015, № 5. URL: <http://ainsnt.ru/doc/775928.html>

**Вагин Дмитрий Владимирович** — студент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Семенов Евгений Владимирович** — студент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Богданов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Голубенко Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

## THE FORMATION OF THREE-DIMENSIONAL IMAGES ON POLYMETHYLMETHACRYLATE UNDER THE INFLUENCE OF RADIATION FROM A FIBER LASER

D.V. Vagin

dmitryvagin@mail.ru

SPIN-code: 4863-5126

E.V. Semenov

gveneis@yandex.ru

SPIN-code: 2227-4176

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

*This article reviews the use of fiber laser processing for the labeling of polymethyl methacrylate (PMMA). The possibility is revealed of obtaining images protruding above the surface of the material with sufficient contrast by laser impact for which organic glass (PMMA) is transparent. For experiments, a fiber laser was used with a wavelength of 1.06  $\mu\text{m}$ , equipped with a scanning optical system. To study the process of forming a protruding image above the surface, the following parameters were varied: average power, marking speed, pulse repetition rate, and fill interval. The influence is studied of each of the parameters on the height of the resulting roller.*

### Keywords

*Laser marking, laser processing of polymethyl methacrylate (PMMA), marking of transparent plastic, formation of convex structures*

Received 25.04.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

---

### References

- [1] Gornyy S.G., Yudin K.V. Application of laser marking in industry. *Metalloobrabotka*, 2003, no. 6, pp. 21–23 (in Russ.).
- [2] Novikov V.L. [Application of modern technologies in arts and crafts and design]. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty razvitiya sovremennoy nauki. Mat. XIV mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Theoretical and practical aspects of modern science development. Proc. XIV Int. Sci.-Tech. Conf.]. Moscow, Institut Strategicheskikh Issledovaniy Publ., 2014, pp. 129–134 (in Russ.).
- [3] Petrov A.A., Mekalina I.V., Sentyurin E.G., et al. Features of manufacture of glazing parts from partially cross-linked organic glasses. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2013, no. 2, pp. 32–34 (in Russ.).
- [4] [Sentyurin E.G., Mekalina I.V., Trigub T.S., et al. Modified organic glasses for advanced aviation technologies. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2012, no. 2, pp. 2–4 (in Russ.).
- [5] Mekalina I.V., Sentyurin E.G., Bogatov V.A. Modified organic glasses for advanced aviation technologies. *Voprosy oboronnoy tekhniki*, 2009, no. 3, pp. 33–39 (in Russ.).
- [6] Bukatyy V.I., Ponomarev A.A. Interaction of powerful laser radiation with polymers. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [Izvestiya of Altai State University Journal], 2008, no. 1, pp. 98–100 (in Russ.).
- [7] Butenin A.V., Kogan B.Ya. Mechanism of damage of transparent polymer materials due to multiple exposure to laser radiation pulses. *Kvantovaya elektronika*, 1976, vol. 3, no. 5, pp. 1136–1138 (in Russ.). (Eng. version: *Sov. J. Quantum Electron.*, 1976, vol. 6, no. 5, pp. 611–613. DOI: 10.1070/QE1976v006n05ABEH011411 URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1070/QE1976v006n05ABEH011411>)

- [8] Voronina E.I., Efremov V.P., Privalov V.E., et al. Optical strength of polymers at laser ablating destruction. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2009, vol. 79, no. 5, pp. 143–145. (in Russ.).
- [9] Li J., Wang W., Mei X., et al. The formation of convex microstructures by laser irradiation of dual-layer polymethylmethacrylate (PMMA). *Opt. Laser Technol.*, 2018, vol. 106, pp. 461–468. DOI: 10.1016/j.optlastec.2018.05.014  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030399217316031> (in Russ.).
- [10] Stepanov D.V., Remez L.M. Achieving pseudo-3D letters on plastics by method of laser marking. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskij vestnik*, 2015, no. 5.  
URL: <http://ainsnt.ru/doc/775928.html> (in Russ.).

**Vagin D.V.** — Student, Department of Laser Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Semenov E.V.** — Student, Department of Laser Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Bogdanov A.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Laser Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Golubenko Yu.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Laser Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.