

## ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВА ВУДА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

В. М. Медунецкий<sup>1\*</sup>, С. В. Солк<sup>2</sup>, В. С. Шевцов<sup>2</sup><sup>1</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия  
\* [vm57med@yandex.ru](mailto:vm57med@yandex.ru)<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения,  
Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

**Аннотация.** Рассмотрена технология изготовления зеркал из сплава Вуда и приводится конкретный пример их изготовления. Заготовка из данного сплава получается путем литья в форму, изготовленную на 3D-принтере. Формообразование зеркала осуществляется на станке алмазного микроточения. Предложенный подход позволяет оперативно (в течение 1-2 суток) изготавливать прототипы зеркал сложной формы.

**Ключевые слова:** оптические зеркала, 3D-принтер, алмазное микроточение, сплав Вуда, прототипирование

**Ссылка для цитирования:** Медунецкий В. М., Солк С. В., Шевцов В. С. Применение сплава Вуда для изготовления оптических зеркал // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 5. С. 459–462. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-5-459-462.

## APPLICATION OF WOOD'S ALLOY FOR OPTICAL MIRRORS MANUFACTURING

V. M. Medunetsky<sup>1\*</sup>, S. V. Solk<sup>2</sup>, V. S. Shevtsov<sup>2</sup><sup>1</sup> ITMO University, St. Petersburg, Russia  
\* [vm57med@yandex.ru](mailto:vm57med@yandex.ru)<sup>2</sup> Scientific-Research Institute of Opto-Electronic Instrumentation, Sosnovy Bor, Leningrad region, Russia

**Abstract.** A technology for mirrors manufacturing from Wood's alloy is considered and a specific example of their manufacture is given. A workpiece from this alloy is obtained by casting into a mold made on a 3D printer. The shaping of the mirror is carried out on a diamond micro-turning machine. The proposed approach makes it possible to quickly (within 1–2 days) produce prototypes of mirrors of complex shapes.

**Keywords:** optical mirror, 3D printer, diamond micro-turning, Wood's alloy, prototyping

**For citation:** Medunetsky V. M., Solk S. V., Shevtsov V. S. Application of Wood's alloy for optical mirrors manufacturing. *Journal of Instrument Engineering*. 2024. Vol. 67, N 5. P. 459–462 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-5-459-462.

В настоящее время наблюдается постоянное усложнение промышленной продукции при сокращении ее жизненного цикла. Возросшая конкуренция заставляет производителей повышать показатели качества и сокращать время на разработку новых образцов [1]. В таких условиях возникает необходимость в опытных образцах — моделях и прототипах отдельных деталей и узлов. Под прототипом понимается приближенное представление одного или нескольких аспектов продукта, принятая работающая модель или опытный образец [2]. Создание прототипов позволяет изучить конструкцию, выявить и устранить дефекты, принять решение о целесообразности серийного производства [1].

В работе [3] отмечается, что несмотря на наступившую эпоху цифровизации и создания виртуальных моделей объектов, физическое прототипирование является зачастую безальтернативным или более эффективным способом проверки конструкторско-технологических решений. Значительно упрощает процесс развития технологий 3D-печати [4] для получения прототипов механических деталей. К сожалению, такая технология неприемлема для изготовления оптических элементов, в частности зеркал, так как не позволяет получить оптическую поверхность с необходимой точностью формы, требуемыми коэффициентами отражения и рассеяния излучения.

В целях существенного упрощения и ускорения процесса изготовления прототипов оптических зеркал был разработан следующий способ. Первоначально на металлообрабатывающих станках изготавливалась литейная форма. Ее конструкция должна обеспечивать получение заготовки зеркала с требуемыми геометрическими параметрами. Затем в литейную форму, нагретую до заданной температуры, заливался расплавленный сплав с низкой температурой плавления. В данном случае используется сплав Вуда [5]. Выбор сплава определялся доступностью материала, низкой ( $68,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температурой плавления и, как показали эксперименты, возможностью получения оптических поверхностей. Охлаждение литейной формы тоже осуществлялось по заданному режиму. Следует отметить, что сплав Вуда содержит кадмий, который является канцерогеном и оксид которого, особенно пары, вреден для здоровья. Поэтому все работы осуществлялись в специальном шкафу с вытяжкой.

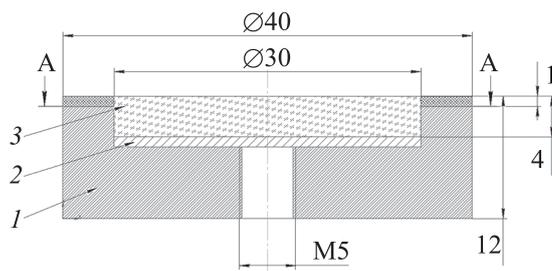


Рис. 1

На рис. 1 приведена конкретная конструкция литейной формы, где 1 — корпус, 2 — вкладыш, 3 — заготовка оптического зеркала после застывания. Резьбовое отверстие в корпусе и вкладыш служат для упрощения извлечения заготовки. После остывания конструкции корпус протачивался по линии А-А для возможности подвода инструмента к заготовке при последующем формообразовании. Диаметр заготовки 30 мм, толщина 4 мм.

Затем, с сохранением заготовки в оправе, осуществлялось формообразование плоской оптической поверхности методом алмазного микроточения (АМТ) [6] или традиционным полированием методом свободного притира. Формообразование методом АМТ осуществлялось на станке фрезерного типа [7] МО 600 ПЛ [8], а формообразование полированием — на ножном станке. После извлечения зеркала из корпуса были проведены измерения и получены следующие результаты: для поверхности после АМТ —  $R_q = 85\text{ \AA}$ ,  $N = 2,0$ ,  $\Delta N = 0,5$ ; для поверхности после полирования —  $R_q = 40\text{ \AA}$ ,  $N = 1,0$ ,  $\Delta N = 0,2$ . Измерения проводились на апертуре 28 мм, контрольная длина волны составляла  $0,6328\text{ мкм}$ .

Следует учитывать, что при нанесении отражающих и защитных покрытий в вакуумной камере из-за низкой температуры плавления зеркала не допускается его нагрев до температур, при которых начнутся необратимые изменения формы оптической поверхности.

Для получения заготовок зеркал более сложной формы могут быть использованы технологии 3D-печати. На рис. 2 представлены литейная форма (а) и отлитая заготовка зеркала (б). Для изготовления литейной формы использовался 3D-принтер Prism pro v2 и Компас-3D для создания модели. Материал для отливки — ABS (акрилонитрил бутадиен стирол) фирмы REC, диапазон эксплуатационных температур от  $-40$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , нетоксичный при нормальных условиях, прочность при растяжении поперек слоев  $19,7\text{ МПа}$ , широко используется в 3D-печати для прототипирования и создания демонстрационных моделей, обеспечивает хороший ком-

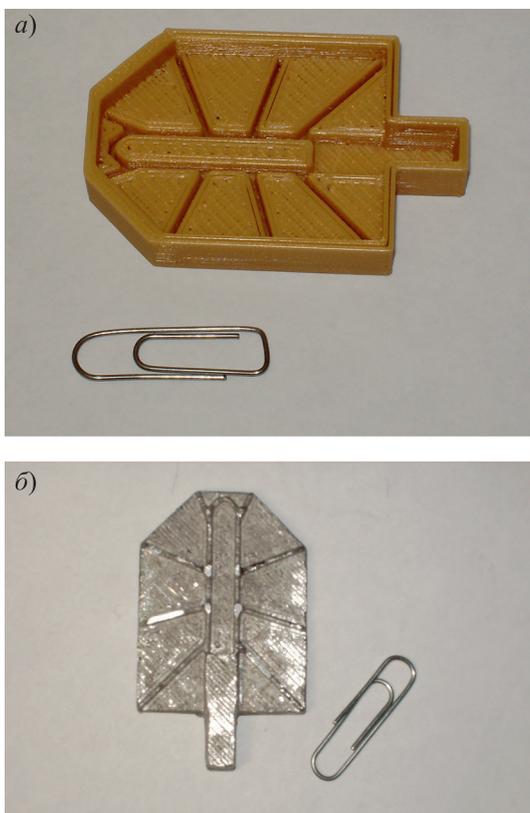


Рис. 2

промисс между сложностью изготовления (дороговизной оборудования, временем изготовления, количеством этапов производства и др.) и технически-эксплуатационными характеристиками изделия.

Изготовление заготовок зеркал возможно и из других легкосплавных материалов. Сплав Филдса имеет температуру плавления около 70 °С. Он значительно безопаснее, так как вместо кадмия в его составе используется индий, но является более дорогим и дефицитным. Сплавы Розе, Ньютона и различные оловянно-висмутовые сплавы имеют температуру плавления от 94 до 139 °С, что требует в случае изготовления литейных форм по технологиям 3D-печати более дорогостоящих оборудования и расходных материалов. Также следует отметить, что полируемость и возможность использования технологии АМТ применительно к этим сплавам не исследовались.

**Вывод.** Разработанный подход к изготовлению оптических зеркал позволяет оперативно получать их прототипы — по оценкам, пробное изготовление зеркал средней сложности (создание 3D-модели, отливка заготовки, АМТ) занимает 1-2 смены (8–16 рабочих часов) при корректной организации технологического процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медунецкий В. М., Солк С. В., Лебедев О. А. Опыт единичного и мелкосерийного производства оптико-механических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 7. С. 600–603.
2. Челпанов И. Б., Никифоров С. О., Кочева Т. В., Никифоров Б. С. Машинные дизайн-технологии быстрого прототипирования // Вестн. Бурят. гос. ун-та. 2010. № 9. С. 283–289.
3. Кабанов А. А. Прототипирование в разработке изделий ракетно-космической техники и систем их производства // Инженерный журн.: наука и инновации. 2022. № 8. С. 283–289.
4. Шегидевич А., Жукова А., Зайко А. Роль аддитивных технологий в авиации // Наука и инновации. 2019. Т. 199, № 9. С. 29–34.
5. Ремизов А. Л., Дерябин А. А., Халилов М. А. Анализ возможности применения низкотемпературных сплавов в качестве вспомогательного слоя между пьезоэлектрическим преобразователем и объектом контроля со сложной геометрической поверхностью // Изв. вузов. Машиностроение. 2016. Т. 678, № 9. С. 39–44.
6. Медунецкий В. М., Солк С. В. Опыт применения и перспективы технологии алмазного микроточения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 89, № 1. С. 165–170.
7. Solk S., Shevtsov S., Iakovlev A. Designing of optical elements manufactured by diamond turning // SPIE. 2000. Vol. 4231. P. 181–188.
8. Справочник технолога-оптика / Под ред. М. А. Окатова. СПб: Политехника, 2004. 679 с.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Виктор Михайлович Медунецкий** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники; E-mail: vm57med@yandex.ru
- Сергей Вольдемарович Солк** — д-р техн. наук; НИИ оптико-электронного приборостроения; заместитель начальника отдела; E-mail: solk@sbor.net
- Владимир Сергеевич Шевцов** — НИИ оптико-электронного приборостроения; инженер-программист; E-mail: shevtsovvs@nioep.ru

Поступила в редакцию 23.03.2023; одобрена после рецензирования 14.02.2024; принята к публикации 22.03.2024.

#### REFERENCES

1. Medunetsky V. M., Solk S. V., Lebedev O. A. *Journal of Instrument Engineering*, 2016, no. 7(59), pp. 600–603. (in Russ.)
2. Chelpanov I. B., Nikiforov S. O., Kocheva T. V. Nikiforov B. S. *Bulletin of Buryat State University*, 2010, no. 9, pp. 283–289. (in Russ.)
3. Kabanov A. A. *Engineering Journal: Science and Innovation*, 2022, no. 8, pp. 283–289. (in Russ.)
4. Shegidzevich A., Zhukova H., Zaiko A. *Science and Innovation*, 2019, no. 9(199), pp. 29–34. (in Russ.)

5. Remizov A. L., Deryabin A. A., Khalilov M. A. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2016, no. 9(678), pp. 39–44. (in Russ.)
6. Medunetsky V. M., Solk S. V. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 1(89), pp. 165–170. (in Russ.)
7. Solk S., Shevtsov S., Iakovlev A. *SPIE*, 2000, vol. 4231, pp. 181–188.
8. Okatov M. A., ed. *Spravochnik tekhnologa-optika (Optical Technologist's Handbook)*, St. Petersburg, 2004, 679 p. (in Russ.)

**DATA ON AUTHORS**

<b>Viktor M. Medunetskiy</b>	—	Dr. Sci., Professor; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; Professor; E-mail: vm57med@yandex.ru
<b>Sergey V. Solk</b>	—	Dr. Sci.; Scientific-Research Institute of Opto-Electronic Instrumentation; Deputy Head of Department; E-mail: solk@sbor.net
<b>Vladimir S. Shevtsov</b>	—	Dr. Sci.; Scientific-Research Institute of Opto-Electronic Instrumentation; Engineer-Programmer; E-mail: shevtsovvs@nioep.ru

Received 23.03.2023; approved after reviewing 14.02.2024; accepted for publication 22.03.2024.