

3d-печати. — [17.07.2013]. — Режим доступа : <http://virtualprint.ru/stati/638-pechat-na-3d-printere-izmenit-mir.html> 3. Семенов К. SLA или стереолитография: продвинутая технология 3D печати / Константин Семенов. — Virtualprint : технологии 3d-печати. — [02.08.2013]. — Режим доступа : <http://virtualprint.ru/stati/660-sla-ili-stereolitografiya-prodvinutaya-tehnologiya-3d-pechati.html> 4. 3D-друк [Электронный ресурс] : матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. — Режим доступа : <http://uk.wikipedia.org/wiki/3D-%D0%B4%D1%80%>. — [23.04.2014]. 5. 3D-принтеры [Электронный ресурс]. — MYGadgetShop : интернет-магазин 3-d принтеров, гаджетов и аксессуаров. — Режим доступа : [http://mygadgetshop.ru/catalog/3D\\_prints](http://mygadgetshop.ru/catalog/3D_prints) — [25.04.2014].

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ**

*Одним из последних ноу-хау полиграфической сферы является, без сомнения, 3D печать, которая предусматривает создание трехмерного объекта путем наложения последовательных слоев материала. Благодаря технологии существенно повышается эффективность работы и сокращаются сроки производства.*

## **MARKET WATCH TECHNOLOGY THREE-DIMENSIONAL PRINTING**

*3D printing is one of the latest know-how of printing scope, which involves the creation of three-dimensional object by imposing successive layers of material.*

УДК 655+621.795.8

**С. Ф. Гавенко, В. Ц. Жидецкий, О. І. Проць**

*Українська академія друкарства*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ НА МЕТАЛІ ЛАЗЕРНИМ МАРКУВАННЯМ**

*Розглянуто фізико-механічні особливості лазерного маркування на металевих поверхнях.*

**Ключові слова:** *лазерне маркування, гравіювання, обробка металевої поверхні, волоконний лазер*

Операції лазерного маркування й гравіювання включають нанесення текстових і графічних зображень на поверхню оброблюваного виробу під впливом високоінтенсивного лазерного випромінювання, яке видаляє частину матеріалу: завтовшки до 100 мкм — при маркуванні; до 0,5 мм — при звичайному гравіюванні; 3,5 мм — при глибокому гравіюванні. Основним призначенням таких операцій є позначення готової продукції для її ідентифікації й захисту від підробок. Крім того, інтерес до лазерного маркування в останні роки пов'язаний із виготовленням різноманітної сувенірної продукції.

З допомогою лазерів можливо маркувати найрізноманітніші матеріали: метал, дерево, оргскло, пластмасу, акрил, скло, гуму, шкіру і т.д. Для маркуван-

ня застосовують безперервні  $\text{CO}_2$ - або частотно-періодичні YAG: Nd-лазери, які працюють у режимі модульованої добротності з високою частотою повторення імпульсів (0,5 ... 100 кГц); генеруючі одномодові випромінювання з невеликою витратністю (4 ... 15 мрад) і вихідною потужністю в діапазоні 10 ... 16 Вт. На сучасному етапі для маркування часто застосовують волоконні лазери. При гравіюванні використовують безперервні  $\text{CO}_2$ -лазери (потужністю від 10 до 50 Вт), а також імпульсні YAG: Nd-лазери, що працюють у режимі вільної генерації (енергія в імпульсі до 1 Дж, частота повторення імпульсів до 100 Гц). Незалежно від випадку, зображення наносяться в результаті сканування сфокусованого лазерного пучка по металевій поверхні. Переміщення лазерного променя можливо досягти з допомогою швидкісних двоосьових гальванометричних дзеркальних сканерів або проєкційним методом. В останньому випадку лазерний промінь, форма перерізу якого задається з використанням спеціальної маски, проєктується на оброблювану поверхню в потрібному масштабі для отримання зображення, яке повторює форму маски [1, 3].

Однією з різновидів технології лазерного маркування є операція з обробки металевої поверхні для створення на ній тонких кольорових плівок, які оберігають поверхню металів від корозії й подряпин, що важливо для багатьох споживчих товарів. Окрім того, лазерна обробка використовується для отримання кольорових зображень при виготовленні сувенірної продукції.

Основу кольорового маркування пакування з металу складає процес утворення на поверхні зразка плівок з оксидів і нітридів оброблюваного матеріалу під впливом лазерного випромінювання. Оксидні плівки формуються при лазерній обробці на відкритому повітрі. Для отримання нітридних плівок метали обробляють у спеціальній камері з піддувом азоту. На практиці частіше створюють оксидні плівки, адже це не вимагає спеціальної технологічної оснастки, як для азотування.

Оксидні плівки формуються в результаті однорідного нагрівання поверхні металу, що стимулює процес його окислення [2]. Однак лазерна технологія отримання кольорових оксидних плівок має ряд значних переваг, у тому числі: швидкість, локальність впливу і висока точність. Досягти цього можна завдяки малому діаметру лазерного променя й застосуванню високоточних швидкісних систем сканування. Одержані при лазерному маркуванні зображення можуть мати різні кольорні відтінки (практично всіх основних кольорів видимого діапазону спектра).

Виникнення кольору і його зміна обумовлені інтерференцією світла, що виникає внаслідок складання хвиль, що відбиваються від поверхневого шару оксидної плівки й поверхні листа жерсті чи алюмінію. В міру зростання товщини оксиду послідовно виникають умови гасіння променів з тією чи іншою довжиною хвилі (рис. 1), у результаті чого колір може змінюватися від фіолетового до червоного. Однак на колір плівки впливає також і ступінь шорсткості поверхні металу.

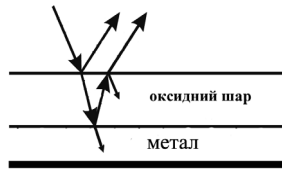


Рис. 1. Утворення зображення внаслідок інтерференції світла

Використовуваний для отримання кольорових зображень на поверхні жерсті волоконний лазер володіє певними типовими характеристиками: довжина хвилі випромінювання — 1,06 мкм; максимальна потужність — 10 Вт; тривалість імпульсу — 10 нс, частота повторення імпульсів — від 20 до 100 кГц. Це пов'язано з тим, що поверхні жерсті властивий високий коефіцієнт відображення в ІЧ-області. Значення коефіцієнта відображення різних металів на довжинах хвиль 0,5 і 5 мкм для порівняння наочно показано в табл. Отож використання короткохвильового випромінювання є ефективнішим.

Таблиця

**Значення коефіцієнта відбивання різних металів залежно від довжини хвилі лазерного випромінювання**

Довжина хвилі $\lambda$ , мкм	Метал				
	жерсть	олово	алюміній	мідь	титан
0.5	63.7	62.6	91.4	63.3	52.7
5	90.8	95.1	97.9	98.9	87.5

Для нанесення кольорового зображення аналогічно, як і при звичайному маркуванні, використовують високошвидкісні гальванометричні сканери [1, 4]. Як приклад на рис. 2 подана схема лазерної установки на основі волоконного лазера зі сканером конкретного типу. Лазерна установка включає: волоконний лазер, гальванометричний 2-координатний дзеркальний сканер, систему фокусування, комп'ютер, а також рухливий робочий стіл, який переміщує заготовку у вертикальному напрямку щодо місцезоташування області фокусування лазерного пучка. Із застосуванням комп'ютера здійснюється вибір основних робочих параметрів лазера (потужності й частоти проходження імпульсів), а також управління роботою сканера (включаючи швидкість сканування та інтервал між лініями, уздовж яких переміщується лазерний промінь) і робочого столу.

Найпростіший, але водночас ефективний спосіб переміщення лазерного пучка за зразком (оригіналом) — це метод послідовного сканування, в якому фіксуються початкова й кінцева точки лазерного сканування. Лазерний пучок переміщується по осі ординат до кінця з заданим інтервалом, а потім поверта-

ється до початкової точки. Інтервал сканування визначає важливий параметр лазерного маркування — величину розширення зображення, що наноситься.

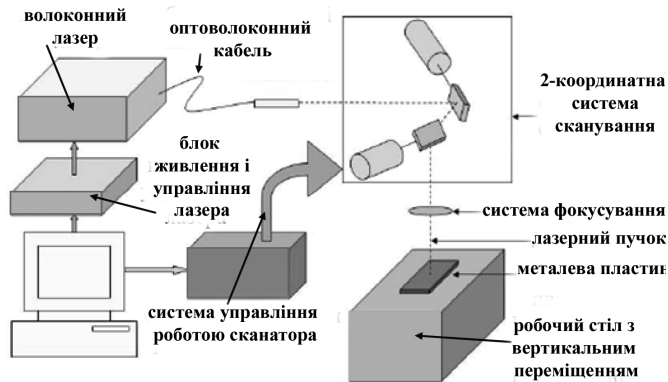


Рис. 2. Оптична схема утворення кольорового зображення на поверхні металів з допомогою лазерного пристрою

На рис. 3 показано результат лазерної обробки при скануванні металевої поверхні з розширенням 20 ліній/мм. При цьому рисунок кожної лінії створюється незалежно від інших, і підсумкове зображення формується послідовно лінія за лінією. Для утворення плівки однорідного кольору товщина ліній повинна варіювати у межах від 20 до 50 мкм. На такому зображенні, отриманому з допомогою електронної мікроскопії, між лініями сканування видно поверхню жерсті.

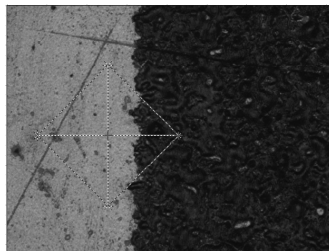


Рис. 3. Електронна мікроскопія поверхні зображення, нанесеного лазерним маркуванням

При застосуванні лазерної обробки можливий такий режим сканування, при якому буде відбуватись перекриття ліній руху лазера.

У нашому випадку розширення складає 30 ліній/мм. Оксидний шар формується за рахунок акумуляції енергії сусідніх ліній. Оригінального матеріалу між лініями при цьому не залишається, тому колір обробленої поверхні має більшу однорідність, ніж при скануванні з розширенням 20 ліній/мм. Однак при використанні описаного методу крайні лінії в сформованому таким чином

зображенні відрізняються за кольором від інших, оскільки кількість одержуваної ними енергії відмінна від кількості енергії, що припадає на решту площі обробленої лазером поверхні. Характерне зображення поперечного перерізу отриманих таким чином плівок відтворено на рис. 4.

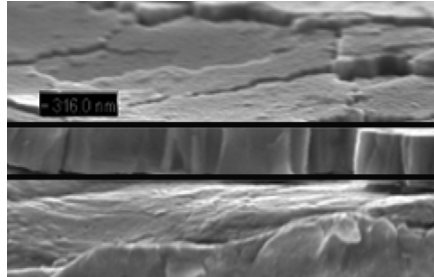


Рис. 4. Електронна мікроскопія поперечного перерізу оксидної плівки (виділено лініями; товщина 320 нм, збільшення в 30000 разів)

Отже, основними параметрами випромінювання лазера, які впливають на якість кольорового зображення, одержаного з допомогою лазерної мікрообробки, є: довжина хвилі випромінювання; якість лазерного пучка і його фокусування; потужність лазера; тривалість імпульсу; частота повторення імпульсів; швидкість сканування.

1. Оборудование и инструмент для профессионалов [Электронный ресурс] : междунар. информ.-техн. журн. — 2013. — № 6. — (Серия Металлообработка). — Режим доступа : [http://www.phoenixcontact.com/online/portal/ua?WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/uk\\_UA/gwis/\\_index/\\_1272/\\_4339](http://www.phoenixcontact.com/online/portal/ua?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/uk_UA/gwis/_index/_1272/_4339) 2. ООО «Альт Лазер». Лазерная гравировка и маркировка [Электронный ресурс] // Оборудование и инструмент для профессионалов: междунар. информ.-техн. журн. — Режим доступа : <http://www.informdom.com/2013/6/ooo-alt-lazer-lazernaya-gravirovka-i-markirovka.html> 3. Панченко В. Я. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Панченко В. Я., Голубев В. С., Васильцов В. В., Галушкин М. Г. и др. ; под ред. В. Я. Панченко. — М. : Физматлит, 2009. — 664 с. 4. Спосіб лазерного плавлення з використанням абляційного покриття [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://findpatent.com.ua/patent/252/2520252.html>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА МЕТАЛЛЕ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКОЙ

*Рассмотрены физико-механические особенности лазерной маркировки на металлических поверхностях.*

## STUDY THE IMAGE ACQUISITION PROCESS FOR METAL LASER MARKING

*The physical and mechanical features of laser marking on metal surfaces presented in this article.*