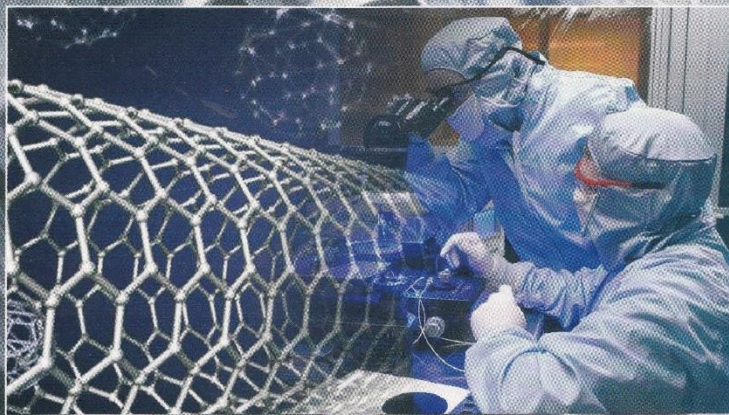




# СУЧАСНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО: ІДЕЇ, РІШЕННЯ, РЕЗУЛЬТАТИ

Матеріали Міжнародної науково-практичної  
конференції

26-27 вересня 2019 року



Харків  
ХНАДУ  
2019

Міністерство освіти і науки України  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

**«СУЧАСНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО: ІДЕЇ,  
РІШЕННЯ, РЕЗУЛЬТАТИ»**

*Матеріали Міжнародної науково-практичної  
конференції*

**26-27 вересня 2019 року**

**Харків  
ХНАДУ  
2019**

<i>Кашенкова А.В.</i> РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ ЖАРОМІЦНОГО НІКЕЛЕВОГО СПЛАВУ INCONEL 718.....	116
<i>Афанасьева О.В., Лалазарова Н.А.</i> РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ.....	120
<i>Романюк С.П.</i> КОМПЛЕКСНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВКОЙ, А ТАКЖЕ НАНОТЕХНОЛОГИЯМИ.....	123
<i>Гнатюк А.А., Ворфоломеева Ю.О.</i> СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТЕКЛА.....	126
<i>Glushkova D., Kostina L., Chigrin A., Stepanyuk A.</i> APPLICATION OF ION-PLASMA TREATMENT TO IMPROVE WEAR RESISTANCE OF RESPONSIBLE HYDRAULIC HAMMER DETAILS.....	129
<i>Гуменюк Р.В., Керницький І.С., Шолудько Я.В., Буртак В.В., Березовецький С.А.</i> ОЦІНКА МІЦНОСТІ СКЛЕЄНИХ КОМПОЗИТНИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ ТЕРМОНАПРУЖЕНОЮ АРМАТУРОЮ.....	134
<i>Дощечкіна І.В., Германенко Л.В.</i> ЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЧАВУННИХ ВИРОБІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ (EIL).....	143
<i>Протасенко Т.О., Шевченко С.М., Федоренко Г.А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ЗНЕВУГЛЕЦЬОВАНОГО ШАРУ ПРИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ НАГРІВАННІ СТАЛІ.....	148
<i>Демко А.П.</i> ПОКРАЩЕННЯ ОБРОБЛЮВАНОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ.....	152
<i>Власенко Є.В.</i> ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ СТАЛІ 65Г.....	155
<i>Лузан А.С.</i> ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ СПЛАВУ СИСТЕМИ Ni-Cr-B-Si, МОДИФІКОВАНОГО МАТЕРІАЛОМ, ЯКИЙ МІСТИТЬ БОРИДИ ТИТАНУ І НІКЕЛЮ.....	161
<i>Куцова В.З., Ковзель М.А., Швець П.Ю.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БЕЙНИТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАТРИЦЫ В ЭКОНОМЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВАХ.....	166
<i>Калінін Є.І.</i> ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ПРУЖНОСТИ СІ ЗМІЩЕНИМИ КРАЙОВИМИ УМОВАМИ.....	171
<i>Куцова В.З., Балакін В.Ф., Котова Т.В., Стеценко Г.П., Штода М.М.</i> ВПЛИВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ІЗ ЗСУВОМ НА ФОРМУВАННЯ МІКРОСТРУКТУРИ УЛЬТРАНИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ.....	178
<i>Гавідаров Є.В.</i> УМОВИ УТВОРЕННЯ БЕЙНИТНИХ СТРУКТУР У ВИСОКОМІЦНОМУ ЧАВУНІ.....	185
<i>Старусев І.А.</i> ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ.....	187
<i>Гнатюк А.А.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cr-Mn-Mo-Ti НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА.....	190
<i>Омельченко В.В.</i> ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОДІВ З ОКСИСНИМ ПОКРИТТЯМ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ.....	194
<i>Реброва Е.М.</i> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ.....	199
<i>Іванов А.Ю.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗТЯГУВАННЯ ТОНКОЛИСТОВИХ СТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ З ДОДАТКОВИМ ЕНЕРГЕТИЧНИМ ВПЛИВОМ НА ЗОНУ ДЕФОРМУВАННЯ.....	203
<i>Боцула І.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТОНКОЛИСТОВИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ З'ЄДНАНЬ В УМОВАХ ДОДАТКОВОГО ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	208
<i>Калінін Ю.А., Петришинец І., Ефременко В.Г., Капустян А.Е., Брыков М.Н.</i> ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ ЗАКАЛЁННОЙ НА АУСТЕНИТ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ.....	213

2. Авиационно-космические материалы и технологии. Учебник / В.А. Богуслаев, А.Я. Качан, Н.Е. Калинина и др. – Запорожье: Мотор Сич, 2007. – 383 с.
3. Оспенникова О.Г. Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий / О.Г. Оспенникова // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – №5. – С. 19–35.
4. Экспериментальная отработка камеры сгорания многофункционального жидкостного ракетного двигателя с кислородным охлаждением камеры: результаты 2009–2014 гг. / Р.Э. Катков, И.Г. Лозино-Лозинская, Мосолов С.В., Скоромнов В.И., Смоленцев А.А., Соколов Б.А., Стриженко П.П., Тупицын Н.Н. // Космическая техника и технологии. – 2015. – № 4(11). – С. 12–24
5. Шлямнев А.П. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы / А.П. Шлямнев: Справ. – М.: «Интермет Инженеринг», 2000. – 232 с.
6. Rigina L.G., Kostina M.V., Bannykh O.A., Blinov V.M., Zvereva T.N. Effect of alloying on the composition-stable nitrogen content and phase composition of corrosion-resistant Fe-Cr-Mn-Ni-Mo-V-Nb alloys after solidification. 9-th Int. conf. High Nitrogen Steels, Moscow, July 2009, p 36-44.

УДК 699.17

### РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ

Афанасьева О.В., к.т.н., доц., ХНУРЭ, Лалазарова Н.А., к.т.н., доц., ХНАДУ

**Аннотация.** В основе цветовой маркировки металлов лежит процесс образования на поверхности образца пленок из оксидов обрабатываемого материала под воздействием лазерного излучения. В результате экспериментов с применением Nd: YAG лазера было получено сочетание гравировки с частичным цветовым контрастом. Результаты этих исследований могут быть использованы при гравировке монохромных изображений. Цветная лазерная маркировка может быть получена только с помощью волоконного лазера. Цвет изображения определяется в основном количеством импульсов в точку.

**Ключевые слова:** цветная лазерная маркировка, лазерная гравировка, импульсное лазерное излучение, твердотельный лазер, волоконный лазер, частота следования импульсов.

### РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ЛАЗЕРНОГО МАРКУВАННЯ КОРОЗІЙНО-СТІЙКИХ СТАЛЕЙ

Афанасьєва О.В., к.т.н., доц., ХНУРЕ, Лалазарова Н.О., к.т.н., доц., ХНАДУ

**Анотація.** Лазерне маркування являє собою нанесення текстових і графічних зображень на поверхню виробу під впливом високоінтенсивного лазерного випромінювання. В результаті експериментів із застосуванням Nd: YAG-лазера було отримано поєднання гравірування з частковим кольоровим контрастом. Результати цих досліджень можуть бути використані при гравіруванні монохромних зображень. Кольорове лазерне маркування може бути одержано тільки за допомогою волоконного лазера. Колір маркування визначається в основному кількістю імпульсів в точку.

**Ключові слова:** кольорове лазерне маркування, лазерне гравірування, імпульсне лазерне випромінювання, твердотільний лазер, волоконний лазер, частота проходження імпульсів.

### RESEARCH OF MODES OF LASER MARKING OF CORROSION-RESISTANT STEELS

Afanasieva O., PhD, Associate Professor, KhNURE, Lalazarova N., PhD, Associate Professor, KhNAHU

**Abstract.** The color marking of metals is based on the formation of films of oxides of the processed material on the surface of the sample under the influence of laser radiation. The appearance of color and its change is due to the interference of light. Because of experiments using an Nd: YAG laser, a combination of engraving with partial color contrast was obtained. The results of these researches can be used for engraving monochrome images. Color laser marking can only be obtained with a fiber laser. Mainly the number of pulses determines the color of the image.

**Key words:** color laser marking, laser engraving, pulse laser radiation, solid state laser, fiber laser, pulse frequency.

#### Введение

Лазерная маркировка представляет собой нанесение текстовых и графических изображений на поверхность обрабатываемого изделия под воздействием высокоинтенсивного лазерного излучения. Маркировка деталей, узлов или конечного изделия позволяет производителю контролировать объем выпускаемой продукции, контролировать качество и продвигать свою торговую марку. Конечный пользователь получает на маркирован-

ном изделии информацию о типе и параметрах продукции и гарантию качества от производителя. Из существующих способов маркировки наиболее современным и гибким методом является лазерная маркировка, ибо она позволяет управлять лазерным излучением, точно дозируя энергию для маркировки в пространстве и во времени.

#### Анализ публикаций

Лазерные системы позволяют получить долговечную, износостойкую, термостойкую, устойчивую к химическим и механическим воздействиям, защищенную от подделок маркировку. Лазерная маркировка отличается высоким уровнем качества, точности, четкости, высокой скоростью нанесения, не влияет на свойства маркируемой продукции и осуществляется качественно, точно и быстро. В последнее время интерес к лазерной маркировке связан также с изготовлением различной сувенирной продукции [1, 2].

Существует четыре типа лазерного воздействия на поверхность обрабатываемого материала: гравировка поверхности удалением материала, создание цветового поверхностного контраста, оплавление поверхности, гравировка с оплавлением (рис. 1).

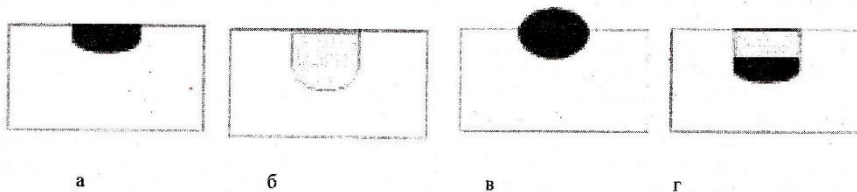


Рисунок 1 – Типы воздействия лазерного излучения на поверхность обрабатываемого материала: а – поверхностный контраст, б – гравировка поверхности удалением материала, в – оплавление поверхности, г – гравировка с оплавлением

При гравировке под действием сфокусированного излучения удаляется часть материала: до 100 мкм при обычной маркировке, до 0,5 мм при художественной гравировке или 3,5 мм при глубокой гравировке. Маркировка становится хорошо видимой, поскольку падающий свет рассеивается в каналах рядом с немаркированным материалом. Технология получила широкое применение во всех областях производства. В микроэлектронике она применяется для маркировки заготовок, изделий и оснастки на всех стадиях разработки и производства, например, для кремниевых пластин [1]. Гравировку чаще всего наносят на металл (обычно на изделия из углеродистой и нержавеющей стали), керамику, оргстекло и акрил.

Поверхностный цветовой контраст в неметаллических материалах возникает при фотохимическом воздействии на поверхность маркируемого материала. Этот вид маркировки применяется в основном для неметаллов, обесцвечивающихся под действием УФ-излучения. При обработке металлических материалов происходит окисление поверхности и образование оксидных пленок различного цвета, так называемых цветов побежалости. Это создаёт видимый контраст с необработанной поверхностью материала.

При маркировке плавлением материал достигает температуры плавления и через химический распад, эффекты окисления или изменение в поверхностной морфологии обеспечивает видимую маркировку. Этот метод редко применяется при маркировке металлических поверхностей из-за низкого контраста.

Гравировка поверхности с оплавлением – комбинация удаления материала с оплавлением, которое происходит в основе гравированного канала.

Целью настоящей работы является разработка режимов цветной лазерной маркировки (поверхностный цветовой контраст) коррозионно-стойкой стали с помощью лазеров разных типов.

#### Результаты исследований и их обсуждение

В настоящее время в технологических целях используются три типа лазеров: это газовые, твердотельные и волоконные.

Газовые  $\text{CO}_2$ -лазеры мощностью более 1 кВт, надежные в эксплуатации, с автоматизированной системой управления технологического комплекса, широко применяются для различных технологических операций, в том числе для маркировки. Однако высокая стоимость таких комплексов и их низкая производительность при обработке металлов ограничивают применение таких лазеров [3].

Твердотельные лазеры, в первую очередь на алюмоиттриевом гранате ( $\text{Nd}^{3+}$ :YAG-лазеры), имеют по сравнению с газовыми ряд преимуществ. Они более компактны, имеют более высокие значения коэффициента полезного действия. Одновременно с этим YAG-лазеры являются более дорогими и требуют больших эксплуатационных расходов. Для маркировки используются YAG-лазеры, работающие как в непрерывном, так и в импульсном режиме.

На сегодняшний день наиболее перспективными технологическими инструментами являются волоконные лазеры. К числу преимуществ волоконных лазеров следует отнести высокую эффективность (до 50%), что

ведет к более низким эксплуатационным расходам; небольшие размеры позволяют легко встраивать их в существующие системы производства.

Исследования проводились на установках: Trotec 8003 Speedy C40 на базе CO<sub>2</sub>-лазера ( $\lambda=10,6$  мкм, средняя мощность до 20 Вт), JQ-YAG-50 на основе Nd:YAG лазера ( $\lambda=1,06$  мкм, средняя мощность до 50 Вт). МиниМаркер2 на основе иттербиевого волоконного лазера ( $\lambda=1,03$  мкм, средняя мощность до 20 Вт). В качестве варьируемых параметров были выбраны частота следования импульсов (2...20 кГц) и скорость сканирования (5...60 мм/с) при средней мощности 20 Вт.

Лазерную цветную маркировку можно создать на любом металле, у которого есть своя оксидная пленка, например, нержавеющая сталь, алюминий, титан и их сплавы. В данной работе в качестве материала для исследования была выбрана коррозионно-стойкая сталь марки 12X18H10T после электрополировки (состояние поставки). Сталь 12X18H10T – нержавеющая титаносодержащая сталь аустенитного класса. Химический состав этой стали регламентирован ГОСТ 5632-72.

Исследования показали, что использование CO<sub>2</sub>-лазера нецелесообразно не только для создания цветной маркировки, но и для гравировки. Обработанные участки имели вид гравировки с оплавлением и обугливанием. Следует отметить, что излучение CO<sub>2</sub>-лазеров гораздо труднее поддается временному и пространственному преобразованию, чем излучение твердотельных лазеров [3]. Это значительно затрудняет применение CO<sub>2</sub>-лазеров в импульсном режиме для лазерной маркировки.

В результате экспериментов с применением Nd:YAG-лазера было получено сочетание гравировки с цветовым контрастом. Ни один из исследованных режимов не позволил получить полноцветную маркировку – на всех образцах оксидные пленки были серо-черного цвета разной насыщенности, обработанная поверхность имела явно выраженный рельеф.

Было установлено, что изменение частоты и скорости сканирования мало влияет на рельеф поверхности, но повышение этих параметров делает изображение более светлым. После фотографирования образцов был получен код цвета в графическом редакторе CoreIDRAW. В дальнейшем может быть разработана таблица зависимости кода цвета от параметров излучения, после чего данную маркировку можно использовать в как производстве (штрих-коды, серийные номера и т.д.), так и для декоративной продукции (создание различных монохроматических орнаментов и рисунков).

Получить цветную маркировку удалось получить только с помощью волоконного лазера. Особенности конструкции установки МиниМаркер2 на основе иттербиевого волоконного лазера позволяли проводить обработку при постоянных параметрах (мощность 20 Вт, частота следования импульсов 20 кГц), меняя число импульсов в точку. Подавая 5, 10 и 20 импульсов в точку, удалось получить желтый, красный и сине-серый цвета соответственно без изменения шероховатости поверхности.

Известно, что цвет оксидной пленки зависит в основном от температуры поверхности и химического состава материала. В методике определения температуры поверхности при импульсной обработке, приведенной в [4], длина волны излучения учитывается косвенно – она влияет на поглощательную способность материала. Можно было бы предположить, что при близких значениях длин волн излучения твердотельного и волоконного лазеров могут быть получены одинаковые результаты. Однако волоконные лазеры имеют более высокое качество пучка M<sup>2</sup>, что и позволило получить в процессе многоимпульсной обработки различные цвета.

#### Выводы

1. Цветная лазерная маркировка может быть получена только с помощью волоконного лазера.
2. Цвет маркировки определяется в основном количеством импульсов в точку.
3. Твердотельный Nd:YAG-лазер может использоваться для гравировки на поверхности металла и получении монохромных изображений на сувенирной продукции.

#### Литература

1. Вейко В.П. Лазерные технологии в микроэлектронике / В.П. Вейко, С.М. Метев. – София: Изд-во Болг. АН, 1990.
2. Горный С.Г. Лазерная маркировка. В кн.: Лазерная технология и ее применение в металлообработке / С.Г. Горный, И.Р. Ельченков. – Л.: ЛДНТИ, 1990. – С. 42–47
3. Веденов А.А. Физические процессы при лазерной обработке материалов / А.А. Веденов, Г.Г. Гладуш. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисуров; под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высшая школа, 1988. – 159 с.