

УДК 629.7.036:621.373

**Н. П. Кришталь¹, С. Д. Зиличихис¹, канд. техн. наук Э. В. Кондратюк¹,
А. В. Маключенко¹, Б. И. Шапар²**

¹ Государственное предприятие «Ивченко-Прогресс», г. Запорожье

² ЛВТ, г. Черкассы

ОСОБЕННОСТИ МАРКИРОВАНИЯ СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК СТАТОРА ТУРБИНЫ

В статье рассмотрены особенности маркирования сопловых лопаток турбины, приведен сравнительный анализ традиционных методов маркирования и лазерного метода. Данная работа является промежуточной при переходе к лазерному маркированию роторных лопаток турбины.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, лопатки турбины, лазерное маркирование, глубина, измененный слой.

Введение

На фоне сложности технологии изготовления деталей газотурбинных двигателей к процессу маркирования у многих специалистов отношение поверхностное, они не задумываются над этой операцией, но при этом маркирование зачастую выполняется на всех этапах производства для контроля качества, прослеживаемости и идентификации продукции. Не стоит забывать, что процесс маркирования имеет прямое влияние на технологическую наследственность деталей и неправильно выбранный или выполненный процесс маркирования может сделать ее отрицательной [1, 2].

При всем многообразии различных видов маркирования необходимо выбрать и обосновать один, который удовлетворял бы техническим условиям, предъявляемым к тем или иным деталям, в данном случае лопаткам статора турбины. Поэтому в работе рассмотрено несколько видов маркирования, выполнены металлографические исследования и выбран один, который удовлетворяет всем требованиям современного производства.

До некоторого времени при изготовлении большинства деталей не разрешалось использовать электрофизические методы обработки без сложной процедуры обоснования или только в случае крайней необходимости. Лазерная обработка относится к таким методам, однако появление импульсно-периодических лазеров, обеспечивающих малую длительность импульса и высокую частоту следования импульса, дало широкие возможности совершенствования процесса и расширение области применения. Поэтому наряду с традиционными методами маркирования рассматриваем лазерный, как прогрессивный, технологичный, производительный и обеспечивающий высокую точность и качество наносимых знаков.

Существенным отличием лазерной технологии от большинства традиционных методов является пространственное разделение места формирования и места применения рабочей энергии. Использование лазерной технологии оправдано, если ее включение в производственный процесс дает существенные выгоды по сравнению с традиционными методами: повышение производительности и экономической эффективности, обеспечение лучших качественных показателей. Этот вид обработки отвечает всем вышеперечисленным требованиям.

Цель работы

В данной статье рассматривается возможность замены механического гравирования и электроимпульсного маркирования на лазерную технологию для сопловых лопаток ГТД, где требования менее жесткие, чем на рабочих. В то же время данная работа является промежуточным этапом при переходе на лазерное маркирование рабочих лопаток ротора турбины.

Основной целью работы является расширение номенклатуры материалов и деталей, маркируемых лазером, с обеспечением требования минимального нарушения поверхностного слоя деталей для обеспечения ресурса и надежности изделий, соблюдая при этом требование глубины маркирования, указанной в конструкторской документации для традиционных методов маркирования.

Постановка проблемы

На сегодняшний день лазерное маркирование нашло применение на деталях статорной группы: трубопроводах, кронштейнах, корпусных деталях, а также на зубчатых колесах, валах, подшипниках [3].

Метод маркирования выбирается в зависимости от назначения детали, но одним из основ-

ных требований к надписи является четкость, контрастность, различимость мелких шрифтов. При маркировании лопаток турбины применяются метод механического гравирования, электроимпульсный метод, электрохимическое маркирование.

Электрохимическое маркирование имеет малую глубину маркирования и для деталей турбины, где условия работы таковы, что при высоких температурах происходит образование нагара, — практически не используется.

Сложности в применении механического гравирования связаны с применением инструмента. Известно, что по своим физико-механическим свойствам жаропрочные материалы приближаются к свойствам режущего инструмента, поэтому при механическом гравировании требуется частая переточка инструмента. Еще одной затратной стороной данного процесса являются затраты на изготовление приспособлений.

Металлографическое исследование клейма, полученного электроимпульсным методом, показало: клеймо образовано в результате местного оплавления с образованием лунки глубиной 0,035...0,075 мм, на поверхности лунки происхо-

дит образование слоя с измененной структурой глубиной 0,005...0,020 мм; по границе лунки имеются наплывы обезлегированного слоя толщиной до 0,020 мм (рисунок 2).

Лазерное маркирование позволяет выполнять для различных материалов как глубокое маркирование (глубина до 0,2 мм), так и маркирование без нарушения поверхностного слоя (образование окисных пленок глубиной 0,003...0,005 мм) [4].

При лазерном маркировании импульс светового излучения большой плотности и интенсивности фокусируется на поверхности обрабатываемой детали, что вызывает локальный разогрев, плавление и частичное испарение материала при минимальном термомеханическом воздействии на маркируемое изделие. Высокая плотность мощности сфокусированного лазерного луча позволяет наносить знаки на различные материалы, в том числе и на труднообрабатываемые, при этом обеспечивая высокую степень разрешения и качество знаков [4, 5].

Содержание и результаты исследований

Работы проводились на лазерном оборудовании производства фирм ЛВТ и «Сканер» (г. Черкассы) — лазерном маркировочном комплексе OptiScan 100/200Z.

Активный элемент лазера — алюмоиттриевый гранат (YAG), обеспечивает длину волны лазерного излучения — 1064 нм. Средняя мощность лазерного излучения — 16 Вт.

Режимы лазерного маркирования были подобраны экспериментально с учетом внешнего вида надписи и контрастности с основным материалом:

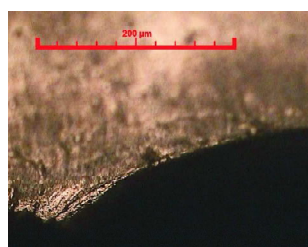
- образец 1 замаркирован лазером с использованием объектива F100 для получения и исследования маркировок большой глубины (рисунок 3);

- образец 2 замаркирован лазером с использованием объектива F200 для получения маркировок с наименьшей глубиной и наименьшим измененным слоем (рисунок 4).

Образец 1 характеризуется окисленной, рыхлой, шероховатой поверхностью с высотой микронеровностей 0,030...0,24 мм и с толщиной измененного слоя 0,030...0,165 мм. Маркировки хорошо просматриваются под любым углом обзора (рисунок 3).



а



б

Рис. 1. Образец после механического гравирования:

а — внешний вид маркировки;

б — микроструктура материала в месте маркировок



Рис. 2. Образец после электроимпульсного маркирования

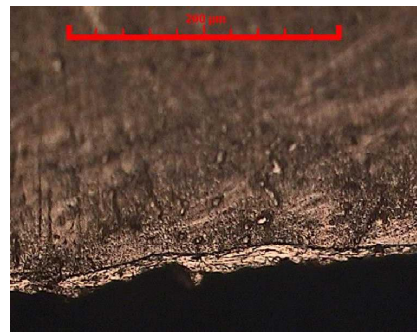


Рис. 3. Образец 1 с лазерной маркировкой (объектив F 100):

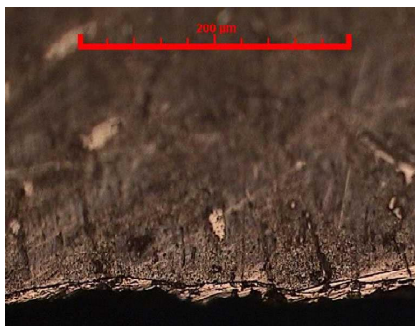
a – внешний вид маркировки;
б – микроструктура материала в месте маркировок



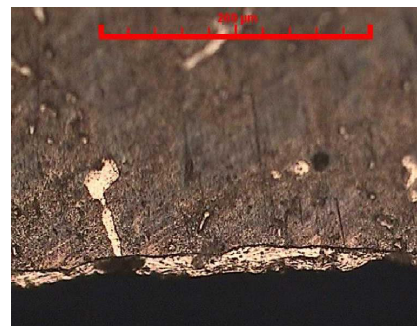
a



б, маркировка «1234»



в, маркировка «5287»



г, маркировка «7568»

Рис. 4. Образец 2 с лазерной маркировкой (объектив F 200):

a – внешний вид маркировок;
б, в, г – микроструктура материала в месте маркировок

Следующим этапом работы был сравнительный анализ маркировок, полученных механическим гравированием и лазерным маркированием, после имитации нагара. Имитация нагара получена многократным нанесением масла на поверхность лопатки в месте маркировок с последующим выдерживанием в печи (рисунок 5).

Как показано на рисунке 5, маркировки, полученные лазерным способом по сравнению с механическим гравированием, также имеют вы-

сокую четкость, контрастность, обеспечивают хорошую сохраняемость маркировок.

Выводы

Проведенная работа показала, что маркировки, нанесенные лазерным способом, обеспечивают хорошую четкость и качество наносимых знаков на сплаве ЖС6У-ВИ, как и на других жаропрочных сплавах. Лазерное маркирование рекомендовано в производство.



Рис. 5. Внешний вид маркировок:

a – исходная поверхность; *б* – имитация нагара

В настоящее время ведутся исследовательские работы по применению лазерного маркирования на лопатках ротора турбины взамен электрохимического маркирования и механического гравирования.

Постоянное увеличение номенклатуры изготавливаемых деталей требует постоянного совершенствования процессов, максимальной замены традиционных методов маркирования лазерным маркированием благодаря более широкому технологическим возможностям, и, следовательно, продолжения работ по расширению номенклатуры маркируемых материалов.

Перечень ссылок

1. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей / [Братухин А. Г., Язов Г. К., Карасев Б. Е. и др.] ; под ред. А. Г. Братухина – М. : Машиностроение, 1997. – 416 с.

2. Крымов В. В. Производство лопаток газотурбинных двигателей / Крымов В. В., Елисе-ев Ю. С., Зудин К. И. ; под ред. В. В. Крымова. – М. : Машиностроение / Машиностроение-Полет, 2002. – 376 с.
3. Особенности лазерного маркирования деталей ГТД / [Пейчев Г. И., Кондратюк Э. В., Зиличихис С. Д. и др.] // Вестник двигателестроения. – 2009. – № 1. – С. 116–118.
4. Григорьянц А. Г. Технологические процессы лазерной обработки / Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н, Мисюров А. И.– М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
5. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник / [Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Зуев И. В., Кокора А. Н.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

Поступила в редакцию 19.10.2010

Кришталь Н.П., Зілічхіс С.Д., Кондратюк Е.В., Маключенко О.В., Шапар Б.І. Особливості маркірування соплових лопаток статора турбіни

У статті розглянуто особливості маркірування соплових лопаток турбіни, наведено порівняльний аналіз традиційних методів маркірування й лазерного методу. Дана робота є проміжною при переході до лазерного маркірування роторних лопаток турбіни.

Ключові слова: газотурбінний двигун, лопатки турбіни, лазерне маркірування, глибина, змінений шар.

Krishtal N., Zilichikhis S., Kondratyuk E., Maklyuchenko A., Shapar B. Properties of nozzle turbine blade marking

In the article were considered peculiar properties of nozzle turbine blade marking, given the comparative analysis of traditional marking method and method of laser marking. Present labor is intermediate at transition to laser marking of rotor turbine blades.

Key words: gas turbine engine, turbine blades, laser marking, depth, transformed coating.