

щения имеет максимальный прирост, а твердость получаемого покрытия имеет значение 25 ГПа.

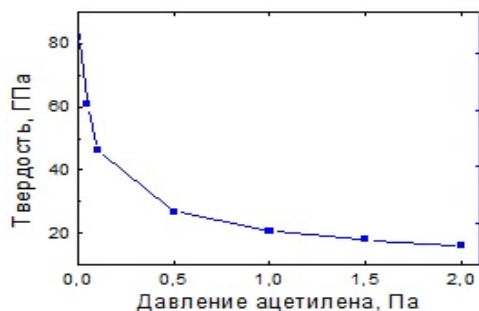


Рисунок 3 – Зависимость твердости АПУ покрытия от давления ацетилена

В силу того, что корпусные детали фотоприемника изготавливаются из инвара с низким КТР $\alpha = (1,7-2,8) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, применение АПУ покрытия является оптимальным, т.к. оно обладает схожим КТР.

Заключение

Представленные в данной работе метод осаждения и результаты исследования полученных АПУ показывают, что алмазоподобные углеродные покрытия обладают рядом свойств, которые могут быть использованы с большой эффективностью в оптических устройствах, применяемых в космической технике в качестве поглощающих

антибликовых покрытий корпусных деталей фотоприемников оптического излучения.

Литература

1. Yuto, S. Tanaka. Diamond-like carbon films: NOVA Science Publisher. New York, 2011.
2. Vetter, J. 60 years of DLC coatings: Historical highlights and technical review of cathodic arc processes to synthesize various DLC types, and their evolution for industrial applications // Surface and Coatings Technology – 2014. – V. 257. – P. 213–240.
3. Tagawa, M., Yokota, K., Matsumoto, K. Space environmental effects on MoS₂ and diamond-like carbon lubricating films: Atomic oxygen-induced erosion and its effect on tribological properties // Surface and Coatings Technology – 2007. – V. 202. – № 4. – P. 1003–1010.
4. Чекан, Н.М., Акулич, В.В., Акула, И.П. Новый комбинированный метод получения алмазоподобных пленок // Материалы II Международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов», Минск, Беларусь, ФТИ НАН Беларуси; редкол.: С.А. Астапчик (отв.ред.) [и др.]. Минск, 2007. – Т. 2. – С. 148–158.
5. Sukosin, Th., Frank, H. L. Koppens, F. Javier Garcia de Abajo. Total light absorption in graphene. http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/1106/1106.4460v1.pdf.

УДК 666.193

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЗАЛЬТОВУЮ ТКАНЬ

Анисович А.Г.¹, Маркевич М.И.¹, Чапланов А.М.¹, Журавлева В.И.², Щербакова Е.Н.³

¹Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Военная академия Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Введение

Лазерное воздействие на различные химические волокна широко используется в технологических процессах изготовления изделий. Использование лазерного излучения (ЛИ) предоставляет возможность решать сложные технологические и технические задачи. В основе процесса лазерного воздействия на химические волокна минерального происхождения лежат термохимические и термофизические механизмы разрушения материалов. Эффективность лазерного разрушения материалов зависит от количества поглощенной энергии при определенной плотности мощности. На процесс разрушения материалов большое влияние оказывают теплофизические свойства материала. Для большинства базальтовых тканей теплопроводность лежит в пределах 0,031–0,038 (Вт/м·К). Данные ткани являются плохими проводниками тепла и эффекты, связанные с разрушением материала, являются поверхностными.

Целью данной работы является исследование морфологии базальтовой ткани при лазерном воздействии. Исследовалась базальтовая ткань, выпускаемая открытым акционерным обществом «Полоцк-Стекловолокно».

Методы проведения исследований

Исследования морфологии образцов проводились с помощью металлографического микроскопа МИ-1. Данный микроскоп использовался в различных режимах: светлое поле в отраженном свете и поляризационного контраста в отраженном свете.

Элементный анализ проводился с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе SEM 515. Этот комплекс, в состав которого входят Si(Li) детектор со сверхультратонким окном, охлаждаемый жидким азотом, компьютер и пакет программного обеспечения Genesis SEM Quant ZAF software.

Измерения проводились при различных значениях ускоряющего напряжения: от минимального порога чувствительности системы микроанализа (6,4 кВ) до максимального значения ускоряющего напряжения, равного 30 кВ.

Результаты исследований

На рисунках 1-3 приведена морфология структуры базальтовой ткани до и после лазерного воздействия при различной падающей энергии. Процесс разрушения материала в значительной мере зависит от мощности лазерного излучения.

После воздействия с энергией 60 Дж (рис. 1б, 2а) наблюдается обрыв пакетов волокна и смещение прилежащих участков ткани. На концах волокон формируются капли расплава (рис. 2б). Оплавление носит местный характер, расплавленная фаза концентрируется на концах волокон.

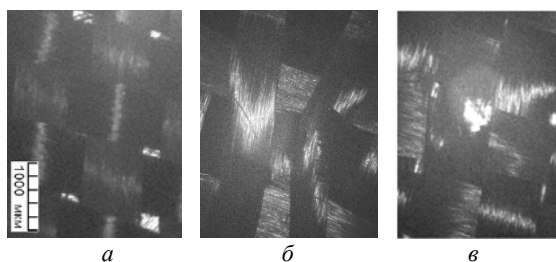


Рисунок 1 – Макроструктура ткани: *а* – исходное состояние, *б*, *в* – падающая энергия 60 и 240 Дж, соответственно

При использовании энергии 240 Дж смещения фрагментов волокна не происходит (рис. 2, а,в). Начинается разрушение базальтовой ткани и формируется сквозное отверстие диаметром порядка 450 мкм.

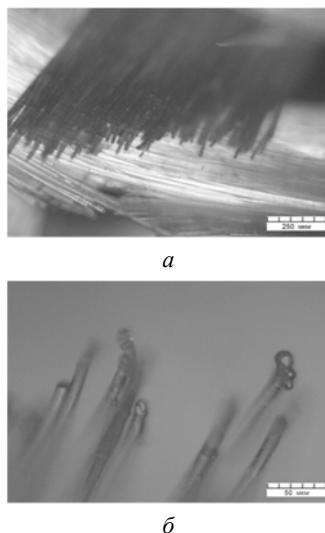


Рисунок 2 – Разрушение волокна при значении падающей энергии 60 Дж: *а* – обрыв волокон, *б* – оплавление отдельных волокон

С увеличением плотности мощности процесс деструкции материала нарастает, и на рис. 3 можно видеть оплавленные края при пробивании отверстия и множественные капли материала,

сформировавшиеся вблизи отверстия; средний размер капель составляет ~ 4 мкм. Сплошной край отверстия при этом формируется застывшим материалом.

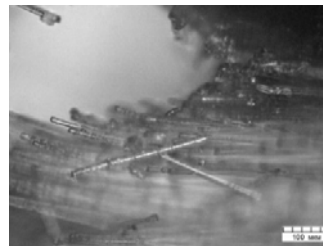


Рисунок 3 – Разрушение волокна при значении падающей энергии 240 Дж

Отдельные капли расплава размером порядка 10 мкм можно наблюдать на некотором удалении от края отверстия (рис. 4а). При данном режиме воздействия капли оптически прозрачны и имеют достаточно совершенную сферическую форму. Это подтверждается тем, что при анализе в поляризованном свете (рис. 4б) формируется коноскопическая фигура аналогично таковой при исследовании одноосных кристаллов [1]. Также появление таких фигур наблюдалось на оптически прозрачных включениях в сталях [2], а также сферических дефектах в неметаллических материалах [3] при освещении поляризованным светом.

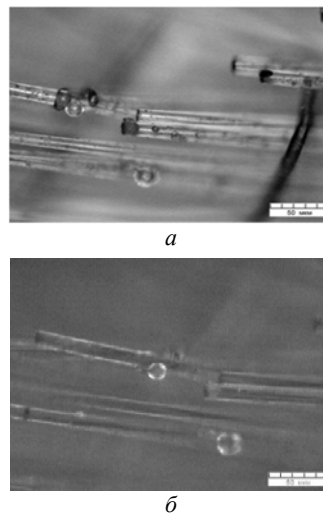


Рисунок 4 – Капли базальтового материала: *а* – светлопольное изображение, *б* – поляризованный свет

При использованных режимах лазерного воздействия реализуются условия образования низкотемпературной плазмы, температура при этом значительно превышает температуру, при которой происходит плавление окислов, температуру термической деструкции. Элементный состав при этом не изменяется.

Выводы

Проведено лазерное воздействие и диагностирована базальтовая ткань до и после лазерного воздействия при вложенной энергии 60-240 Дж и времени воздействия 1-4 мин. Показа-

но, что при этом происходит разрушение базальной ткани в результате расплавления материала под действием концентрированного потока лазерного излучения.

Литература

1. Татарский, В.Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод / В.Б. Татарский. – М. : Недра, 1965. – 306 с.

2. Червяков, А.Н. Металлографическое определение включений в стали / А.Н.Червяков, С.А. Киселева, А.Г. Рьльникова. – М. : Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962. – 248 с.

3. Анисович, А.Г. Оптические эффекты при микроскопии металлов и неметаллических материалов. Литье и металлургия, 4(89) 2017. – С. 119–125.

УДК 620.179.14

ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ ИМПУЛЬСОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТОЧНОСТЬ МНОГОПАРАМЕТРОВОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛИ 40X Бурак В.А.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Использование многопараметровых моделей, построенных на основе статистических подходов к обработке данных, в неразрушающем контроле позволяет расширить область применения и повысить точность и надежность применяемых методов и средств контроля. Импульсный магнитный метод, заключающийся в намагничивании контролируемого изделия одним или сериями импульсов и измерении величины поля остаточной намагниченности, при наличии достаточного числа данных, позволяет не только устанавливать корреляционные связи между измеренными магнитными параметрами и структурным состоянием или температурой термообработки ферромагнитных изделий и материалов, но и получать регрессионные модели [1].

В импульсном магнитном анализаторе ИМА-6 [2] реализована следующая схема намагничивания: контролируемое изделие с целью уменьшения влияния магнитной предыстории намагничивается парой импульсов магнитного поля противоположного направления, амплитуда которых составляет 250 кА/м, что обеспечивает намагничивание практически до технического насыщения конструкционные марки сталей, а затем дважды перемагничивается импульсами магнитного поля с заданной оператором амплитудой, но не большей 250 кА/м. Программное обеспечение прибора ИМА-6 позволяет фиксировать значение градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности после воздействия пары импульсов максимальной для прибора амплитуды магнитного поля и после каждого из перемагничивающих импульсов, формируя для каждого контролируемого изделия массив из трех величин, которые могут быть использованы при построении многопараметровых моделей.

Для исследований влияния величины амплитуды импульсов магнитного поля, формируемых прибором ИМА-6 на точность многопараметровой модели оценки качества термообработки, был взят комплект образцов стали 40X, имею-

щих форму дисков диаметром 63 мм и толщиной 9 мм, закаленных от 810 °С и отпущенных при разных температурах.

Использование при перемагничивании импульсов малой амплитуды незначительно меняет вид кривой зависимости градиента напряженности поля остаточной намагниченности, полученной после намагничивания двумя импульсами максимальной амплитуды и разного направления, от температуры отпуска, но несколько снижает величины градиентов поля остаточной намагниченности. Выбор амплитуды, сравнимой по величине с максимальной амплитудой в серии импульсов, используемых для получения измеренных данных при многопараметровом магнитном контроле, также не вносит значительных изменений в вид кривой зависимости после намагничивания первыми двумя импульсами в серии, меняя только её положение на противоположное относительно линии нулевой намагниченности.

Особый интерес для многопараметрового контроля качества термообработки стали 40X представляют такие амплитуды перемагничивающих импульсов, при которых величина измеренного градиента напряженности остаточного магнитного поля лежит в области, близкой к нулевому его значению в какой-либо из рассматриваемых температур термообработки. Известно [3-4], что при использовании для контроля температуры отпуска среднеуглеродистых конструкционных сталей двух градиентов напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных после намагничивания до технического насыщения и дальнейшего частичного перемагничивания импульсом меньшей амплитуды, чем требуется для технического насыщения, хороший результат дает выбор такой амплитуды второго намагничивающего импульса, при которой градиент напряженности поля остаточной намагниченности после импульсного намагничивания близок к нулю на образце или изделии, отпущенном при самой низкой или самой высо-