

УДК 53.098: 54.057

## **ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ БПЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

**В.В. ЖИЛИНСКИЙ<sup>1</sup>, А.М. МИЛЮКОВА<sup>2</sup>, В.В. ЧАЕВСКИЙ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>ФТИ НАН Беларуси

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Минск, Беларусь

Развитие авиационных технологий привело к активному использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В настоящее время беспилотная авиация используется более чем в 20 сферах народного

хозяйства, а именно: контроль состояния производственных объектов, строительных площадок, нефте- и газопроводов, мониторинг природных ресурсов, научные исследования, аэрофотосъемка, доставка грузов, охрана и др. [1]. Стоимость БПЛА может достигать до сотен тысяч долларов. Поэтому защита материалов для БПЛА является насущной проблемой при массовом производстве. Причины повреждений материалов БПЛА связаны как с внешними факторами, такими как механические удары, воздействие окружающей среды (температура, влажность, химическое воздействие), так и с внутренними факторами, включающими усталостное разрушение материалов корпуса и крыла при циклических нагрузках сжатие-растяжение во время полета [2].

Целью данной работы было изучение влияния магнитно-импульсной обработки (МИО) на прочность поверхности образцов из стали 50ХГФА с гальваническим хромовым покрытием и без него. Хромовое покрытие на поверхность образца из стали 50ХГФА было осаждено из электролита ( $\text{CrO}_3 - 250 \text{ г/дм}^3$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4 - 2,5 \text{ г/дм}^3$ ) при плотности тока  $50 \text{ А/дм}^2$  при температуре  $50 - 60^\circ\text{C}$ . Толщина сформированных покрытий составила  $13 - 15 \text{ мкм}$ .

Образцы из стали марки 50ХГФА обработаны на установке МИУ-3 (ФТИ НАН Беларуси) 5 импульсами ( $8 \text{ кДж}$ ). Изучение структурно-фазового состояния и макронапряжений II рода образцов проводились на рентгеновском дифрактометре GNR EXPLORER в  $\text{Cu-K}\alpha$  излучении. Микроструктура стали была проанализирована методом дифракции отраженных электронов (ДОЭ) с использованием микроскопа Hitachi S-4800. Измерения твердости проводились на универсальном твердомере AFFRI-URBV-VRS (нагрузка  $750 \text{ кгс}$ , диаметр шарика  $5 \text{ мм}$ ), что соответствует шкале Бринелля (HB).

Рис. 1 показывает, что сталь 50ХГФА содержит фазы  $\alpha\text{-Fe}$  и  $\text{Fe}_3\text{C}$  после магнитно-импульсной обработки.

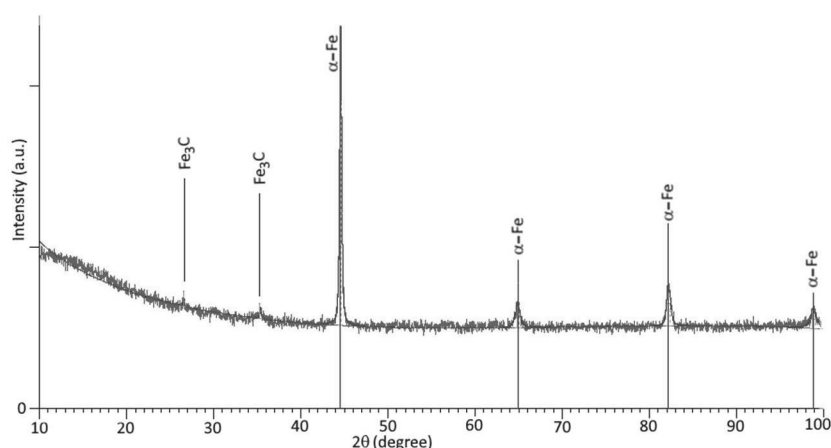


Рис. 1. Дифрактограмма образцов стали 50ХГФА после магнитно-импульсной обработки

На основании данных рис. 2 также можно заключить, что стальной образец содержит фазу  $\alpha$ -Fe.

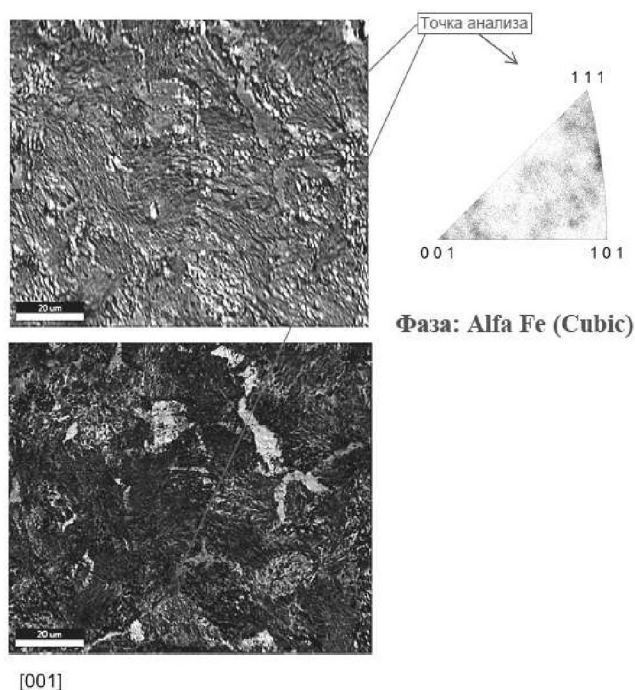


Рис. 2. Дифракция отражённых электронов образцов стали 50ХГФА после магнито-импульсной обработки.

Анализ результатов измерения макронапряжений II рода показывает, что на поверхности образцов из стали 50ХГФА после магнито-импульсной обработки макронапряжения были сжимающие ( $-1,147$  ГПа). Сжимающие остаточные напряжения способствуют повышению прочности, т. к. суммируясь с напряжениями от внешней нагрузки. Они уменьшают результирующие растягивающие напряжения в поверхностном слое детали и препятствуют зарождению усталостных трещин. Нанесение хромового покрытия на поверхность стального образца никак не влияло величину макронапряжения после магнито-импульсной обработки [3]. Этот факт подтверждают исследования ориентации кристаллитов стали, текстура которых (плоскость  $[001]$ ) не менялась после магнито-импульсной обработки (рис. 2). Однако, измерения электросопротивления показали, что на глубине  $\sim 15$  мкм (толщина Cr-покрытия) после магнито-импульсной обработки наблюдается уменьшение величины электросопротивления, что говорит об его уплотнении кристаллической структуры под покрытием. Твердость поверхности образца из стали 50ХГФА с хромовым покрытием составляет 250 – 280 НВ, что несколько больше твердости поверхности образца из стали 50ХГФА без покрытия, которая равна 260 – 266 НВ. Магнито-импульсная обработка образца из стали

50ХГФА с хромовым покрытием позволила увеличить твердость всей системы до 255 – 285 НВ.

Таким образом, нанесение хромового покрытия на поверхность образца из стали 50ХГФА с последующей магнито-импульсной обработкой являются эффективным способом увеличения прочности поверхности для исключения усталостного разрушения при циклических нагрузках сжатие-растяжение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов А.А., Олейников Е.П. История и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов // Решетневские чтения: материалы XXIII Междунар. науч.-практич. конф.: в 2-х ч. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2019. – Ч. 1. – С. 463-464.

2. Путилина П.М., Куцевич К.Е., Исаев А.Ю. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и стеклянных волокон для изготовления деталей беспилотных летательных аппаратов и перспективы их развития // Труды ВИАМ. – М., 2023. – № 8 (126). – С. 85-100.

3. Алифанов А.В., Ционенко Д.А., Милюкова А.М., Ционенко Н.М. Магнитострикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук, 2016. – № 4. – С. 31 - 36.