

Исследование влияния лазерной обработки на износостойкость никелевых сплавов

Investigation of the effect of laser treatment on the wear resistance of nickel alloys

Шлякова Е.В.

Канд. техн. наук, доцент кафедры физико-математических дисциплин Омского автобронетанкового инженерного института

e-mail: elena6500462@yandex.ru

Shlyakova E.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of physical and mathematical disciplines, Omsk Automobile and Armored Engineering Institute

e-mail: elena6500462@yandex.ru

Аннотация

Детали, изготовленные из жаропрочных никелевых сплавов, в ходе эксплуатации испытывают механические нагрузки и воздействие агрессивной высокотемпературной среды. Эти факторы вызывают ускоренное изнашивание металлических поверхностей. Эффективным является использование лазерного излучения для модификации поверхностей жаропрочных никелевых сплавов с целью получения упрочненных и устойчивых к износу структур. В статье описаны результаты исследования воздействия лазерной термообработки и лазерного легирования на износостойкость жаропрочного никелевого сплава XH70BMTЮ. Результаты экспериментов убедительно доказывают, что воздействие лазерного излучения, при котором не происходит оплавления поверхностных слоев сплава XH70BMTЮ, повышает износостойкость в 2,25 раза. Воздействие лазерного излучения приводит к образованию на обрабатываемой поверхности ультрадисперсных структур за счет высоких скоростей нагрева и охлаждения. Выполнено исследование влияния лазерного легирования на износостойкость сплава XH70BMTЮ, доказано, после облучения отдельными импульсами лазера с оплавлением поверхности и введением алюминида кобальта износостойкость исследуемого сплава возрастает в 3,4 раза.

Ключевые слова: лазерная термическая обработка, лазерное легирование, износостойкость, скорость изнашивания, никелевые сплавы.

Abstract

Parts made of heat-resistant nickel alloys are subjected to mechanical stress and exposure to aggressive high-temperature environment during operation. These factors cause accelerated wear of metal surfaces. It is effective to use laser radiation to modify the surfaces of heat-resistant nickel alloys in order to obtain hardened and wear-resistant structures. The article describes the results of a study of the effects of laser heat treatment and laser alloying on the wear resistance of heat-resistant nickel alloy XH70BMTЮ. The experimental results convincingly prove that the effect of laser radiation, in which there is no melting of the surface layers of the XH70BMTЮ alloy, increases wear resistance by 2.25 times. Exposure to laser radiation leads to the formation of ultrafine structures on the treated surface due to high heating and cooling rates. The effect of laser alloying on the wear resistance of the XH70BMTЮ alloy was

studied, it was proved that after irradiation with individual laser pulses with surface melting and the introduction of cobalt aluminide, the wear resistance of the alloy under study increases by 3.4 times.

Keywords: laser heat treatment, laser alloying, wear resistance, wear rate, nickel alloys.

Износостойкость деталей обеспечивается повышенной твердостью металлической поверхности [1, 2]. Перспективным способом модификации поверхности является лазерная термическая обработка, в результате которой на поверхности сталей и сплавов формируются слои с повышенной микротвердостью, что способствует увеличению ее износостойкости [3]. В ряде работ представлены результаты исследований, доказывающие, что в результате лазерного облучения повышаются коррозионная стойкость, микротвердость, износостойкость поверхностей сталей и сплавов [4-6].

В ходе экспериментов проведены испытания на износ образцов никелевого сплава ХН70ВМТЮ, который используется для изготовления лопаток газотурбинных двигателей. В реальных условиях эксплуатации износ данных изделий обусловлен циклическими термическими и вибрационными нагрузками.

Образцы сплава ХН70ВМТЮ возбуждаются вибратором и вводятся в резонансные колебания с частотой до 200 Гц, амплитуда колебаний равна 6 мм, время испытаний составляло 15, 25, 50, 90 мин. Величина износа оценивалась по изменениям размеров контактных поверхностей исследуемых образцов.

Перед испытанием на износостойкость проводилось облучение образцов сплава ХН70ВМТЮ лазером импульсами длительностью $1,5 \cdot 10^{-3}$ с при плотности мощности излучения $3 \cdot 10^4$ Вт/см²; $5 \cdot 10^4$ Вт/см²; $7 \cdot 10^4$ Вт/см²; $9 \cdot 10^4$ Вт/см². Данные режимы лазерного воздействия не приводят к оплавлению металлической поверхности.

Скорость изнашивания контактных поверхностей образцов в результате лазерной термообработки уменьшается в 2,25 раза при лазерной обработке с плотностью мощности излучения $5 \cdot 10^4$ Вт/см² (рис. 1).

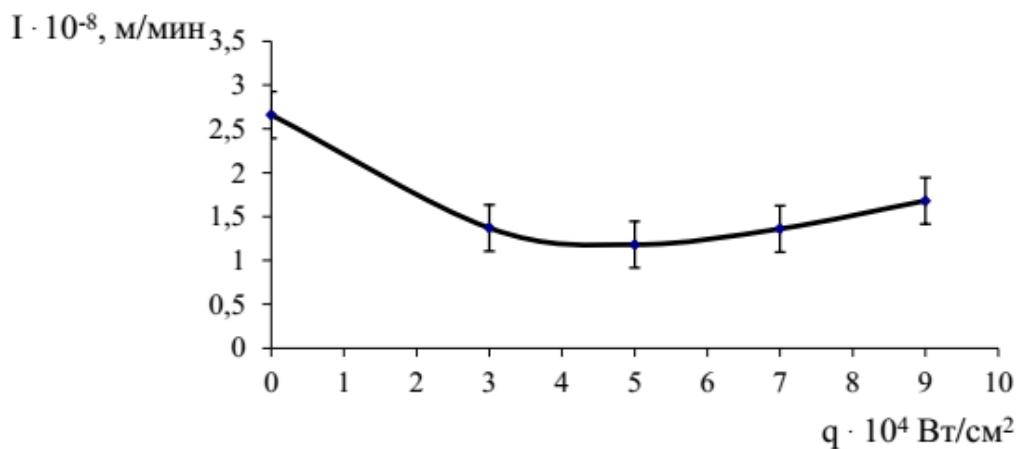


Рис. 1. Зависимость скорости изнашивания сплава ХН70ВМТЮ от плотности мощности лазерного излучения

Эффект упрочнения поверхности сплава ХН70ВМТЮ после лазерного облучения без оплавления поверхности объясняется возникновением в поверхностном слое дисперсных структур за счет высоких скоростей охлаждения [7, 8].

Исследовано влияние лазерного облучения с оплавлением поверхности и введением легирующего компонента на износостойкость поверхности сплава

ХН70ВМТ. Эксперимент проводился на 9 образцах, амплитуда колебаний 6 мм, время испытаний 15 мин. Исследуемые поверхности покрывались алюминидом кобальта, лазерная обработка осуществлялась при плотностях мощности излучения $2 \cdot 10^5$ Вт/см²; $3 \cdot 10^5$ Вт/см²; $5 \cdot 10^5$ Вт/см² длительности импульса излучения 1,5 мс. Наименьший износ наблюдается на облученных образцах при плотности мощности лазерного излучения в зоне обработки $3 \cdot 10^5$ Вт/см² (рис. 2).

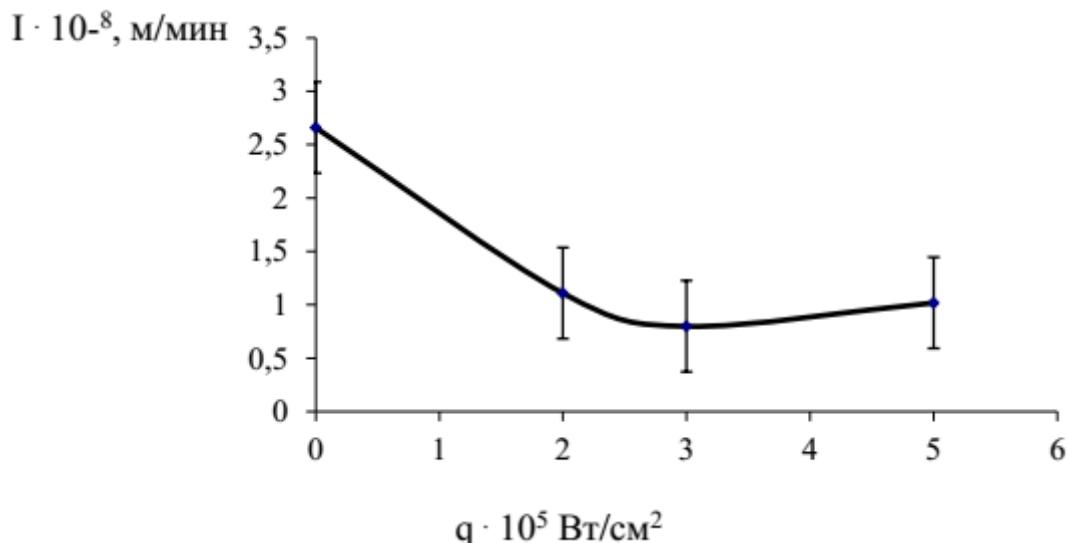


Рис. 2. Зависимость скорости изнашивания сплава ХН70ВМТЮ после лазерного легирования от плотности мощности лазерного излучения

Поскольку установлено значение плотности мощности, при котором величина износа наименьшая ($3 \cdot 10^5$ Вт/см²), исследовалась зависимость величины износа от продолжительности испытаний при тех же параметрах лазерного воздействия (плотность мощности лазерного излучения $3 \cdot 10^5$ Вт/см², длительность импульса $1,5 \cdot 10^{-3}$ с, расстояние до источника излучения 245 мм), время испытаний 60 мин. Результаты испытаний приведены на рис. 3.

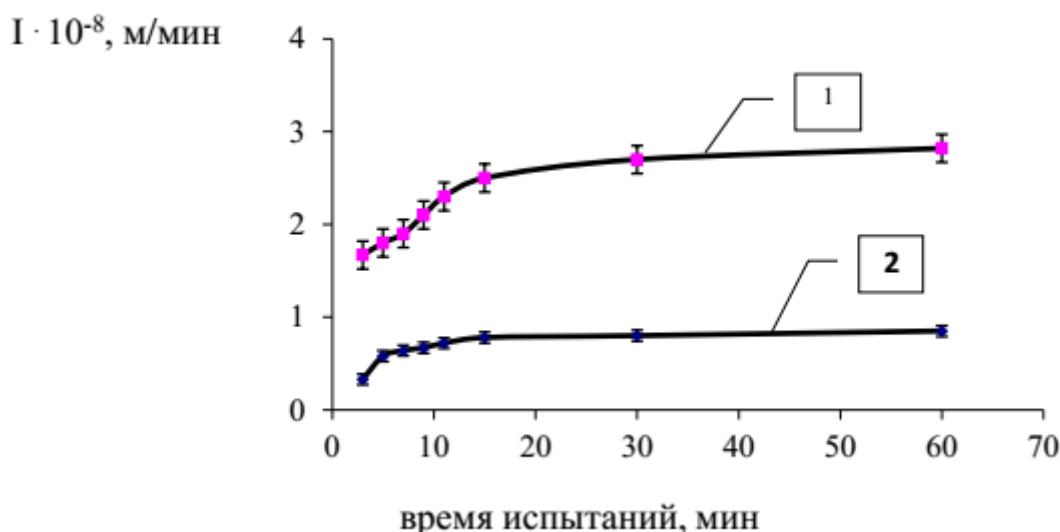


Рис. 3. Зависимость скорости изнашивания сплава ХН70ВМТЮ от продолжительности испытаний: 1 – кривая износа контактных поверхностей необлученных образцов; 2 – кривая износа контактных поверхностей образцов после лазерного облучения с введением алюминида кобальта

Чтобы подтвердить стабильность результатов, проведены испытания 90 образцов, облученных при плотности мощности лазерного излучения $3 \cdot 10^5$ Вт/см², длительности импульса излучения $1,5 \cdot 10^{-3}$ с, покрытие – Co₃Al₂. Испытания проводились в течение 60 мин. Изменение износа достаточно стабильно. Среднее значение скорости изнашивания составляет на необлученных образцах составило $2,79 \cdot 10^{-8}$ м/мин, на облученных – $0,82 \cdot 10^{-8}$ м/мин.

Таким образом, лазерное облучение поверхности образцов никелевого сплава ХН70ВМТЮ приводит к снижению скорости изнашивания $\approx 3,4$ раза. Обработка велась при небольших плотностях мощности излучения, поэтому повышение износостойкости можно объяснить и улучшением микрорельефа поверхности, увеличением плотности поверхностного слоя.

Лазерное легирование позволяет получать на поверхности сплавов слои с повышенной твердостью и износостойкостью, что за счет создания сплава, отличающегося от матричного материала химическим составом.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности разработки технологического процесса лазерного упрочнения поверхностей изделий из сплава ХН70ВМТЮ, таких как лопатки газотурбинных двигателей с введением в поверхностный слой алюминида кобальта, что несомненно повлечет увеличение ресурса работы двигателя и соответствующие технологические выгоды.

Литература

1. Шлякова Е.В. Использование лазерной термообработки для повышения стойкости к коррозии и упрочнения жаропрочных никелевых сплавов [Текст]/ Е.В. Шлякова // Вестник технологического университета, 2021. – Т. 24. – № 3. – С. 55-59.
2. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология материалов [Текст]/ Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин [и др.]. – М.: Высшая школа, 2002. – 638 с.
3. Шлякова Е.В. Исследование влияния лазерной термообработки на коррозионную стойкость сплава ХН70ВМТЮ[Текст] /Е.В. Шлякова //Вестник ТвГУ. Серия: Химия, 2018. – № 4. – С.53-64.
4. Кикин Ю.А. Повышение теплостойкости и износостойкости быстрорежущих сталей лазерным ударно-волновым воздействием [Текст]/ Ю.А. Кикин, А.И. Пчелинцев, Е.Е. Русин // Физика и химия обработки материалов. – 2003. – № 5.–С. 50-53.
5. Куксенова Л.И. Задачи инженерии поверхности при формировании износостойкого структурного состояния металлических материалов [Текст]/Л.И. Куксенова, Л.М. Рыбакова, В.Г. Лаптева // МиТОМ– 1999. –№ 7. –С. 41-48.
6. Куксенова Л.И. Методы испытаний на трение и износ [Текст]/ Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 152 с.
7. Смирнова Н.А. Особенности образования структуры при лазерной обработке [Текст] / Н.А. Смирнова, А.И. Мисюров//Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение», 2012. – С.115-129.
8. Шлякова Е.В. Упрочнение и повышение стойкости к коррозии деталей двигателя внутреннего сгорания методом лазерной термообработки[Текст] / Е.В. Шлякова, А.А. Соловьев, И.В. Мозговой //Вестник академии военных наук, 2013. – № 4(45). – С.196-202.