

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Бирюков В.П., Принц А.Н., Якубовский А.А.

Ключевые слова: лазерное упрочнение, микротвердость, момент трения, скорость скольжения.

Аннотация. В работе представлены результаты металлографических и триботехнических исследований образцов стали 38ХНЗМА с лазерной и объемной закалкой. Проведены испытания на трение и износ при смазке турбинным маслом. Показано, что лазерное упрочнение снижает момент трения и увеличивает износостойкость образцов по сравнению с объемной закалкой стали. Скорость скольжения при испытании на заедание увеличивается в 2 раза при оптимальных режимах лазерной закалки.

DETERMINATION OF TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF STEEL AFTER LASER HARDENING

Biryukov V.P., Prints A.N., Yakubovsky A.A.

Keywords: laser hardening, microhardness, friction moment, sliding speed.

Abstract. The paper presents the results of metallographic and tribological studies of 38KhNi3MoA steel samples with laser and volumetric quenching. Tests for friction and wear during lubrication with turbine oil were carried out. It is shown that laser hardening reduces the moment of friction and increases the wear resistance of samples in comparison with bulk hardening of steel. The sliding speed during the jamming test increases by a factor of 2 under optimal laser quenching conditions.

Одной из актуальных задач современного машиностроения является внедрение новых технологий. Применение концентрированных источников излучения позволяет получить результаты превышающие уровень традиционных технологий. При лазерном упрочнении мартенситной нержавеющей стали AISI 410 диаметром 50 мм, толщиной 10 мм Nd: YAG-лазером с максимальной мощностью 700 Вт получены глубина, ширина и твердость зон закалки 0,35 и 0,46 мм, 2,1 и 3,9 мм, 748 и 763 HV соответственно [1].

Для лазерной термообработки (ЛТО) применяли сталь 50CrMo4 [2]. Средняя твердость зон закалки образцов составляла 719 HV, что в 2,7 раза выше твердости основного материала при глубине слоя около 0,2 мм, что сопоставимо с глубиной закалки непрерывным лазерным упрочнением. Плиты стали X153CrMoV12 подвергались лазерной закалке с помощью диодного лазера мощностью 3 кВт [3]. Наиболее чувствительной к выкрашиванию оказалась область расположенная рядом с дорожкой закалки или зона отпуса.

Целями работы являются отработка режимов лазерной закалки и определение триботехнических свойств стали 38ХНЗМА в сравнении с объемной термообработкой.

Лазерную обработку образцов стали 38ХНЗМА с размерами 12×20×70мм по широкой стороне проводили на автоматизированном

комплексе ИМАШ РАН. Изменяемыми параметрами были выбраны мощность излучения $P=700\text{--}1000$ Вт, скорость обработки $V=7\text{--}9$ мм/с и диаметр пучка $d=3,5\text{--}5,5$ мм. Лазерное упрочнение дополнительно выполняли при поперечных колебаниях луча с частотой $f=227$ Гц. Металлографические исследования наплавленных покрытий проводились на микротвердомере ПМТ-3, металлографическом микроскопе и цифровом микроскопе АМ427.

Триботехнические испытания выполняли по схеме плоскость (образец после лазерной или объемной закалки) – втулка, сталь 40Х (49-52 HRC). Скорость скольжения и давление на образец изменялись ступенчато в интервале 0,5–3,5 м/с и 1–5 МПа соответственно. Для смазки использовали турбинное масло ТП22С.

Глубина и ширина зон лазерной закалки изменялась в пределах 0,716–0,936, 0,848–1,198 и 2,77–3,74, 4,38–5,89 мм при обработке дефокусированным и колеблющимся лучом соответственно. При поперечных колебаниях луча площадь зоны закалки увеличивается в 1,47–2,3 раза по сравнению с упрочнением дефокусированным лучом. Микротвердость лазерных дорожек составила 5480–7140 и 6120–7860 МПа при закалке дефокусированным и сканирующим лучом. Твердость образцов после объемной закалки и различной температуры отпуска составила 4100–4400 и 4590–5080 МПа, что значительно ниже закаленных лазером зон. На рис. 1. Представлены графики изменения момента трения от давления при постоянной скорости скольжения.

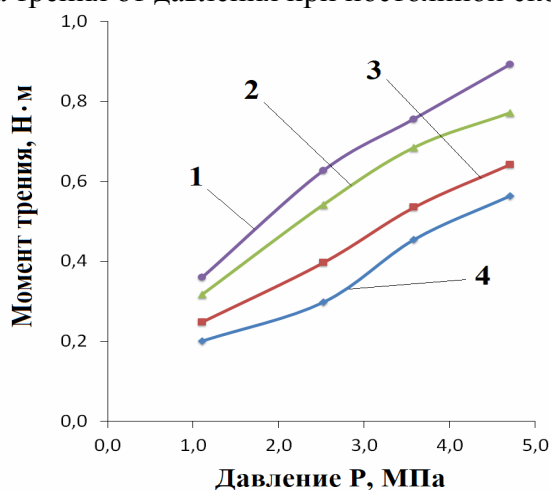


Рис. 1. Зависимость моментов трения от давления 1 – ОТ, 41-44 HRC; 2 – ОТ, 45-48 HRC; 3 – ЛТО шаг дорожек 4 мм; 4 – ЛТО шаг дорожек 5 мм

Кривые 3 и 4 получены при трении образцов с лазерной закалкой с поперечными колебаниями луча с шагом 4 и 5 мм соответственно.

Уменьшение шага наложения зон лазерной термообработки приводило к увеличению площади зон отпуска и как следствие к увеличению момента трения. На величину момента трения объемно термообработанных (ОТ) образцов оказывала твердость, чем она выше, тем меньше момент трения.

Независимо от вида упрочнения с повышением давления моменты трения повышались в исследованном диапазоне нагрузок.

В таблице 1 представлены результаты испытаний на заедание при постоянном давлении 4,8 МПа.

Табл. 1. Допустимая частота вращения (скорость скольжения) при давлении 4,8 МПа

№ п/п	Режимы обработки	Частота вращения / скорость скольжения, мин ⁻¹ / м/с
1	ЛТО шаг дорожек 5 мм	900 / 1,29
2	ЛТО шаг дорожек 4 мм	700 / 1,03
3	ОТ, 45-48 HRC	400 / 0,59
4	ОТ, 41-44 HRC	350 / 0,51

Из полученных результатов следует, что допустимая скорость скольжения при равном давлении в паре трения у образцов с лазерной закалкой практически в два раза выше, чем у стали после объемной закалки.

На рисунке 2 приведены экспериментальные данные по интенсивности изнашивания термоупрочненных лазерным лучом образцов с различным шагом и с объемной закалкой стали 38ХНЗМА до твердости 45-48HRC.

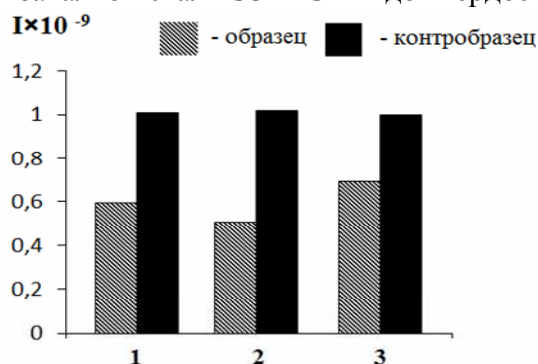


Рис. 2. Интенсивность изнашивания в паре трения со сталью 40Х образцов: 1 – ЛТО шаг 4 мм; 2 – ЛТО шаг 5 мм; 3 – закаленная сталь твердостью от 45-48 HRC

Износостойкость, величина обратная интенсивности изнашивания образцов с лазерным упрочнением выше, чем образцов с объемной закалкой.

Выводы

Проведенные исследования по определению влияния лазерной закалки при изменении скорости, мощности и диаметра лазерного луча с различным шагом показали, что микротвердость зон упрочнения значительно выше, чем твердость объемно закаленных образцов.

Моменты трения образцов с лазерным упрочнением ниже, а износостойкость и сопротивление заеданию выше, чем у образцов с объемной термообработкой.

Список литературы / References

1. Moradi M. et al. Nd:YAG laser hardening of AISI 410 stainless steel: Microstructural evaluation, mechanical properties, and corrosion behavior // Journal of Alloys and Compounds. 2019. №795. P. 213-222. DOI:10.1016/j.jallcom.2019.05.016.
2. Maharjan N. et al. Comparative study of laser surface hardening of 50CrMo4 steel using continuous-wave laser and pulsed lasers with ms, ns, ps and fs pulse duration // Surface and Coatings Technology. 2019. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2019.03.036
3. Mehner T. et al. Pitting corrosion behavior of a laser hardened, high-alloyed steel // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. 480. 012018. DOI:10.1088/1757-899X/480/1/012018.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, laser-52@yandex.ru	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate technical sciences, leading researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, laser-52@yandex.ru
Принц Антон Николаевич – младший научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, tosha.prints.94@mail.ru	Prints Anton Nikolaevich – junior researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, tosha.prints.94@mail.ru
Якубовский Антон Алексеевич – студент, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия, anton.at444@gmail.com	Yakubovsky Anton Alexeevich – student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, anton.at444@gmail.com

Received 10.06.2021