

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕЙ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ТЕРМОУПРОЧНЕНИИ

Бирюков В.П.¹, Горюнов Н.А.², Зубков М.А.²

¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия;*

²*Российский университет транспорта, Москва, Россия*

Ключевые слова: лазерное упрочнение, микротвердость, коэффициент трения.

Аннотация. Работа посвящена определению влияния режимов лазерного упрочнения на геометрические параметры зон закалки, микротвердость упрочненных слоев и триботехнические характеристики при трении сталь 50ХФА по стали 40Х при смазке гидравлическим маслом. Получены закономерности изменения коэффициентов трения от давления и их значения значительно ниже, чем у объемно закаленной и исходной стали. Результаты могут быть применены при обработке деталей в серийном производстве.

IMPROVING THE MECHANICAL AND TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF STEELS DURING LASER THERMAL HARDENING

Biryukov V.P.¹, Goryunov N.A.², Zubkov M.A.²

¹*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia;*

²*Russian University of Transport, Moscow, Russia*

Keywords: laser hardening, microhardness, coefficient of friction.

Abstract. The work is devoted to determining the effect of laser hardening modes on the geometric parameters of the quenching zones, the microhardness of the hardened layers and tribotechnical characteristics during friction of 50CrVA steel over 40Cr steel when lubricated with hydraulic oil. The regularities of changes in the friction coefficients from pressure and their values are significantly lower than those of volumetrically hardened and initial steel are obtained. The results can be applied to the processing of parts in mass production.

Процесс лазерного упрочнения (ЛЮ) поверхности все чаще используется для термической обработки деталей с целью повышения их механических свойств и износостойкости обрабатываемых зон [1,2]. По сравнению с другими процессами термообработки поверхности, лазерная термообработка обладает рядом преимуществ, таких как локальные зоны упрочнения, минимизация нежелательных деформаций и искажений, применение очень быстрых термических циклов для получения закалки без применения охлаждающих жидкостей, обработка деталей со сложной геометрией с помощью роботов и возможность полной автоматизации и управления процессом [3,4].

Экспериментальное исследование [5] проводили на образцах листовой стали AISI 4340 с габаритными размерами 60×6×5 мм, закаленными до твердости 25-30 HRC. Для проведения упрочнения был использован волоконный лазер YLS-3000-ST2 IPG и робот FANUC M-710IC, оснащенный

лазерной головкой со сканирующим устройством ILVDC-Scanner. Лазерное упрочнение выполняли при мощности излучения 500, 650 и 800 Вт, скорости перемещения 20,30,40 мм/с. Результаты металлографических исследований показали, что мощность лазера положительно влияет на глубину зон упрочнения больше, чем на ширину, в то время как скорость сканирования отрицательно влияет на глубину зон закалки, но более существенно на их ширину. Синусоидальные колебания лазерного луча обеспечивают максимальную ширину 2800 мкм с приемлемой глубиной до 500 мкм и равномерное распределение твердости 54-59 HRC, тогда как сфокусированный луч обеспечивает максимальную глубину зон закалки до 1000 мкм со значительно меньшей их шириной до 1200 мкм с твердостью 56-60 HRC.

Исследование влияния процесса лазерной закалки [6] на износостойкость стали Sk45 при трении закаленного штифта по стальному диску с твердостью 385HV показало, что размер частиц износа обработанного лазером образца был меньше по сравнению с необработанным образцом при испытании без смазочного материала. Очень тонкая игольчатая микроструктура мартенситной матрицы с твердостью до 850 HV. и незначительное количество дендритной аустенитной структуры с твердостью 400-600 HV полученные при высоких скоростях лазерной закалки обеспечили износостойкость образцов после лазерного термоупрочнения.

Лазерное упрочнение выполняли на лазерном автоматизированном технологическом комплексе ИМАШ РАН. Для исследования использовали образцы стали 50ХФА с размерами 12×20×70 мм. Режимы лазерной закалки изменяли следующим образом: мощность излучения $P=700-1000$ Вт, скорость перемещения луча $V=7-10$ мм/с, диаметр лазерного пятна 3,5-5,5 мм. Для выравнивания плотности мощности по сечению лазерного пятна использовали поперечные его колебания с частотой 216 Гц относительно вектора скорости обработки. Наложение дорожек лазерной закалки выполняли с различным шагом.

Металлографические исследования выполняли с применением металлографического, цифрового микроскопов. Измерение микротвердости проводили на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,98Н.

Испытания на трение и износ проводили по схеме широкая сторона плоского образца – торец вращающейся втулки (сталь 40Х HRC 48-52). Для смазки использовали масло МГЕ-10А.

На рисунке 1 представлен микрошлиф образца с 12% наложением дорожек для получения 100% площади закалки после шлифования. Глубина и ширина зон закалки при обработке расфокусированным и колеблющимся лучом составила 0,7-0,9 и 0,69-1,1мм, 2,4-3,5 и 5,2-6,97 мм соответственно. Площадь зон упрочнения определяет производительность лазерной закалки, и она в 1,8-2,3 раза выше при поперечных колебаниях луча, чем при обработке расфокусированным лучом. Микротвердость зон закалки изменялась в пределах 6240-7890 МПа.

Закономерность изменения микротвердости от глубины зон лазерной закалки представлена на рисунке 2. в зависимости от режимов обработки.

Изменение коэффициентов трения от давления на образец стали 50ХФА представлено на рисунке 3.

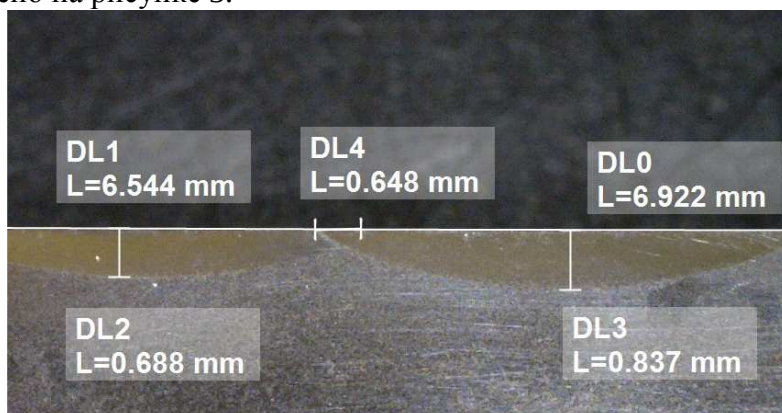


Рис. 1. Микрошлиф зон лазерной заделки колеблющимся лучом стали 50ХФА

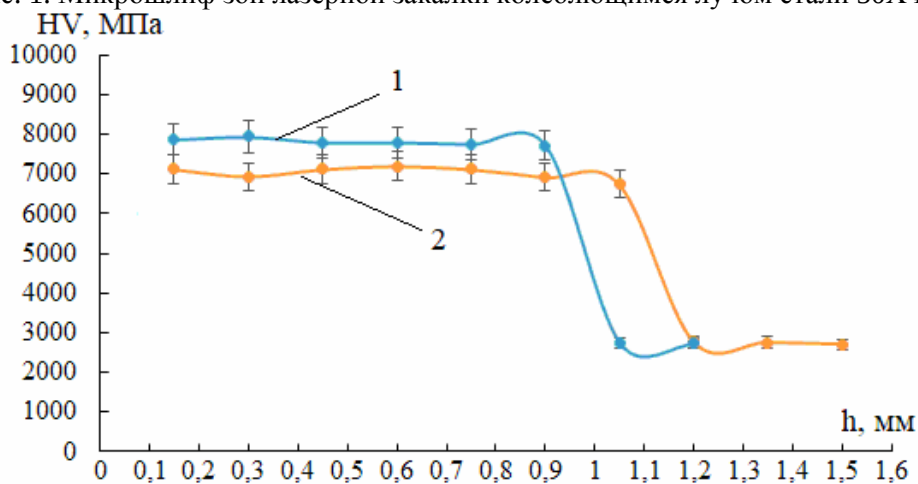


Рис. 2. Закономерности изменения микротвердости от глубины зон лазерного упрочнения стали 50ХФА: 1 – $P=1000$ Вт, $V=10$ мм/с, 2 – $P=1000$ Вт, $V=7$ мм/с

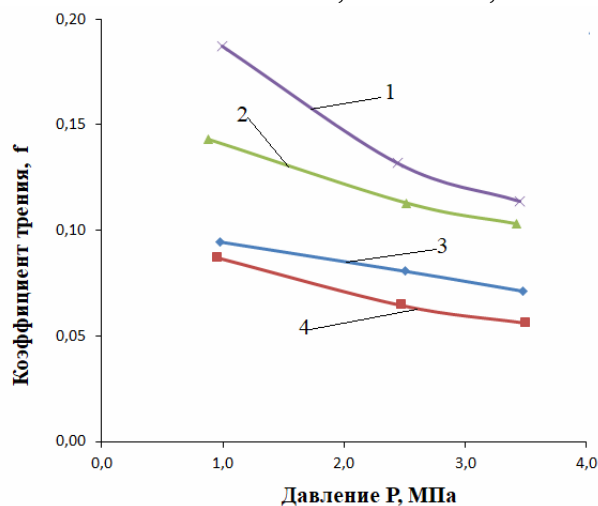


Рис. 3. Закономерность изменения коэффициентов трения стали 50ХФА по стали 40Х об давления: 1 – 260-300 НВ, 2-48-51 HRC, 3 – ЛУ67%, 4 – ЛУ100%

Минимальные значения коэффициентов трения получены при 100% площади лазерной закалки образцов. Их значения в 1,5-2 раза ниже, чем у закаленной стали 50ХФА и в исходном ее состоянии соответственно, во всем диапазоне давлений.

Выводы

Получены геометрические параметры глубины и ширины упрочненных зон от диаметра пучка, скорости обработки и мощности излучения расфокусированным и колеблющимся лучом. Коэффициенты трения при 100% площади лазерной закалки в 1,5-2 раза ниже, чем объемно закаленной и исходной стали соответственно.

Список литературы / References

1. Shercliff H., Ashby M. The Prediction of Case Depth in Laser Transformation Hardening // Metallurgical Transactions A. 1991. Vol. 22. P. 2459-2466. <https://doi.org/10.1007/BF02665012>.
2. Selvan J.S., Subramanian K., Nath A.K. Effect of Laser Surface Hardening on En18 (AISI 5135) Steel // Journal of Materials Processing Technology. 1999. Vol. 91. P.29-36. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00430-0](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00430-0).
3. Ashby M., Easterling K.E. The Transformation Hardening of Steel Surfaces by Laser Beams—I. Hypo-Eutectoid Steels // Acta Metallurgica. 1984. Vol. 32. P. 1935-1948. [https://doi.org/10.1016/0001-6160\(84\)90175-5](https://doi.org/10.1016/0001-6160(84)90175-5).
4. Leung M.K.H., Man H.C., Yu J.K. Theoretical and Experimental Studies on Laser Transformation Hardening of Steel by Customized Beam // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2007. Vol. 50. P. 4600-4606. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.03.022>.
5. Tarchoun B., Ouafi A.E., Chebak A. Experimental Investigation of Laser Surface Hardening of AISI 4340 Steel Using Different Laser Scanning Patterns // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2020. Vol.8. No.2. DOI: 10.4236/jmmce.2020.82002
6. Adel K.M. Enhancement of dry sliding wear characteristics of Ck45 steel alloy by laser surface hardening processing // Procedia materials science. 2014. Vol. 6. P. 1639-1643.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researche
Горюнов Николай Алексеевич – студент	Goryunov Nikolay Alekseevich – student
Зубков Матвей Александрович – студент	Zubkov Matvey Alexandrovich – student
laser-52@yandex.ru	

Received 15.06.2022