

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ПРИ ЛАЗЕРНОМ УПРОЧНЕНИИ СТАЛИ 40Х

Бирюков В.П., Старостин Д.А., Клеветов Д.В.

Ключевые слова: лазерное упрочнение, микротвердость, интенсивность изнашивания.

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния режимов лазерного упрочнения на геометрические параметры зон закалки, микротвердость упрочненных слоев. Сравнительные испытания на износ показали, что с увеличением площади закалки поверхности трения износостойкость возрастает. Результаты могут быть использованы при разработке новых технологий лазерного упрочнения деталей, выполненных из конструкционных сталей.

DETERMINATION OF MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF FRICTION SURFACES DURING LASER HARDENING OF STEEL 40CR

Biryukov V.P., Starostin D.A., Klevetov D.V.

Keywords: laser hardening, microhardness, wear intensity.

Abstract. The work is devoted to study of effect of laser hardening on the geometrical parameters of the zones of hardening, mikrohardnes hardened layers. Comparative wear tests have shown that with the increase in the area of hardening of the friction surface, the wear resistance increases. The results can be used in the development of new technologies of laser hardening of parts made of structural steels.

Одним из направлений формирования поверхностного слоя при финишной обработке является лазерная термическая обработка, позволяющая получать упрочненный поверхностный слой с определенными свойствами [1]. При этом лазерной обработке обычно подвергают не всю поверхность трения, а отдельные её участки. Основной проблемой промышленного применения лазерной обработки – является необходимость получения зависимости параметров упрочненного слоя от режимов обработки для конкретного типа лазера.

Так в [2], для проведения экспериментальных исследований, были выбраны конструкционные стали 65Г, 30ХГСА, 45. Обработка производилась на специализированном лазерном технологическом комплексе АЛТКУ-5 на основе многоканального СО₂-лазера с уникальной компоновкой трубок. Выбор режима осуществлялся на изменении в оптимальных для обработки интервалах: мощности 1000 – 4600 Вт, скорости перемещения лазерного луча 10 – 30 мм. Однако, представленные результаты упрочнения в табличном виде являются частными, и не показывают общей зависимости параметров зон лазерного упрочнения необходимых, как инструмент определения режимов лазерной обработки для реального производства. Для стали 40ХН2МА разработана технология лазерной закалки волоконным лазером с использованием сканеров IPG 2D, которая позволяет при поперечных колебаниях луча до 100 Гц получать зоны упрочнения с шириной 15-50 мм и глубиной 0,2-2,5 мм на один проход руки робота [3].

Размеры зон лазерной закалки получены по уравнениям регрессии в зависимости от режимов обработки для CO₂ -лазера и параметров поверхностного слоя материала для установки «Комета - М» [4]. Однако, как уже отмечалось выше, подобные исследования необходимо проводить для каждого конкретного типа оборудования.

Целью настоящей работы является установление влияния режимов лазерной обработки многоканальным CO₂ - лазером на изменения глубины и ширины зон закалки, микротвердости и влияния площади закалки на износостойкость упрочненных образцов и в последующем эксплуатационных характеристик для стали 40X.

Лазерное упрочнение производилось на автоматизированном лазерном технологическом комплексе [5], на образцах стали марки 40X с размерами 10×20×80 мм. Для повышения поглотительной способности поверхности перед лазерной обработкой образцы фосфатировали. Металлографические исследования проводили с использованием цифрового микроскопа AM413ML и металлографического микроскопа Альтами МЕТ 1С, измерения микротвёрдости на ПМТ-3М при нагрузке 0,98 Н.

В первой серии экспериментов определяли влияние плотности мощности лазерного излучения на глубину (Н), ширину (В) и микротвердость HV упрочняемых дорожек. Изменяемыми параметрами были мощность излучения Р 1000 Вт и 2000 Вт и скорость перемещения луча V 10 мм/с и 20мм/с, дефокусировка лазерного луча Z от 25 мм до 130 мм. Во второй серии опытов определяли влияние режимов обработки на параметры упрочненных дорожек с помощью метода полного факторного эксперимента (ПФЭ) на линейных участках[6]. В третьей серии экспериментов образцы упрочнялись с различным шагом наложения дорожек для получения площади закалки S 25, 50, 75, 100% . Испытания на износостойкость и задиростойкость выполняли на машине трения МТУ-01 по схеме плоскость (образец) - кольцо (контробразец, сталь 65Г, HRC 60-62) при нагрузке 2 МПа. В качестве смазочного материала использовали масло трансмиссионное ТСЗп-8.

На рис. 1 представлены зависимости глубины Н и ширины В упрочненных слоев от режимов обработки.

С увеличением диаметра луча возрастает глубина и ширина зон закалки при дефокусировке луча до 70 мм. При дальнейшем увеличении диаметра луча (дефокусировке луча) глубина снижается, а ширина зон закалки возрастает. По уравнениям регрессии проведены расчеты, и сопоставлены с результатами эксперимента. Расчетные значения отличаются от фактических значений глубины и ширины зон закалки не более чем на 5%.

Микротвердость упрочненных зон изменялась в пределах 5480 – 7460 МПа в зависимости от режимов обработки. На рис.2 представлены зависимости микротвердости от глубины слоя от режимов обработки для диаметров лазерного пятна 4 и 6 мм. Глубина зон упрочнения изменялась в пределах 0,5-1,3 мм.

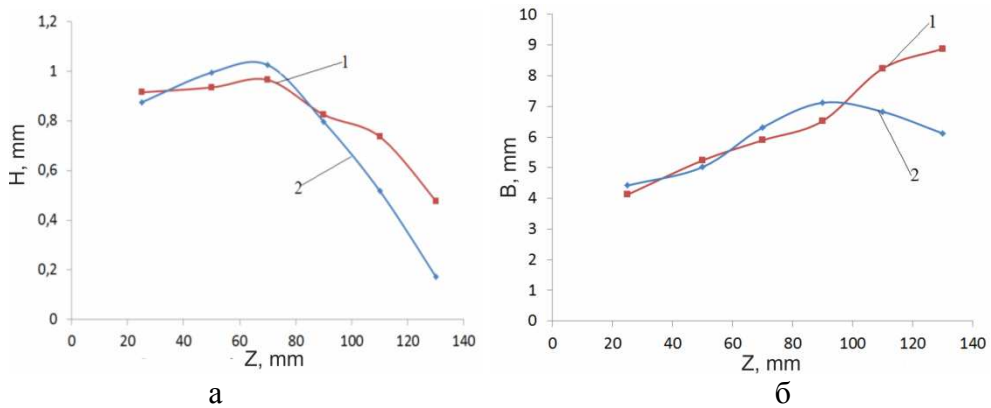
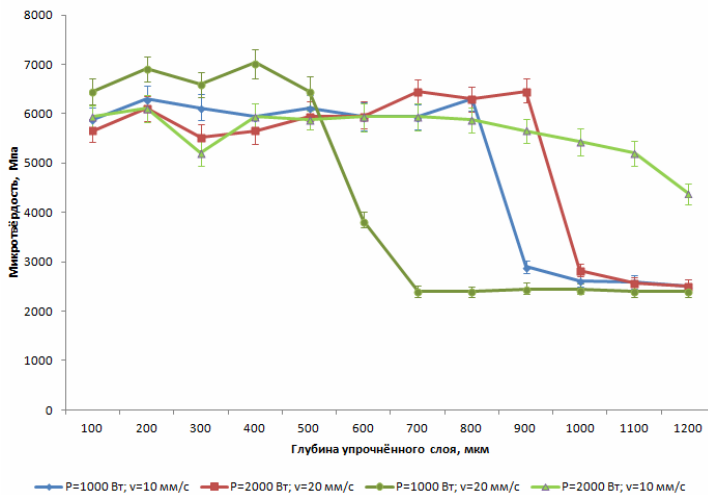
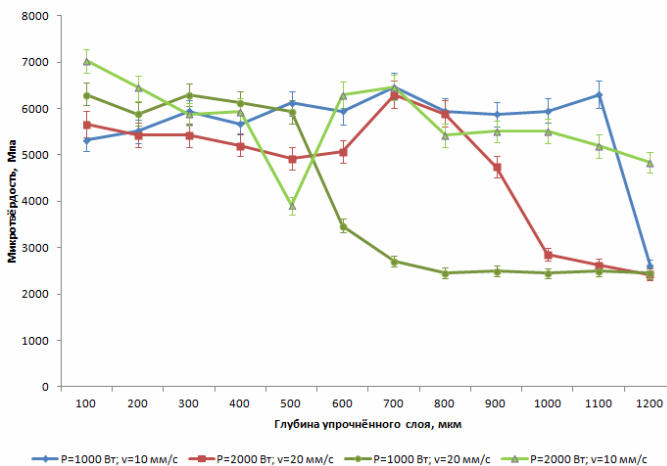


Рис. 1. Зависимость глубины (а) и ширины (б) зон лазерного упрочнения:
 1 – $P = 1$ кВт, $V=10$ мм/с; 2 – $P = 2$ кВт, $V=20$ мм/с
 $d=4$ мм



а
 $d=6$ мм



б

Рис. 2. Зависимость микротвердости от глубины слоя и режима обработки

Максимальная износостойкость получена при 100% площади лазерной закалки (рис. 3). Она превышает износостойкость материала основы образца в 3,5 раза. Однако для деталей, работающих в условиях трения скольжения при нагрузке, не превышающей 3 МПа и при удовлетворительных условиях смазки целесообразно применять технологию с лазерным упрочнением 50-60% поверхности трения. При этом износостойкость повышается в 3,2 раза по сравнению с не упрочненным образцом, а затраты на лазерную обработку в два раза ниже.

Из представленных результатов исследований следует, что наименьшие потери энергии лазерного излучения достигаются при дефокусировке луча до 60 мм. Дальнейшее увеличение диаметра луча приводит к значительной потере энергии по краям дорожки закалки иногда более 50%, но в ряде случаев это допустимо при упрочнении без оплавления, например, при обработке поверхности кромок штампов.

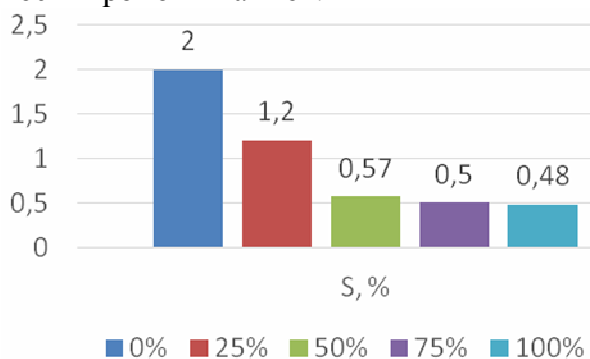


Рис. 3. Диаграмма интенсивности изнашивания $I \times 10^{-9}$, в зависимости от площади упрочнённой поверхности S

Выводы

Получены зависимости глубины и ширины упрочненных зон от дефокусировки луча 25-130 мм для скорости и мощности лазерного луча 10-20 мм/с и 1000-2000 Вт соответственно. Износостойкость образцов при 50% площади упрочненного слоя в 3,2 раза выше материала основы, нормализованной стали 40Х.

Список литературы

1. Казаков С.С., Гоева В.В. Лазерное упрочнение поршневых колец дизелей как способ повышения износостойкости // Карельский научный журнал. 2015. № 2(11). С.120-123.
2. Аракелян С.М., Евстюнин Г.А., Скрыбин И.О., Абрахин С.И., Новикова О.А. Лазерное многолучевое термоупрочнение поверхности стальных изделий // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 5. С.9-13.
3. Бирюков В.П., Фишков А.А., Татаркин Д.Ю., Хрипович Е.В. Влияние лазерного упрочнения круглым, профилированным и колеблющимся лучом на повышение ресурса работы металлических деталей машин // Фотоника. 2017. №3. С.28-34.

4. Бирюков В.П. Экспериментальное определение параметров упрочненных зон при лазерной закалке чугунов и сталей // Фотоника. 2017. №2(67). С.22-32.
5. Клеветов Д.В., Старостин Д.А., Егоров А.П. Выявление эмпирических зависимостей параметров лазерного излучения многоканального CO₂ лазера с применением регрессионного анализа // Вооружение. Технология. Безопасность. Управление: материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции. – Ковров: ФГБОУ ВО «КГТА имени В.А. Дегтярева», 2018. С. 21-30.
6. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин П.И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. М: Наука. 1980. 226с.

References

1. Kazakov S.S., Goeva V.V. Laser hardening of piston rings of diesel engines as a method of improving wear resistance // Karelian scientific journal. 2015. №2(11). P. 120-123.
2. Arakelyan S.M., Estonin G.A., Skryabin I.O., Abrahan S.I., Novikov O.A. multibeam Laser thermal hardening of surfaces of steel products // Modern high technologies. 2016. No. 5. P. 9-13.
3. Biryukov V.P., Fishkov A.A., Tatarin D.Yu., Khriptovich E.V. Influence of laser hardening by round, profiled and oscillating beam on increase of service life of metal parts of machines // Photonics. 2017. No. 3. P. 28-34.
4. Biryukov V.P. Experimental determination of the parameters of hardened zones in laser hardening of iron and steel // Photonics. 2017. No 2(67). P. 22-32.
5. Klevetov D.V., Starostin D.A., Egorov A.P. Identification of the empirical dependences of the parameters of laser radiation multichannel laser CO₂ with the use of regression analysis // Service. Technology. Security. Management: materials of the VIII all-Russian scientific-technical conference. – Carpets: FGBOU VO "KGTU named after V. A. Degtyarev", 2018. P. 21-30.
6. Evdokimov Yu.A., Kolesnikov V.I., Teterin P.I. Planning and analysis of experiments in solving friction and wear problems. M: Science. 1980. 226p.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия, laser-52@yandex.ru	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical Sciences, leading researcher, Institute of mechanical engineering named after A.A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, laser-52@yandex.ru
Старостин Дмитрий Александрович – инженер 1 категории	Starostin Dmitry Aleksandrovich – engineer of 1 category
Клеветов Денис Викторович – ведущий инженер	Klevetov Denis Viktorovich – lead engineer
АО «ВНИИ «СИГНАЛ», г. Ковров, Россия	JSC VNII SIGNAL, Kovrov, Russia

Received 03.05.2019