



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОН ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ СТАЛЕЙ И ИХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В. П. Бирюков¹, В. В. Исаков², А. Ю. Федотов²,
Д. А. Баулин²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, laser-52@yandex.ru

²Центральный институт авиационного моторостроения имени П. И. Баранова

Операция лазерного упрочнения предназначена для замены технологий азотирования с глубиной 0,3–0,4 мм и цементации с глубиной слоя 1,0–1,1 мм. Определено влияние дефокусировки луча волоконного лазера на глубину и ширину зон лазерного упрочнения. По уравнениям регрессии проведены расчеты и сопоставлены с результатами эксперимента.

Статья поступила в редакцию 25.03.2019

Статья принята к публикации 12.04.2019

На геометрические параметры зон лазерной закалки оказывают влияние тип лазерной установки, параметры внешней оптической системы, дефокусировка лазерного луча, режимы обработки и теплофизические свойства упрочняемых сталей. Образцы низколегированной стали 4130 с размерами 40×40×120 мм упрочняли лучом волоконного лазера компании IPG [1]. Лучшие результаты получены при мощности излучения 600 Вт, дефокусировке лазерного луча 50 мм и скорости перемещения 8 и 10 мм/с. Площадь зон закалки составляла 50% от площади поверхности образца. Микротвердость зон закалки составила 390 HV по сравнению с твердостью основы 220 HV. Испытания на трение и износ проводили на машине трения TRB161129 по схеме шар-диск при нагрузке 5Н, времени 20 минут и частоте вращения 500 мин⁻¹. Материал шара карбид вольфрама WC с радиусом 5 мм. Коэффициенты трения составили: 0,35 для материала основы, 0,21 для образца, закаленного на скорости 8 мм/с и 0,18 для образца, закаленного

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE LASER HARDENING OF STEELS AND THEIR TRIBOLOGICAL FEATURES

V. P. Biryukov¹, Ph.D., V. V. Isakov², Ph.D.,
A. Yu. Fedotov², D. A. Baulin²

¹Federal State Budgetary Institution of Science "A. A. Blagonravov Institute of Machines Science", RAS, laser-52@yandex.ru

²P. I. Baranov Central Institute of Aviation Motors

The laser hardening operation is intended to replace nitriding technologies with a depth of 0.3–0.4 mm and cementation with a layer depth of 1.0–1.1 mm. The objectives of the work were to determine the influence of the defocusing of a fibre laser beam on the depth and width of the laser hardening zones. According to the regression equations, calculations are performed and compared with the results of the experiment.

Article was received on 25.03.2019

Article was accepted for publication on 12.04.2019

The geometric parameters of laser hardening zones are influenced by the type of laser installation, the parameters of the external optical system, the defocusing of the laser beam, the processing conditions, and the thermophysical properties of hardened steels. The samples of low-alloy steel 4130 with dimensions of 40×40×120 mm were reinforced with a fibre laser beam (IPG) [1]. The best results were obtained with a radiation power of 600 W, a defocus of the laser beam of 50 mm and a movement speed of 8 and 10 mm/s. The area of hardening zones was 50% of the sample surface area. The microhardness of the hardening zones was 390 HV compared to the hardness of the substrate – 220 HV. Tests on friction and wear were carried out on a TRB161129 friction machine according to a ball-disk scheme with a load of 5H, time of 20 min and rotation frequency of 500 min⁻¹. Ball material was tungsten carbide WC with a radius of 5 mm. The friction coefficients were: for the base material – 0.35, for the samples hardened at speeds of 8 and 10 mm/s – 0.21 and 0.18, respectively.



на скорости 10 мм/с. Износ образцов: материал основы $3,69 \cdot 10^{-5}$ мм³/Нм, образцов после лазерной закалки, проводимой на скоростях 8 и 10 мм/с, соответственно 1,04 и $0,96 \cdot 10^{-5}$ мм³/Нм.

Лазерное упрочнение мартенситной нержавеющей стали AISI 416 с содержанием углерода 0,167% проводили на образцах с размерами 55×10×7,5 мм с исходной твердостью 155 HV[2]. Использовали лазер Nd:YAG фирмы «Рофин-Синар» с максимальной мощностью излучения 2,2 кВт. Лазерный луч фокусировали до диаметра 2 мм на поверхности образца. Обработку режимов лазерной закалки осуществляли на мощности излучения 0,7 и 1 кВт при скорости перемещения луча 0,5; 1; 2; и 3 м/мин. Максимальная глубина закалки 0,9 мм с микротвердостью 400–700 HV получена при мощности излучения 1 кВт и скорости перемещения луча 0,5 м/мин. Испытания на износ выполняли по схеме диск (диаметр 73 мм, твердость 63 HRC) – палец (7×7,5×10 мм). Линейная скорость перемещения диска 8,4 м/мин. Нагрузка на образец при испытании 50 Н. Установлено, что минимальная интенсивность изнашивания составила 0,001 г/мин для образцов, обработанных со скоростью перемещения луча 0,5–1 м/мин и мощностью излучения 0,7–1 кВт. Что соответствует интенсивности изнашивания эталонных образцов этой стали после объемной закалки. Образцы, обработанные с большими скоростями перемещения луча, имеют в 3–5 раз большую интенсивность изнашивания.

Лазерная термообработка поверхности стали Ck45 создает микроструктуру с 91,65% игольчатого мартенсита и 8,35% остаточного аустенита [3]. Твердость мартенсита достигает до 850 HV, а остаточного аустенита 400–600 HV. Испытания на износ выполняли по схеме диск – палец при нагрузке 30 Н и скорости перемещения 0,7, 0,99 и 1,49 см/с. Твердость диска составляла 385 HV. Продолжительность каждого испытания была 10 минут. Износостойкость образцов закаленных лазером в два раза выше, чем исходной стали.

Эксперименты по лазерной закалке проводили на волоконном лазере YLR-5000-S с максимальной мощностью излучения 5000 Вт, транспортным волокном в оптической головке 200 мкм и фокусом коллимирующей линзы 150 мм [4]. Образцы упрочняли при мощности излучения 1875 Вт, дефокусировке луча 80 мм при плотности мощности лазера 12735 Вт/см². Скорость перемещения луча составляла 8 мм/с. Образцы стали с различным содержанием углерода, % от 0,203

Sample wear: base material $3,69 \cdot 10^{-5}$ мм³/Нм, samples after laser hardening at a speed of 8 and 10 mm/s – 1.04 and $0,96 \cdot 10^{-5}$ мм³/Нм.

Laser hardening of AISI 416 martensitic stainless steel with a carbon content of 0.167% was carried out on samples with dimensions of 55×10×7.5 mm with an initial hardness of 155 HV [2]. Nd:YAG laser (Rofin-Sinar) was used with a maximum radiation power of 2.2 kW. The laser beam was focused to a diameter of 2 mm on the sample surface. Testing of laser hardening modes was carried out at a radiation power of 0.7 and 1 kW at a beam moving speed of 0.5; 1; 2; and 3 m/min. The maximum hardening depth of 0.9 mm with a microhardness of 400–700 HV was obtained with a radiation power of 1 kW and a beam moving speed of 0.5 m/min. Testing for wear was performed according to the scheme «disk (diameter 73 mm, hardness 63 HRC) – stud (7×7.5×10 mm)». Disk linear speed was 8.4 m/min. The load on the sample when tested was 50N. It was established that the minimum wear rate was 0.001 g/min for samples processed with a beam moving speed of 0.5–1 m/min and a radiation power of 0.7–1 kW. This corresponds to the wear rate of the reference samples of this steel after the bulk hardening. The samples treated with high speeds of beam movement have 3–5 times more wear intensity.

Laser heat treatment of the surface of Ck45 steel creates a microstructure with 91.65% of acicular martensite and 8.35% of residual austenite [3]. The hardness of martensite reaches up to 850 HV, and that of residual austenite – 400–600 HV. Tests for wear were carried out according to the «disk-stud» scheme at a load of 30N and moving speeds of 0.7, 0.99, and 1.49 cm/s. The hardness of the disk was 385HV. The duration of each test was 10 minutes. The wear resistance of laser hardened samples is twice as high as that of the original steel.

The laser hardening experiments were carried out on a YLR-5000-S fibre laser with a maximum radiation power of 5000 W, a transport fibre in a 200 µm optical head and a focus of a 150 mm collimating lens [4]. The samples were strengthened at a radiation power of 1875 W, a beam defocusing of 80 mm and a laser power density of 12,735 W/cm². The speed of movement of the beam was 8 mm/s. Samples of steel with different carbon content, %, from 0.203 (AISI 4820) to 0.951 (AISI 5210). The microhardness of the samples corresponded to a carbon content of 505 and 812 HV5.

Laser hardening of 40XH2MA steel samples at the LS-4 unit using an IPC 2D scanner was car-



(AISI 4820) до 0,951 (AISI 5210). Макротвердость образцов соответствовала содержанию углерода 505 и 812 HV5.

Лазерное упрочнение образцов стали 40ХН2МА на установке ЛС – 4 с использованием сканера IPG 2D проводилось с целью увеличения ширины и глубины зоны закалки [5]. В процессе лазерной закалки изменяли расстояние от фокальной плоскости в пределах 50–200 мм, шаг сканирования 50–1500 мкм, мощность излучения 1000–4000 Вт. Получены дорожки закалки с шириной 50 и глубиной 0,2–2,0 мм при мощности излучения 2000 Вт. Микротвердость упрочненных зон составила 6410–7340 МПа или 56–60 HRC. Увеличение мощности лазера до 4000 Вт позволило получить закаленные слои с глубиной до 2,5 мм при той же ширине обработанной зоны.

Целями работы были определение влияния дефокусировки луча волоконного лазера на глубину и ширину зон лазерного упрочнения и проведение полного факторного эксперимента на линейных участках.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лазерное термоупрочнение образцов стали 40Х с размерами 12×20×70 мм выполняли с помощью лазерного комплекса на основе волоконного лазера ЛС10, оснащенного оптической головкой FLWD50L, закрепленной на подвижном фланце руки робота KR120HA. Диаметр транспортного волокна 200 мкм, фокус коллимирующей линзы 160 мм, фокусирующей линзы 500 мм. Обработку выполняли при мощности излучения лазера 3000 и 4000 Вт, скорости перемещения луча 30 и 40 мм/с, дефокусировке луча в пределах 25–200 мм. Металлографические исследования проводили с использованием микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 0,98 Н, цифровой микроскоп АМ413ML, металлографический микроскоп Альтами МЕТ 1С.

Во второй серии опытов с помощью метода полного факторного эксперимента (ПФЭ) определяли влияние режимов обработки на параметры упрочненных дорожек. В качестве факторов эксперимента были выбраны мощность излучения P [Вт], скорость обработки V [мм/с] и дефокусировка луча Z [мм]. Для построения математических моделей в качестве откликов системы рассматривались глубина H и ширина B зон лазерной закалки. В таблице представлены уровни факторов эксперимента.

ried out with the aim of increasing the width and depth of the hardening zone [5]. In the process of laser hardening, the distance from the focal plane was changed from 50 to 200 mm, the scanning step was 50–1500 μm , and the radiation power was 1000–4000 W. The hardening tracks with a width of 50 and a depth of 0.2–2.0 mm were obtained with a radiation power of 2000 W. The microhardness of the hardened zones was 6410–7340 MPa or 56–60 HRC. Increasing the laser power up to 4000 W made it possible to obtain hardened layers with a depth of 2.5 mm with the same width of the treated zone.

The objectives of the work were to determine the influence of the defocusing of a fibre laser beam on the depth and width of the laser hardening zones, and to conduct a full factorial experiment on linear sections.

STUDY METHODOLOGY

Laser thermal hardening of steel samples 40X with dimensions 12×20×70 mm was performed using a laser complex based on a fibre laser LS10, equipped with an FLWD50L optical head mounted on a moving arm flange of the KR120HA robot. The diameter of the transport fibre is 200 μm , the focus of the collimating lens is 160 mm, the focusing lens is 500 mm. The processing was performed with a laser radiation power of 3000 and 4000 W, beam speeds of 30 and 40 mm/s, and beam defocusing within 25–200 mm. Metallographic studies were performed using a PMT-3 microhardness meter with a load of 0.98 N, an AM413ML digital microscope, metallographic microscope Altami MET 1C.

In the second series of experiments, the effect of the treatment modes on the parameters of the hardened tracks was determined using the full factorial experiment method. The radiation power P , W, processing speed V , mm/s, and defocusing of the beam Z , mm, were chosen as the experiment factors. To construct mathematical models, the depth H and the width B of laser hardening zones were considered as responses of the system. Table 1 presents the levels of experiment factors.

At the end of the experiments, thin sections were made by the standard method and three-fold measurements of the depth and width of the hardened zones were made. In the calculation, all possible interactions of factors were determined. Since the PFE³ was performed, the number of experiments was 8 for each series.



Основан в 1997

Региональный центр лазерных технологий

г. Екатеринбург, ул. Фронтовых Бригад, 18
г. Москва, ул. Большая Почтовая, 22
8 800 550 660 9, +7 (343) 272-30-80
mail@ural-lazer.ru
рцлт.рф

Лазерная обработка металла. Наши технологии – Ваш успех!

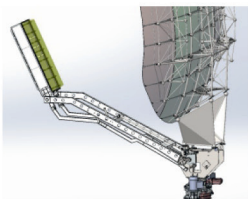
Предприятие полного цикла.

Предоставляет весь комплекс услуг от дизайна до опытного изделия и постановки на серию, на основе лазерных технологий по: 3D резке, сварке, термоупрочнению, перфорации, механообработке, изготовлению высокоточных крупногабаритных конструкций из титановых сплавов с предоставлением заказчику.

УСЛУГИ:



- 3D лазерная резка — (титановые и алюминиевые сплавы, конструкционная и нержавеющая сталь толщиной до 20 мм., Ømax 820 мм);
- 3D лазерная сварка (глубина сварного шва - до 10 мм.);
- лазерная и механическая перфорация листового и трубного проката;
- 3D лазерное поверхностное термоупрочнение деталей;
- лазерная наплавка (в т.ч. восстановление форм и штампов);
- изготовление нестандартных металлоконструкций по чертежам и образцам заказчика (в т.ч. по чертежам зарубежных фирм);
- высокоточная гибка, механообработка;
- разработка конструкторской и технологической документации.



Изготавливаемая продукция:

корпусные детали, изделия для предприятий ОПК, металлургических и машиностроительных предприятий, РЖД, строительных и монтажных организаций; изделия для авиационной промышленности; РосАтома и ГПМ; крупногабаритные высокоточные металлоконструкции весом до 15 тонн; изделия хозяйственно-бытового назначения, сувенирная продукция и многое другое.



ЗАО «РЦЛТ» всегда открыто для сотрудничества с предприятиями, заинтересованными во внедрении современных технологий в производство, высокая точность и качество работ которых обеспечивают конкурентоспособность продукции, в том числе и импортозамещение.

По окончании экспериментов изготавливались шлифы по стандартной методике и производились трехкратные измерения глубины и ширины закаленных зон. В расчете определялись все возможные взаимодействия факторов. Поскольку выполнялся ПФЭ 2^3 , количество экспериментов составило 8 для каждой серии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам металлографических исследований упрочненных зон в первой серии экспериментов построены графики зависимости глубины и ширины зон закалки от изменения расстояния до фокальной плоскости Z при погонной энергии луча 100 Дж/мм на рис. 1 (а, б). При дефокусировке луча менее 50 мм наблюдается кинжальное проплавление материала основы. Глубина и ширина зоны закалки изменяется линейно в интервале 100–150 мм, и поэтому этот участок можно описать уравнениями регрессии первого порядка [6].

Во второй серии экспериментов получены уравнения регрессии при дефокусировке луча 100–150 мм. Глубина зон упрочнения:

$$H = -3,046 + 0,001553 X_1 + 0,0783 X_2 + 0,02672 X_3 - 0,0000328 X_1 X_2 - 0,00068 X_2 X_3 - 0,00000972 X_1 X_3 + 0,000000236 X_1 X_2 X_3, \quad (1)$$

где X_1 – мощность излучения P (Вт);

X_2 – скорость V (мм/с);

X_3 – расстояние до фокальной плоскости Z (мм);

Ширина зоны упрочнения:

$$B = 21,663 - 0,005169 X_1 - 0,4794 X_2 - 0,0289 X_3 + 0,0001346 X_1 X_2 + 0,000618 X_2 X_3 + 0,00001736 X_1 X_3 - 0,000000242 X_1 X_2 X_3. \quad (2)$$

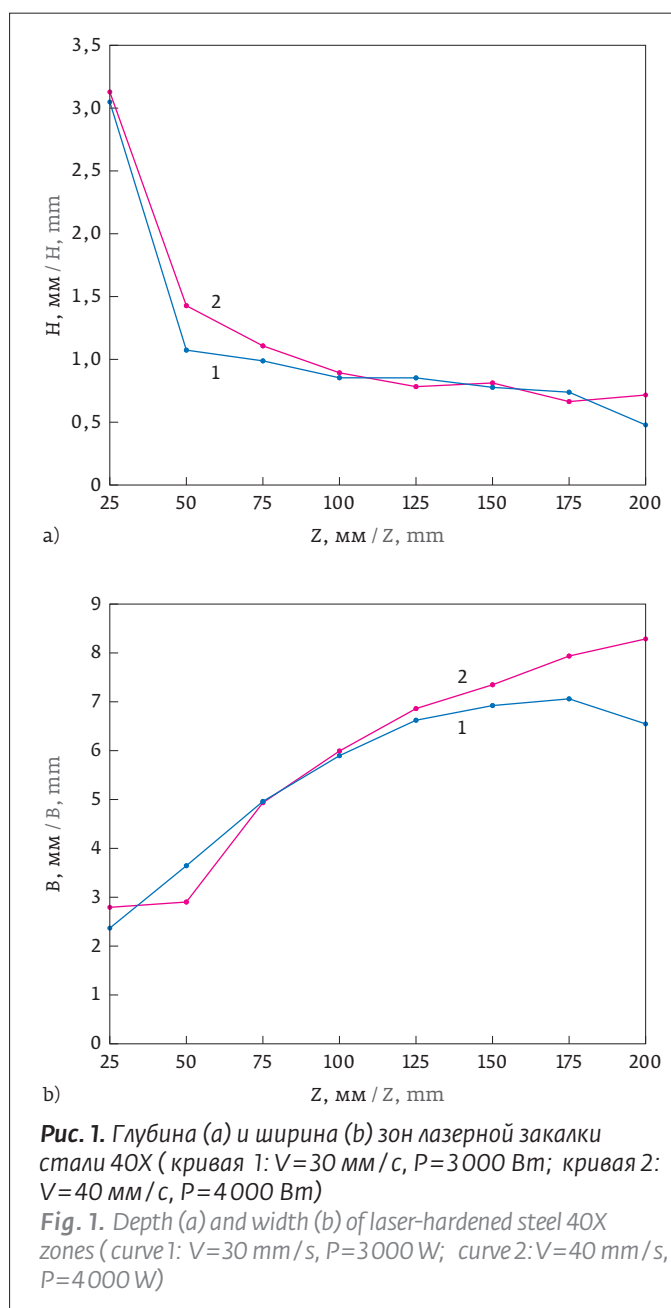


Таблица. Уровни факторов эксперимента

Table. Experiment factor levels

Фактор x_i Factor x_i	Верхний уровень фактора x_i^+ Factor upper level x_i^+	Нижний уровень фактора x_i^- Factor lower level x_i^-	Центр плана x_i^0 Plan center x_i^0	Интервал варьирования Δ_i Variation interval Δ_i
P (Вт) P (W)	4000	3000	3500	500
V (мм/с) V (mm/s)	40	30	35	5
Z (мм) Z (mm)	150	100	125	50

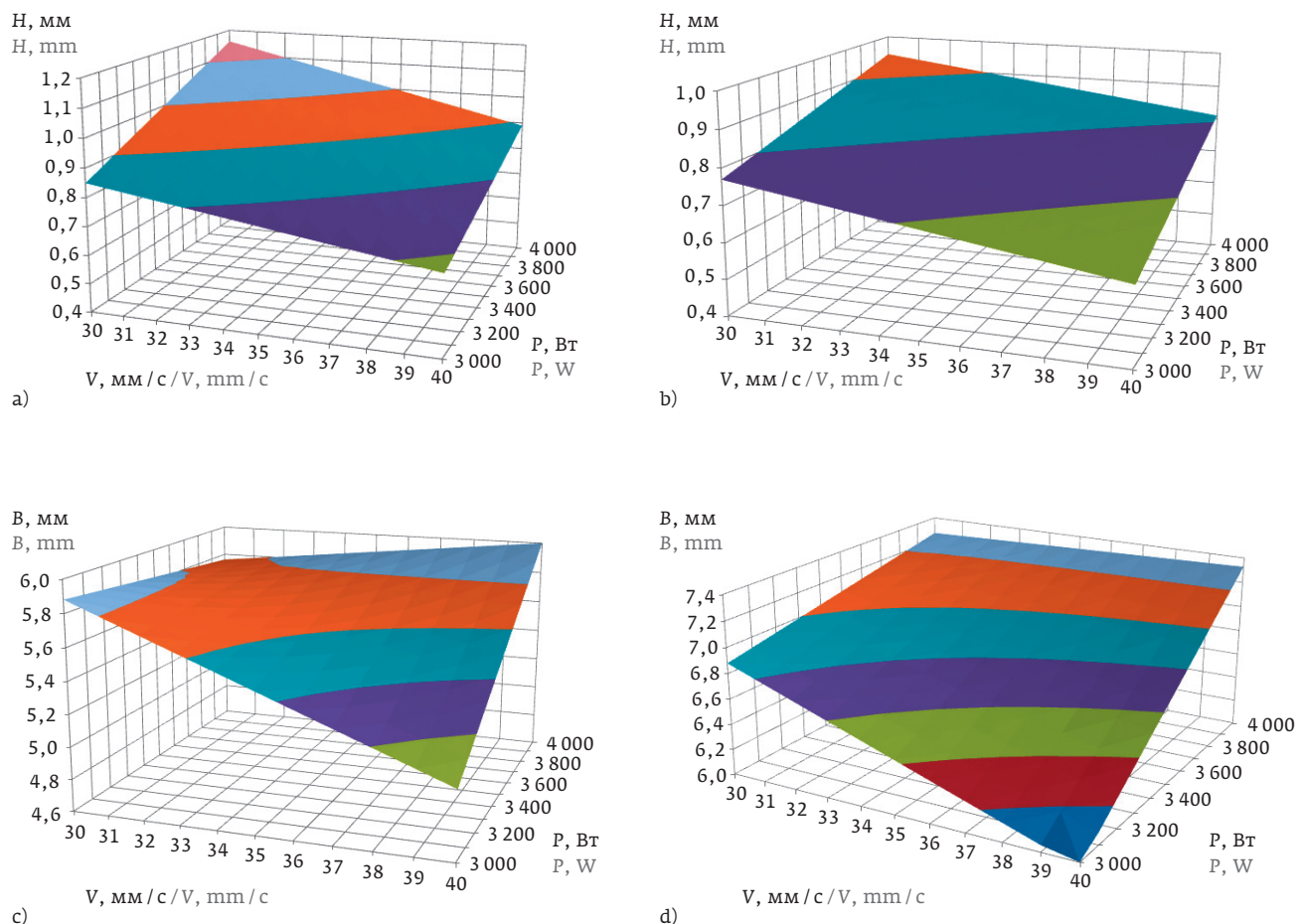


Рис. 2. Зависимость глубины (а, б) и ширины (с, д) зон лазерной закалки от дефокусировки луча, скорости и мощности обработки: а) и с) $Z=100$ мм; б) и д) $Z=150$ мм
Fig. 2. Dependence of the depth (a, b) and width (c, d) of the laser hardening zones on the beam defocusing, speed and processing power: a) and c) $Z=100$ mm; b) and d) $Z=150$ mm

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%. Регрессионные модели зависимостей типа $H(P, V)$, $B(P, V)$ введены в табличный редактор MsExcel и построены сравнительные поверхности для этих функций (рис. 2).

Преобладающее влияние на геометрические параметры зон закалки имеет мощность излучения (рис. 2 а и б). С увеличением мощности растут ширина и глубина зоны закалки. С ростом скорости перемещения глубина и ширина закаленных зон уменьшается при $Z=150$ (рис 2 г). Однако при $Z=100$ мм при меньших значениях скорости ширина падает (рис 2 в), что связано

STUDY RESULTS AND DISCUSSION

According to the results of metallographic studies of the hardened zones in the first series of experiments, graphs of the depth and width of the hardening zones are plotted against the change in distance to the focal plane Z with the heat input of the beam 100 J/mm in Fig. 1 (a, b). When the defocusing of the beam is less than 50 mm, a dagger penetration of the base material is observed. The depth and width of the hardening zone varies linearly in the range of 100–150 mm, and therefore this section can be described by first-order regression equations [6].

In the second series of experiments, regression equations were obtained with a beam defocusing between 100 and 150 mm.

Hardening zone depth:

с расходом энергии на плавление большего объема поверхности материала образца. С увеличением дефокусировки (диаметра) луча глубина зон закалики уменьшается, а ширина возрастает.

На рис. 3 показан микрошлиф зоны упрочнения стали 40Х, полученный при дефокусировке луча $Z=100$ мм, скорости перемещения луча $V=40$ мм/с и мощности излучения $P=4000$ Вт. Зона закалики состоит: из зоны оплавления шириной 3476 мкм и глубиной 140 мкм и расположенной ниже зоной закалики из твердого состояния шириной 6089 мкм и глубиной 842 мкм.

Микротвердость зон лазерной закалики изменялась в пределах 7180–8300 МПа. На рис. 4 а и б представлены графики микротвердости образцов, обработанных при дефокусировке $Z=100$ мм, $P=3000$ Вт, $V=30$ мм/с и $P=4000$ Вт, $V=40$ мм/с соответственно. Обработка при равной погонной энергии излучения 100 Дж/мм дает близкие по микротвердости и геометрическим параметрам зоны лазерной закалики.

Методика определения параметров упрочненных зон [6] может быть использована для всех типов лазеров: газовых, многолучевых, диодных, дисковых и волоконных. Для ее реализации достаточно обработать всего 7 образцов при наличии металлографического оборудования и персонального компьютера. Результаты экспериментов и расчетов дают возможность определения параметров зон закалики практически во всем исследованном диапазоне. Причем графики поверхности наглядно показывают закономерности изменения глубины и ширины зон упрочнения от режимов обработки, что значительно сокращает время на подготовку технологических процессов лазерной закалики промышленных деталей. Операция лазерного упрочнения предназначена для замены технологий азотирования с глуби-

$$H = -3.046 + 0.001553 X_1 + 0.0783 X_2 + 0.02672 X_3 - 0.0000328 X_1 X_2 - 0.00068 X_2 X_3 - 0.00000972 X_1 X_3 + 0.000000236 X_1 X_2 X_3, \quad (1)$$

where X_1 is the radiation power P (W);

X_2 is the speed V (mm/s);

X_3 is the distance to the focal plane Z (mm);

Hardening zone width:

$$B = 21.663 - 0.005169 X_1 - 0.4794 X_2 - 0.0289 X_3 + 0.0001346 X_1 X_2 + 0.000618 X_2 X_3 + 0.00001736 X_1 X_3 - 0.000000242 X_1 X_2 X_3. \quad (2)$$

According to the regression equations, calculations are performed and compared with the results of the experiment. The calculated values differ from the actual values of the depth and width of the hardening zones by no more than 5%. Regression models of dependencies of type $H(P, V)$, $B(P, V)$ are introduced into the MsExcel spreadsheet editor and comparative surfaces for these functions are built (Fig. 2).

The radiation power has a predominant influence on the geometric parameters of the hardening zones (Fig. 2 a and b). With increasing power, the width and depth of the hardening zone increase. With an increase in the velocity of displacement, the depth and width of the quenched zones decrease at $Z=150$ (Fig. 2 d). However, at $Z=100$ mm, with smaller values of the velocity, the width drops (Fig. 2c), which is associated with the energy consumption for melting a larger volume of the sample material surface. With increasing defocusing (diameter) of the beam, the depth of hardening zones decreases, and the width increases.

Fig. 3 shows the microsection of the 40X steel hardening zone obtained by defocusing the beam

$Z=100$ mm, the beam moving speed $V=40$ mm/s and the radiation power $P=4000$ W. The hardening zone consists of: a flashing zone with a width of 3476 μm and a depth of 140 μm and a lower hardening zone from a solid state with a width of 6089 μm and a depth of 842 μm .

The microhardness of the laser hardening zones varied within 7180–8300 МПа. Fig. 4 a and b show the microhard-

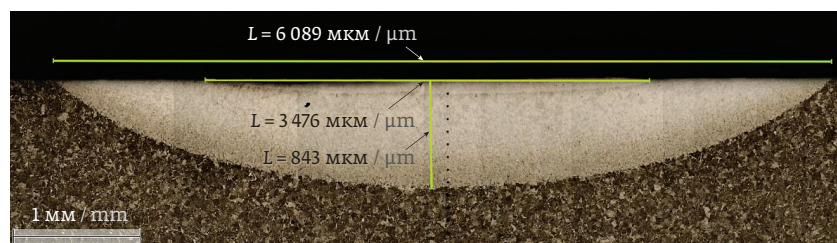
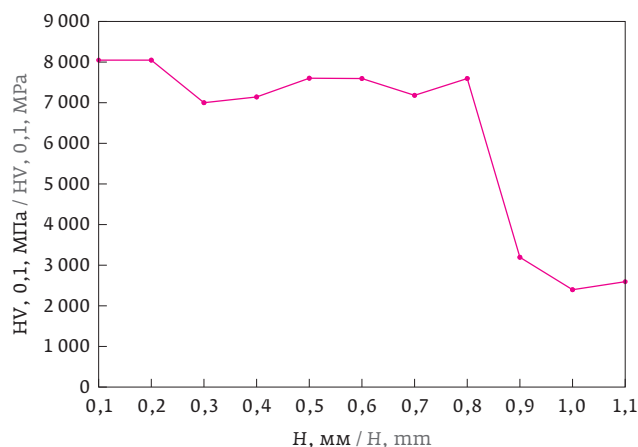
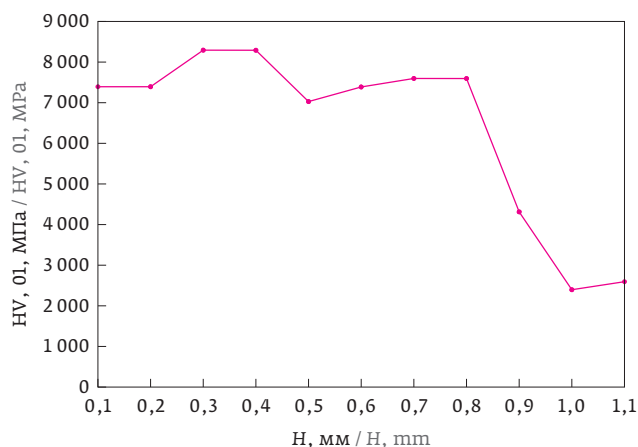


Рис. 3. Микрошлиф зоны лазерной закалики стали 40Х
Fig. 3. Micro-section of laser-hardened steel 40X zones



a)



b)

Рис. 4. Микротвердость упрочненных зон: а) $Z=100$ мм, $V=30$ мм/с, $P=3000$ Вт, б) $Z=100$ мм, $V=40$ мм/с, $P=4000$ Вт
Fig. 4. Microhardness of the hardened zones: а) $Z=100$ mm, $V=30$ mm/s, $P=3000$ W, б) $Z=100$ mm, $V=40$ mm/s, $P=4000$ W

ной 0,3-0,4 мм и цементации с глубиной слоя 1,0-1,1 мм. Применение лазерных технологий позволяет повысить производительность труда, экологическую чистоту производства. Современные лазерные комплексы оснащены системами программного управления и легко перестраива-

ness graphs of samples processed at defocusing $Z=100$ mm, $P=3000$ W, $V=30$ mm/s and $P=4000$ W, $V=40$ mm/s, respectively. Treatment with an equal radon energy of 100 J/mm gives laser hardening zones with similar microhardness and geometric parameters.



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ
"РАПИД"

<p>ЛАЗЕРНЫЕ РАСКРОЙНЫЕ СТАНКИ С ВОЛОКОННЫМИ ЛАЗЕРАМИ IPG</p> 	<p>ДЛИННОМЕРНЫЕ И КРУПНОФОРМАТНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ СТАНКИ</p> 	<p>ЛАЗЕРНЫЕ СТАНКИ С ВОЛОКОННЫМИ ЛАЗЕРАМИ IPG МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ РАСКРОЯ ТОНКОЛИСТОВОЙ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ</p> 	<p>ЛАЗЕРНЫЕ РАСКРОЙНЫЕ КОМПЛЕКСЫ С МОЩНЫМИ СО2-ЛАЗЕРАМИ "ROFIN-SINAR"</p> 
<p>ЛАЗЕРНЫЕ СТАНКИ С СО2-ЛАЗЕРАМИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕКЛАМНОГО, ШВЕЙНОГО, МЕБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА</p> 	<p>СКОРОСТНЫЕ СТАНКИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ "РАПИД Плазма"</p> 	<p>КООРДИНАТНЫЕ СТОЛЫ С ЧПУ ПОЗИЦИОНЕРЫ</p> 	<p>КРУПНОФОРМАТНЫЕ ПЛОТТЕРЫ, ГРАФОПОСТРОИТЕЛИ, КООРДИНАТОГРАФЫ</p> 

✓ 12 лет на рынке

✓ Простота, надежность, ресурс

✓ Комплектующие лучших мировых производителей

✓ Поддержка изготовителя на протяжении всей жизни станка

394033 г.Воронеж, ул. Ильюшина, дом 3

Телефон: +7 (903) 651-67-49

Тел./факс: +7 (473) 241-94-50

Email: npkrapid@yandex.ru

http:// www.npk-rapid.ru

ются на различные по габаритам и конфигурации детали и изделия.

ВЫВОДЫ

1. Получены линейные уравнения регрессии при дефокусировке луча 100–150 мм, позволяющие рассчитать глубину и ширину зон закалки с погрешностью не более 5%.
2. Построены поверхности, наглядно демонстрирующие закономерности изменения характеристик закаленных зон от параметров режимов обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oliveira R.J.B. et al. Microstructure and wear behaviour of laser hardened SAE4130 steels. *Int. J. Surface Science and Engineering*. 2018; 12(2): 161–170. DOI: 10.1504/IJSURFSE.2018.10012334.
2. Al-Sayed S.R., Hussein A.A., Nofal A.A., Hassab Elnaby S.I., Elgazzar H. Characterization of a Laser Surface-Treated Martensitic Stainless Steel. *Materials*. 2017;10. DOI: 10.3390/ma10060595.
3. Adel K. M. Enhancement of Dry Sliding Wear Characteristics of CK45 Steel Alloy by Laser Surface Hardening Processing. *Procedia Materials Science*. 2014; 6: 1639–1643. DOI: 10.1016/j.msp.2014.07.148.
4. Qiu F., Uusitalo J., Kujanpää V. Laser transformation hardening of carbon steel: microhardness analysis on microstructural phases. *Surface Engineering*. 2013; 29(1): 34–40. DOI 10.1179/1743294412Y.0000000049.
5. Бирюков В.П., Фишков А.А., Татаркин Д.Ю., Хриптович Е.В. Влияние лазерного упрочнения круглым, профилированным и колеблющимся лучом на повышение ресурса работы деталей машин. *ФОТОНИКА*. 2017; 11(3):28–34. DOI: 10.22184/1993-7296.2017.63.3.28.34.
Biryukov V. P., Fishkov A. A., Tatarkin D. Yu., Hriptovich E. V. Vliyanie lazernogo uprochneniya kruglym, profilirovannym i koleblyushchimsya luchom na povyshenie resursa raboty detalej mashin. *ФОТОНИКА*. 2017; 11(3):28–34. DOI: 10.22184/1993-7296.2017.63.3.28.34.
6. Бирюков В.П. Расчетно-экспериментальное определение параметров упрочненных зон при лазерной закалке чугунов и сталей. *ФОТОНИКА*. 2017; 11(2): 22–32.
Biryukov V. P. Raschetno-eksperimental'noe opredelenie parametrov uprochnennykh zon pri lazernoj zakalke chugunov i stalej. *ФОТОНИКА*. 2017; 11(2): 22–32.

The method of determining the parameters of hardened zones [6] can be used for all types of lasers: gas, multi-beam, diode, disk and fibre. To implement it, it is enough to process only 7 samples, the presence of metallographic equipment and a personal computer. The results of experiments and calculations make it possible to determine the parameters of the hardening zones in almost the entire investigated range. Moreover, the surface graphics vividly show the patterns of change in the depth and width of the hardening zones from the processing modes, which significantly reduces the time to prepare the technological processes of laser hardening of industrial parts. The laser hardening operation is intended to replace nitriding technologies with a depth of 0.3–0.4 mm and cementation with a layer depth of 1.0–1.1 mm. The use of laser technology allows you to increase productivity, environmental cleanliness of production. Modern laser systems are equipped with software control systems and are easily rebuilt for parts and products of various sizes and configurations.

CONCLUSIONS:

1. Obtained linear regression equations for defocusing a beam of 100–150 mm, allowing to calculate the depth and width of hardening zones with an error of no more than 5%.
2. Constructed surfaces showing the pattern of changes in the parameters of hardened zones from processing modes.

ПОЛЕМА представила материалы для 3D-печати изделий, используемых в нефтегазовой отрасли



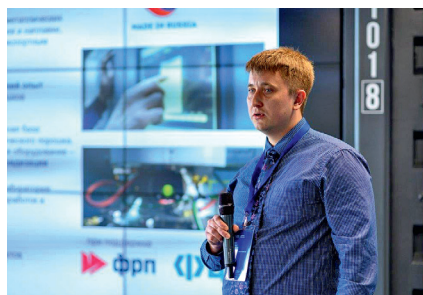
В ходе мероприятия «Digital StandUp трек «Аддитивные технологии» (организатор ПАО «Газпром нефть», г. Санкт-Петербург) «ПОЛЕМА» представила традиционные материалы для нефтегазовой отрасли, а также новейшие разработки — супе-

ринварные и высокоэнтропийные сплавы, порошок марки CompoNiAl-M5-3 и отечественный порошковый материал Super Duplex 25Cr, имеющий повышенную устойчивость к коррозии в условиях пониженных температур (необходи-

мый сплав в производстве деталей для разработки шельфовых месторождений).

Начальник исследовательской лаборатории АО «ПОЛЕМА» Михаил Панин подробно рассказал о результатах испытаний 3D-изделий, напечатанных из металлического порошка производства «ПОЛЕМА», и о ближайших планах предприятия по разработке импортозамещающих продуктов. Руководитель Центра цифровых технологий Дирекции по цифровой трансформации «Газпром нефть» Михаил Корольков подтвердил, что, несмотря на то, что 3D-печать не так широко используется, как робототехника, запрос на знание технологии, сценарии ее применения в периметре «Газпром нефти» очень высок.

www.polema.net





Металлические порошки

Более 250 видов для наплавки, напыления, 3D и MIM технологий

Хром

Порошки, чешуйки, пластины, распыляемые мишени, испаряемые катоды.

Чистота хрома 99,95-99,99 %

Композиционные материалы

Распыляемые мишени, испаряемые катоды, контакты

Тугоплавкие металлы

Листы, пластины, лодочки, прутки, электроды

АО «ПОЛЕМА»

Тел.: +7 (4872) 25 06 70

Факс: +7 (4872) 25 06 78

300016, Россия, г. Тула,
ул. Пржевальского, д. 3

www.polema.net

www.metholding.ru

51A30
стенд

ВЫСТАВКА

Металлообработка-2019

«Аддитивные технологии.

Промышленная 3D-печать»

27-31 мая 2019 г

Экспоцентр, Москва