

УДК 620.178.322.1

А. И. Веремейчик, О. М. Миширук, М. В. Нерода, Б. Г. Холодарь, К. Д. Миневич
Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь
Тел./ факс: +375-162-32-17-42; E-mail: vai_mrtm@bstu.by

ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 10Г2 ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ И ЛЕГИРОВАНИЯ

Проведено исследование зависимости характеристик прочности и пластичности образцов из конструкционной стали 10Г2 от режимов лазерного упрочнения и легирования. На противоположные плоскости образца с габаритными размерами 6 × 20 × 200 мм было нанесено 5 дорожек. Проведены испытания на растяжение. Установлено, что разрушение обработанных образцов во всех случаях носило вязкий характер с удовлетворительным уровнем разрушающих деформаций при напряжениях, превышающих предел прочности исходного материала. Диаграммы растяжения свидетельствуют о незначительном влиянии лазерной обработки на модуль упругости материала. Полученные результаты могут служить основой для изучения взаимосвязи между режимами нагрева лазерного луча и свойствами материала упрочненной зоны.

Ключевые слова: лазерное упрочнение, легирование, сталь, растяжение, скорость сканирования, прочность на разрыв, удлинение.

A.I. Veremeychik, O.M. Mishchyruk, M.V. Neroda, B.G. Kholodar, K.D. Minevych

TENSILE TESTS OF 10G2 STEEL SPECIMENS AFTER LASER HARDENING AND ALLOYING

A study was carried out of the dependence of the characteristics of strength and ductility of samples made of structural steel 10G2 on laser hardening and alloying modes. On opposite planes of a sample with overall dimensions of 6 × 20 × 200 mm, 5 tracks were applied. Tensile tests have been carried out. It was established that the destruction of the treated samples in all cases was of a viscous nature with a satisfactory level of destructive deformations at stresses above the tensile strength of the original material. The tensile diagrams indicate a negligible effect of laser processing on the elastic modulus of the material. The results obtained can serve as a basis for studying the relationship between laser beam heating modes and the material properties of the strengthened zone.

Keywords: laser hardening, alloying, steel, stretching, scanning speed, tensile strength, elongation.

1. Введение

Актуальность проблем, связанных с влиянием режимов лазерного воздействия на структуру и свойства различных материалов, подтверждается многочисленными публикациями отечественных и зарубежных ученых. В основном исследования заключаются в определении влияния режимов лазерной закалки на износостойкость, а проблеме влияния лазерной обработки на прочностные характеристики и характеристики пластичности материала уделяется недостаточное внимание [1]. Работа посвящена исследованиям взаимосвязи между режимами нагрева лазерным лучом и прочностными характеристиками материала.

2. Основное содержание и результаты работы

Образцы для испытаний на растяжение были изготовлены из конструкционной стали 10Г2. Размеры образцов: толщина – 6 мм, ширина – 20 мм и длина – 200 мм (отклонения от указанных размеров учтены при обработке результатов). Образцы подвергались лазерной поверхностной обработке излучением волоконного иттербиевого лазера мощностью 1 кВт с объективом для фокусировки лазерного излучения, системой перемещения и сканирующей лазерный луч головкой [2] при различных режимах обработки (таблица 1). Для каждого режима закалки и легирования

использовалось три образца. На противоположных плоскостях образца с габаритными размерами 20x200 мм наносились 5 дорожек. Длина лазерных дорожек составила 170 мм. Обработка каждой дорожки осуществлялась с одной и той же стороны (рис. 1). Размер лазерного пятна равен 0,35 мм. Расстояние от поверхности образца до последнего дефлектора составило 450 мм. Для легирования на образцы предварительно наносилась смесь бора аморфного с ацетоном и клеем БФ-4.

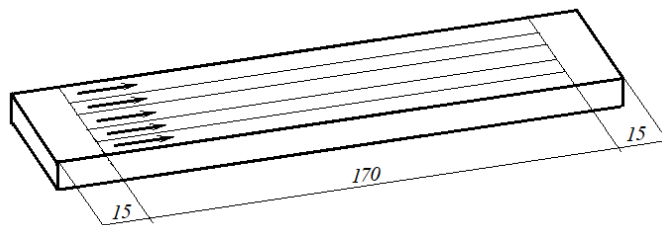


Рисунок 1. Схема движения лазерного пятна сканирования по поверхности образца

С помощью металлографического микроскопа «Альтами МЕТ 3С» проведены визуальные наблюдения структуры материала поверхности необработанных, закаленных и легированных образцов. Исследования закаленных образцов показали наличие поверхностных микротрещин в зоне дорожки, ориентированных преимущественно поперек оси симметрии образцов. Трещинообразование вызвано растрескиванием поверхностного слоя образца из-за возникших усадочных напряжений материала (рис. 2–4).



Рисунок 2. Структура необработанного образца 1

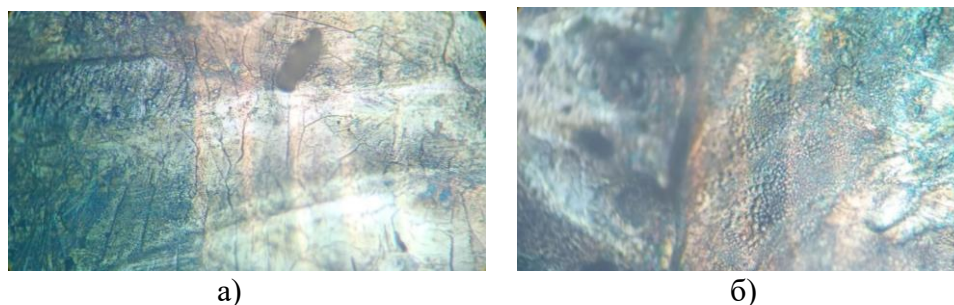


Рисунок 3. Структура закаленного образца 3.1: а – в закаленной зоне, б – между дорожками

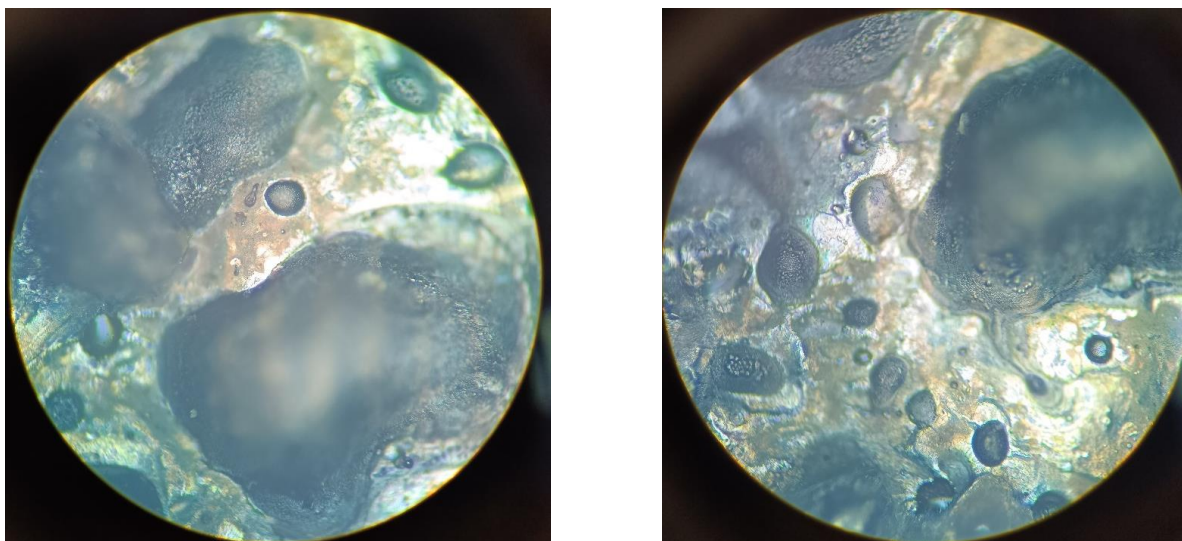


Рисунок 4. Структура легированного образца 6.1

Высокие скорости и градиенты термического воздействия в зоне обработки вызывают большую неоднородность процессов структурных превращений в термически активированном объеме и, как следствие, развитие дефектности структуры, что приводит к охрупчиванию материала и падению его деформативных свойств [4, 5].

Для определения прочностных характеристик образцы испытывались на статическое растяжение согласно ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение» на машине разрывной Meitesi WDW-300 (Китай). Испытания образцов на растяжение проводились при нагружении со скоростью 5 мм/мин.

Таблица 1. Режимы лазерной обработки

| Вид обработки | Пятно сканирования, мм | Количество линий, шт | Частота сканирования, Гц | Скорость сканирования V, мм/мин | Номер образца |
|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------|
| Лазерная закалка | 4 × 2,25 | 7 | 220 | 300 | 1а, 1б, 1в |
| | | | | 500 | 2а, 2б, 2в |
| | | | | 700 | 3а, 3б, 3в |
| Лазерное легирование | | | | 300 | 4а, 4б, 4в |
| | | | | 500 | 5а, 5б, 5в |
| | | | | 700 | 6а, 6б, 6в |

Примечание: в графе «Номер образца» 1–6 – номер партии; а, б, в – номер образца в партии.

Разрушение необработанных (НО) и обработанных образцов происходило в пределах расчетной длины с образованием «шейки», уменьшением площади поперечного сечения в зоне разрыва и увеличением длины образца. Все закаленные и легированные образцы разрушились по сечениям, перпендикулярным направлению растягивающей нагрузки, а образцы, не подверженные лазерной обработке разрушились по сечениям, расположенным под углом к направлению растягивающей силы (рис. 5). Примеры разрушенных образцов и сечений разрушения приведены на рис. 6. На образцах присутствует значительный наклеп поверхностных слоев.

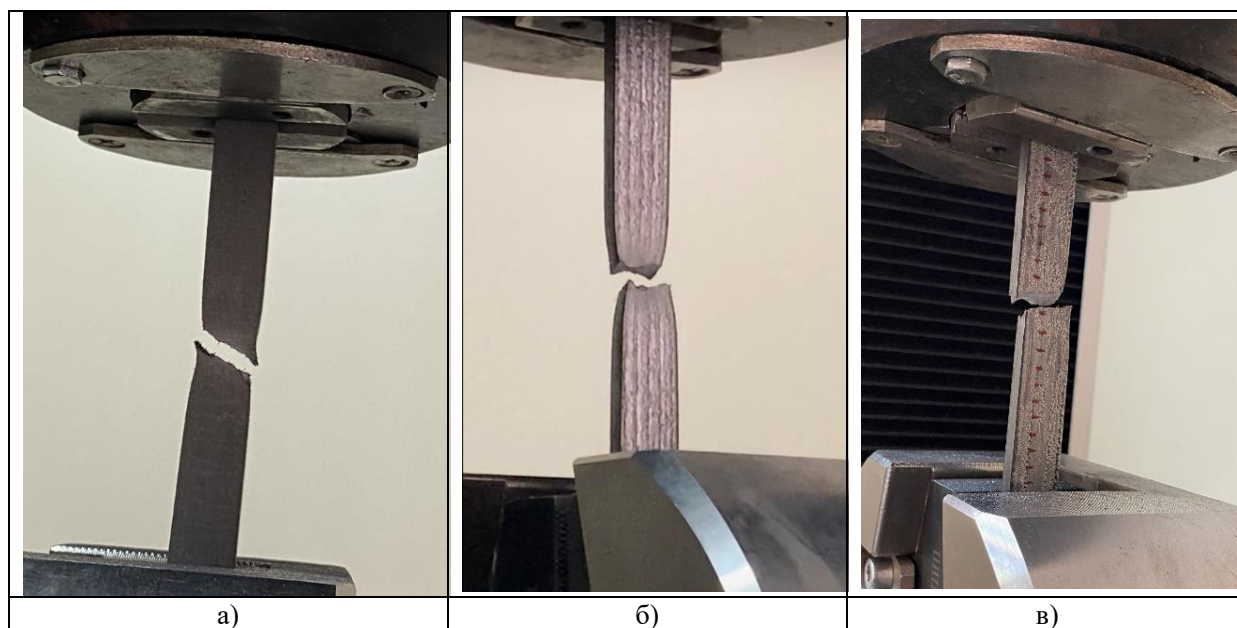


Рисунок 5. Испытания образцов материала на растяжение: а – необработанный образец, б – образец, закаленный лазером, в – образец, легированный лазером

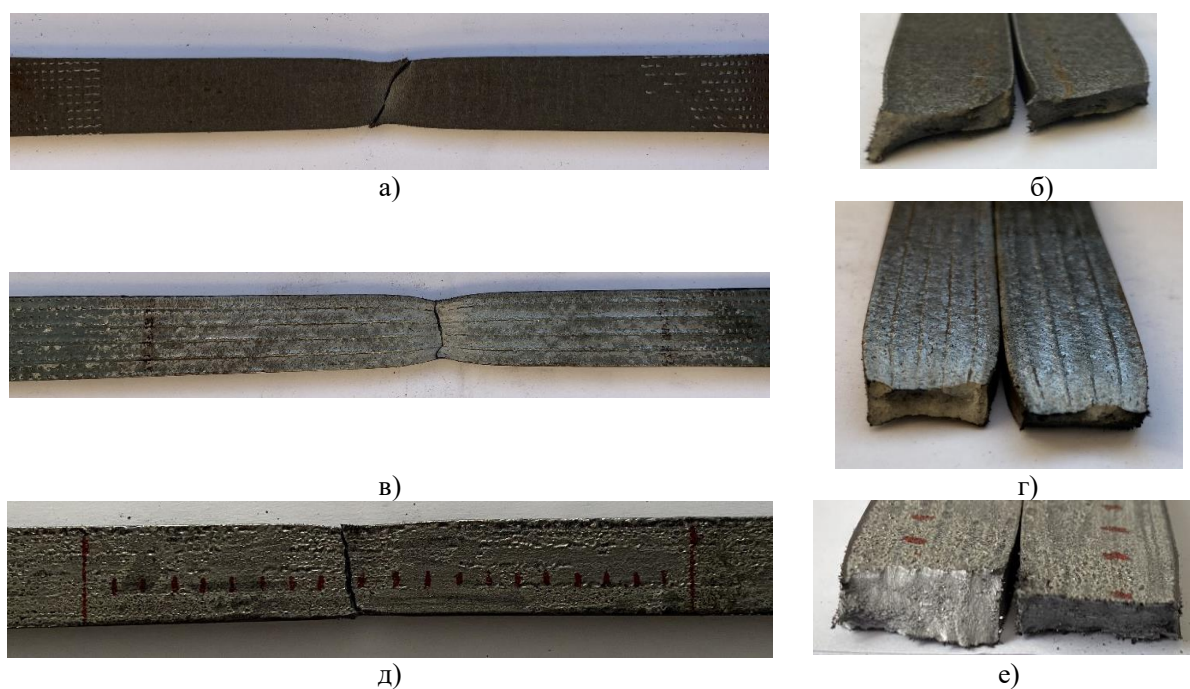


Рисунок 6. Разрушенные образцы (а, в, д) и сечение разрушения (б, г, е): а, б – образец НО2; в, г – образец 1б; д, е – образец ба

По результатам испытаний были определены временное сопротивление и относительное удлинение всех образцов. Данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Некоторые характеристики при испытании плоских образцов

| Пятно сканирования, скорость продольного перемещения | Вид обработки | Номер партии | Маркировка | Временное сопротивление, σ_b , МПа | Относительное удлинение, δ , % |
|------------------------------------------------------|----------------------|--------------|------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| - | - | НО | 1 | 567 | 26 |
| | | | 2 | 567 | 31 |
| | | | 3 | 565 | 31 |
| 4 × 2,25 мм (7 линий) 300 мм/мин | Лазерная закалка | 1 | а | 648 | 17 |
| | | | б | 625 | 19 |
| | | | в | 666 | 19 |
| 4 × 2,25 мм (7 линий) 500 мм/мин | Лазерная закалка | 2 | а | 622 | 22 |
| | | | б | 628 | 23 |
| | | | в | 628 | 18 |
| 4 × 2,25 мм (7 линий) 700 мм/мин | Лазерная закалка | 3 | а | 626 | 21 |
| | | | б | 628 | 20 |
| | | | в | 622 | 23 |
| 4 × 2,25 мм (7 линий) 300 мм/мин | Лазерное легирование | 4 | а | 622 | 14 |
| | | | б | 624 | 12 |
| | | | в | 625 | 14 |
| 4 × 2,25 мм (7 линий) 500 мм/мин | Лазерное легирование | 5 | а | 635 | 13 |
| | | | б | 667 | 15 |
| | | | в | 626 | 9 |
| 4 × 2,25 мм (7 линий) 700 мм/мин | Лазерное легирование | 6 | а | 651 | 15 |
| | | | б | 644 | 14 |
| | | | в | 643 | 15 |

По результатам проведенных испытаний были построены зависимости возникающих в образцах напряжений σ от деформаций ϵ (рис. 7). Для удобства сравнения графиков выполнено их наложение на графики образцов, которые не подвергались лазерной обработке. Анализ диаграмм растяжения указывает на незначительное влияние в исследуемом диапазоне параметров скорости сканирования на величину модуля упругости материала. В то время как при лазерном легировании диаграммы растяжения указывают на более значительное влияние скорости лазерного сканирования на модуль упругости материала. Разрушение закаленных и легированных образцов произошло с незначительным снижением уровня разрушающих деформаций. Результаты испытаний показывают высокую степень повторяемости полученных зависимостей σ (ϵ).

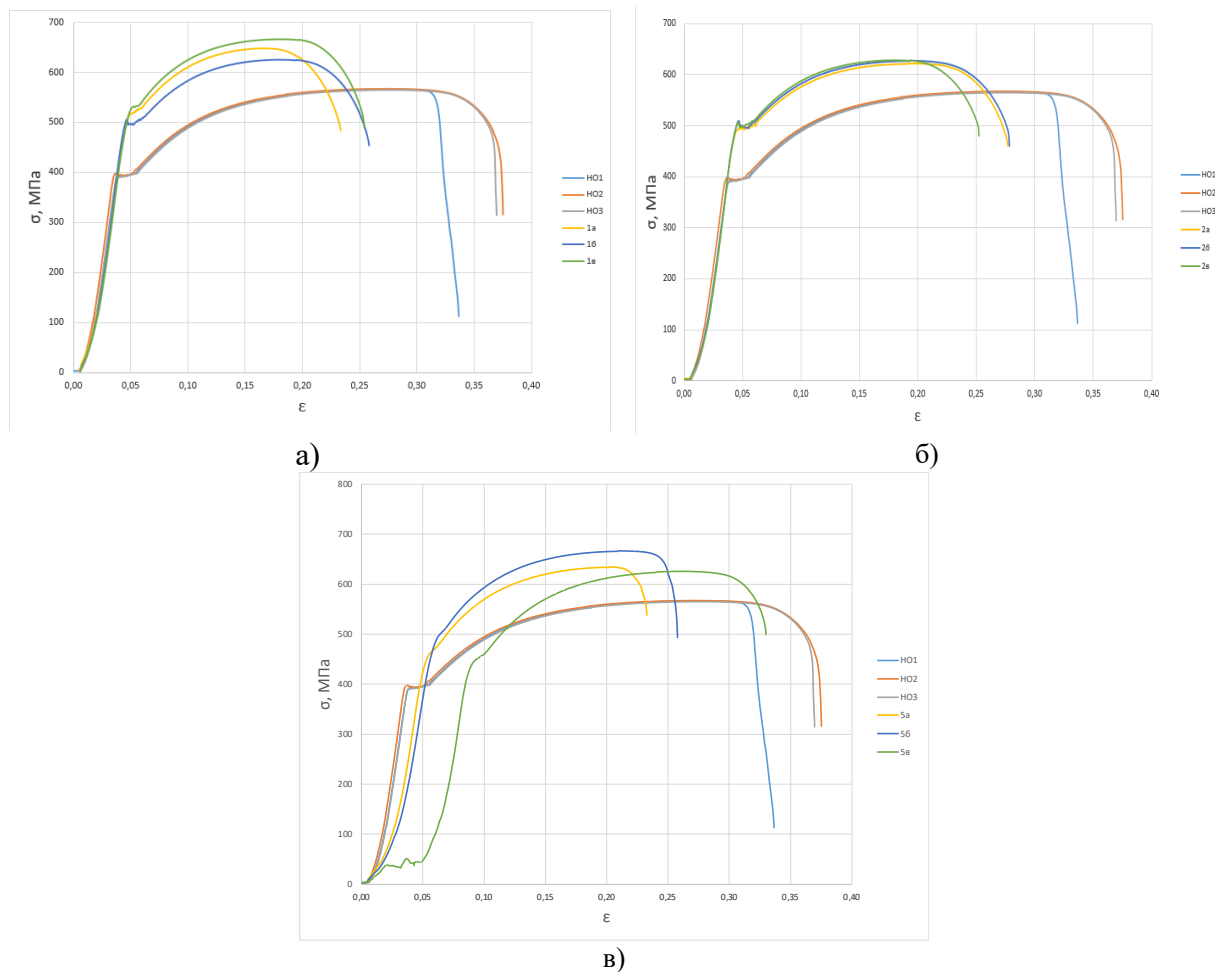


Рисунок 7. Зависимость возникающих в образцах стали 10Г2 напряжений (σ) от деформаций (ϵ): *a* – партия № 1, *b* – партия № 2, *c* – партия № 5

Результаты показывают [3, 4, 5], что максимальное напряжение для всех подвергнутых закалке и легированию образцов увеличилось в сравнении с необработанными образцами: на 14% для партий № 1, № 6; на 13 % для партии № 5; на 10 % для партий № 2–4. Следует отметить незначительное снижение характеристик пластичности стали 10Г2 при лазерной закалке: относительное удлинение закаленных образцов не превышает 17–23 % при аналогичном параметре для исходных образцов 31 %. При лазерном легировании характеристики пластичности снизились больше, чем в два раза: относительное удлинение легированных образцов составило 6–15 %. Снижение характеристик пластичности связано со значительным повышением твердости закаленной и легированной зоны и наличием микротрещин на ее поверхности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Mishchiruk, O. M. RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF LASER SCANNING SPEED ON THE CHARACTERISTICS OF 10G2 STEEL / O. M. Mishchiruk, A. I. Verameichyk, M. V. Neroda, B. G. Holodar // Vestnik of Brest State Technical University. 2022. – № 3 (132). – P. 69–74. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-69-74>.

2. Девойно, О. Г. Обеспечение ресурсных параметров ответственных элементов механических трансмиссий с использованием поверхностных слоев, формируемых лазерными технологиями [Электронный ресурс] / О. Г. Девойно, И. В. Швец // Теоретическая и прикладная механика: междунар. науч.-техн. сб. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 266–270.

3. Александров, В. Г. Справочник по авиационным материалам. / В. Г. Александров. - М. : Транспорт, 1972. - 328 с.

4. Амитан, Г. Л. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Г. Л. Амитан, И. А. Байсупов, Ю. М. Барон и др. – Л. : Машиностроение, 1988. – 719 с.

5. Асатурян, В. И. Теория планирования эксперимента. /В. И. Асатурян. – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.

Поступила в редколлегию 08.02.2024