

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора / Грубый С. В., Лапшин В. В., Наука и образование, ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. С.61-74
2. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В. И. Бородавко [и др.]; под общ. ред. М. Л. Хейфеца и С. А. Клименко. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 463 с.
3. Мартиновская О.В., Горбунов В.П., Нерода М.В. Методика испытаний новых сверхтвердых материалов на основе cBN в качестве лезвийного инструмента для чистовой обработки // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: Сборник статей междунар. науч.-техн. конф. / г. Брест, (20-21 октября 2022 г.) – Брест, 2022. – С.143 – 147.
4. ГОСТ Р 50302-92 Вставки перетачиваемые для сборного инструмента, оснащенные сверхтвердым материалом (композитом). Технические условия. / Госстандарт России, М.: 1992. – 16с.

УДК 621.789

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТАЛИ 10Г2 ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ И ЛЕГИРОВАНИЯ

Миширук О.М.<sup>1</sup>, Веремейчик А.И.<sup>1</sup>, Девойно О.Г.<sup>2</sup>,  
Нерода М.В.<sup>1</sup>, Холодарь Б.Г.<sup>1</sup>

- 1) Брестский государственный технический университет, г. Брест,  
Республика Беларусь
- 2) Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
Республика Беларусь

Лазерные технологии поверхностной обработки в ряде случаев заменяют традиционные методы термической обработки. Это обусловлено преимуществами сфокусированного лазерного излучения: бесконтактностью и локальностью теплового воздействия, минимальной зоной термического влияния, высокими скоростями нагрева и охлаждения, снижением уровня остаточных напряжений, сведением к минимуму коробления, повышением дисперсности структуры [1]. Лазерная закалка может рассматриваться в качестве альтернативы поверхностному упрочнению цементацией и последующей объемной закалке, а также ионно-плазменному азотированию. Технология лазерной закалки сканирующим лучом без оплавления позволяет отказаться от шлифования поверхности после упрочнения.

Актуальность проблем, связанных с влиянием режимов лазерной закалки на структуру и свойства различных материалов, подтверждается многочисленными публикациями отечественных и зарубежных ученых [1–5]. Следует отметить, что в основном исследования заключаются в определении влияния режи-

мов лазерной закалки на износостойкость, а проблеме влияния лазерной обработки на прочностные характеристики и характеристики пластичности материала уделяется недостаточное внимание.

Для определения зависимости характеристик прочности и пластичности стали 10Г2 от режимов лазерной поверхностной обработки 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 при различных режимах обработки (таблица 1) в лаборатории плазменных и лазерных технологий БНТУ. Размеры образцов: толщина – 6 мм, ширина – 20 мм и длина – 200 мм. На противоположных плоскостях образца с габаритными размерами 20x200 мм наносились 5 дорожек. Отступ от краев образца составил по 15 мм с каждой стороны, поэтому длина лазерных дорожек составила 170 мм. Обработка каждой дорожки осуществлялась в одном и том же направлении (рисунок 1). Размер лазерного пятна равен 0,35 мм. Расстояние от поверхности образца до последнего дефлектора составило 450 мм. При легировании на образцы предварительно наносилась смесь бора аморфного с ацетоном и клеем БФ-4.

Для определения прочностных характеристик после лазерной обработки 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.

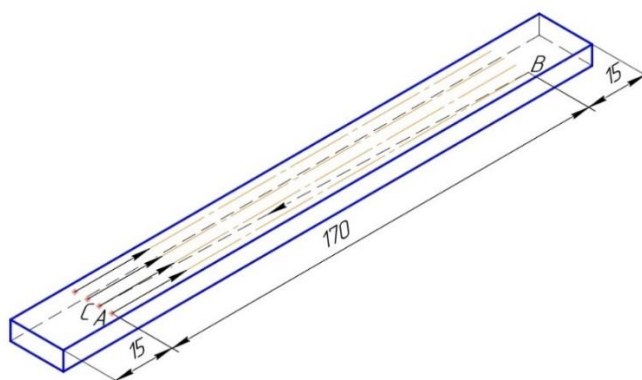


Рисунок 1 – Схема движения лазерного пятна по поверхности образца

Таблица 1 – Режимы лазерной обработки

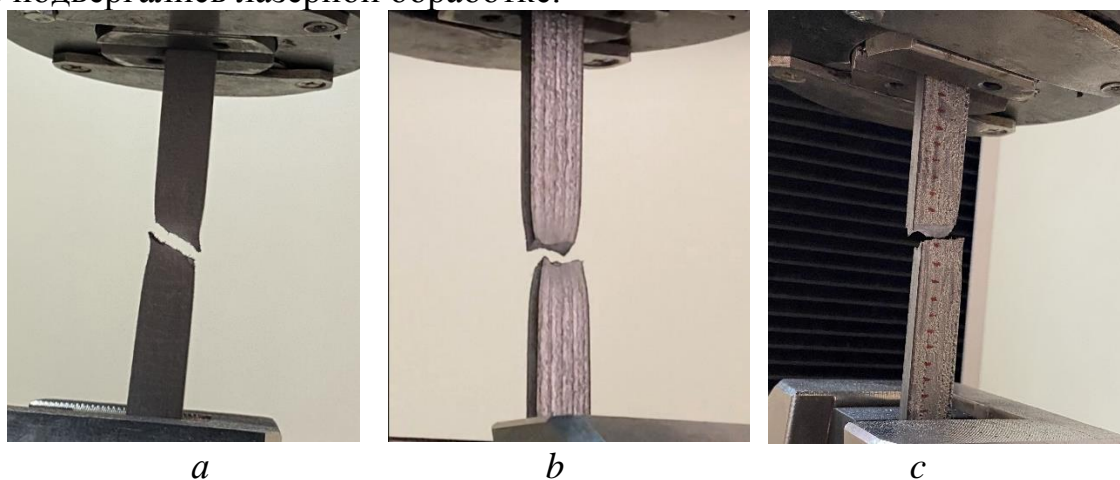
Вид обработки	Пятно сканирования, мм	Количество линий, шт	Частота сканирования, Гц	Скорость сканирования V, мм/мин	Номер образца
Закалка	4 × 2,25	7	220	300	1а, 1б, 1в
				500	2а, 2б, 2в
				700	3а, 3б, 3в
Легирование				300	4а, 4б, 4в
				500	5а, 5б, 5в
				700	6а, 6б, 6в

Примечание: в графе «Номер образца» 1, 2, 3, 4, 5, 6 – номер партии; а, б, в – номер образца в партии.

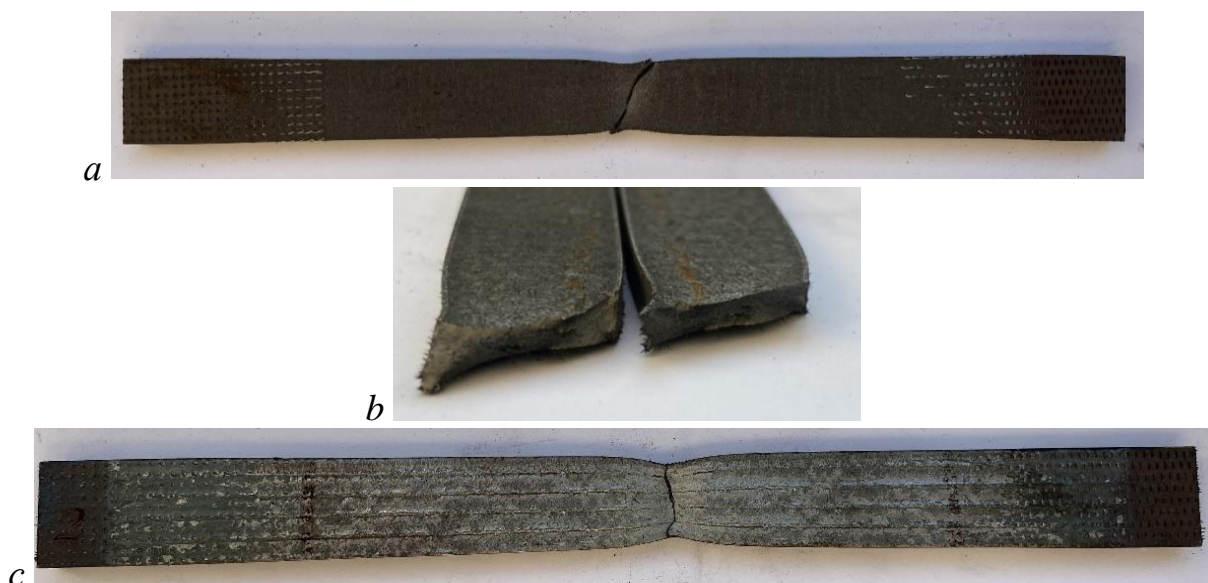
Разрушение необработанных (НО) и обработанных образцов происходило в пределах расчетной длины с образованием «шейки», уменьшением площади поперечного сечения в зоне разрыва и увеличением длины образца. Все закаленные и легированные образцы разрушились по сечениям, перпендикулярным направлению растягивающей нагрузки, а образцы, не подверженные лазерной закалке разрушились по сечениям, расположенным под углом к направлению растягивающей силы (рисунок 2).

Примеры разрушенных образцов и сечений разрушения приведены на рисунке 3. На всех образцах присутствует значительный наклеп поверхностных слоев.

По результатам проведенных испытаний были построены зависимости возникающих в образцах напряжений  $\sigma$  от деформаций  $\epsilon$  (рисунок 4). Для удобства сравнения графиков выполнено их наложение на графики образцов, которые не подвергались лазерной обработке.



**Рисунок 2 – Испытания образцов материала на растяжение:  
*a* – необработанный, *b* – после закалки, *c* – после легирования**



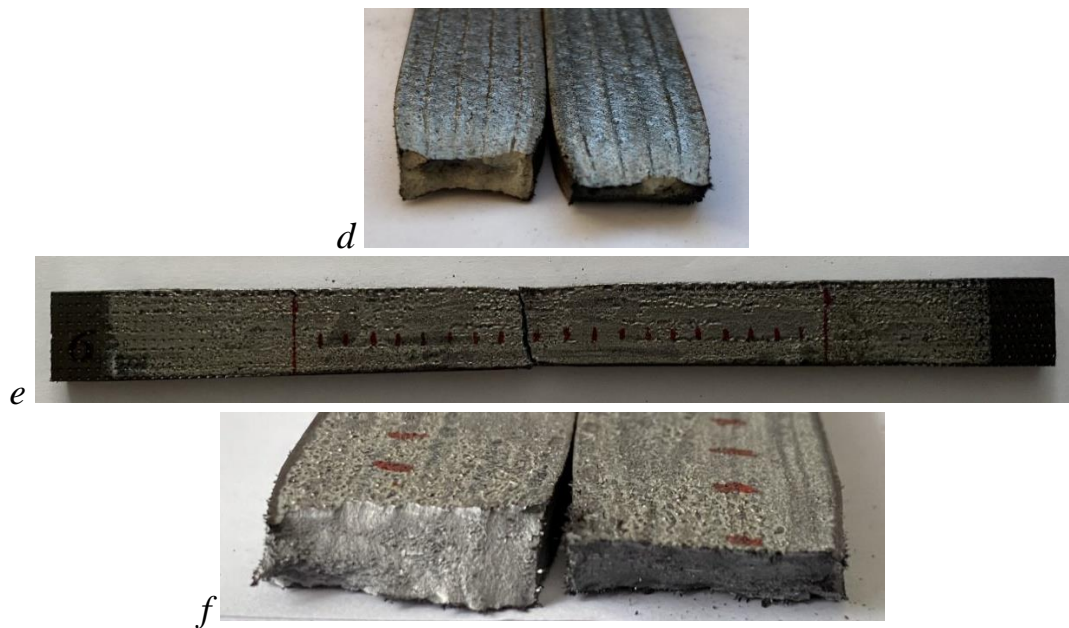


Рисунок 3– Разрушенные образцы (*a, c, e*) и сечение разрушения (*b, d, f*):  
*a, b* – образец НО2; *c, d* – образец 1б; *e, f* – образец ба

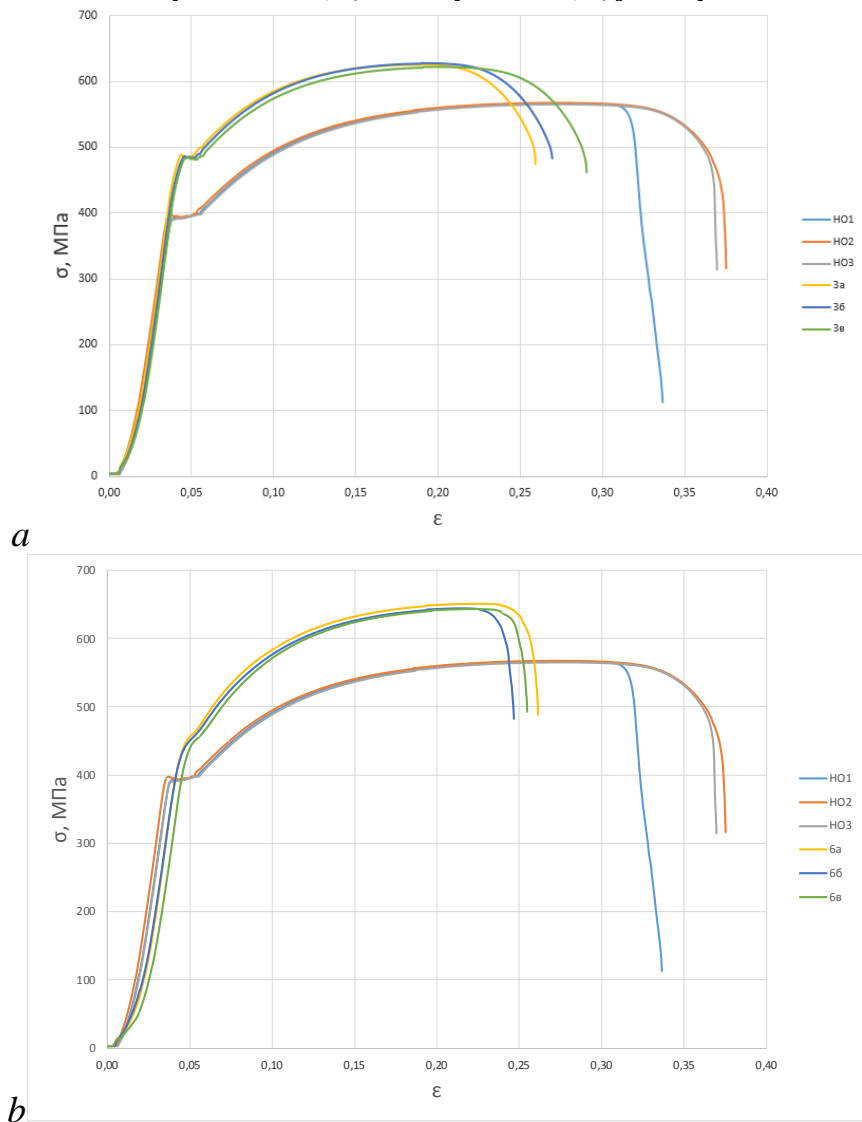


Рисунок 4 – Диаграммы растяжения при  $V=700$  мм мин  
*a* – партия № 3 (лазерная закалка), *b* – партия № 6 (лазерное легирование)

Анализ диаграмм растяжения указывает на незначительное влияние режимов лазерной закалки (скорости сканирования) на величину модуля упругости материала в исследуемом диапазоне параметров. В то время как при лазерном легировании диаграммы растяжения указывают на более значительное влияние режимов обработки (скорости сканирования) на модуль упругости материала. Разрушение закаленных и легированных образцов произошло с незначительным снижением уровня разрушающих деформаций.

Результаты показывают, 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, № 3, № 4. Установлено, что при лазерной закалке максимальное значение временного сопротивления соответствует наименьшей скорости сканирования (300 мм/мин). При лазерном легировании наибольшее значение временного сопротивления соответствует максимальной скорости сканирования (700 мм/мин). Следует отметить незначительное снижение характеристик пластичности при лазерной закалке: относительное удлинение закаленных образцов не превышает 17–23 % при аналогичном параметре для исходных образцов 31 %. В то время как при лазерном легировании характеристики пластичности снизились более 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.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Использование лазерных технологий упрочнения в сельскохозяйственном машиностроении / В. С. Голубев [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр. : в 3 кн. / Гос. науч. учреждение «Физ.-техн. ин-т НАН Беларуси»; редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2018. – Кн. 2: Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. – С. 58–65.

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. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / под ред. В. Я. Панченко. – М.: Физматлит, 2009. – 664 с.

4. Denesh Babu, P. Laser surface hardening: A review / P. Denesh Babu, K. R. Balasubramanian, G. Buvanashakaran // Int. J. Sci. Eng. – 2011. – Vol. 5. – P. 131–151. <http://doi.org/10.1504/IJSURFSE.2011.041398>.

5. Хошинов, В. А. Закономерности формирования пластичности и вязкости низко- и среднеуглеродистых сталей и разработка методов их оценки : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01 / В. А. Хошинов. – Екатеринбург, 2020. – 299 л.