

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА

*И.М. Косякова, аспирант БНТУ, доктор техн. наук, профессор О.Г. Девойно, зав. лаб. НИИЛ Плазменные и лазерные технологии, г. Минск*

*Резюме – в статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния параметров лазерного обработки и состава легирующих компонентов на микротвердость и микроструктуру серого чугуна СЧ20 в зонах лазерного легирования. Лазерное легирование осуществляли непрерывным CO<sub>2</sub>-лазером. Варьировали скорость перемещения луча от 200 мм/мин до 600 мм/мин. В результате легирования серого чугуна микротвердость повысилась от 2,3 ГПа для исходной структуры до 12...14 ГПа после лазерного легирования. Максимальная микротвердость получена при скорости перемещения луча 400 мм/мин, так же и наибольшая зона оплавления наблюдается при скорости движения луча 400 мм/мин.*

**Введение.** Важнейшим продуктом черной металлургии в мире наряду со сталью и железом остается чугун. Свое широкое применение в качестве конструкционного материала в машиностроении чугун получил благодаря своим свойствам и массовому применению при изготовлении деталей для машин, станков и оборудования. По данным World Steel Association (worldsteel, WSA) [1], в 2017 г. мировое производство чугуна составило 1,175 млрд. т, что всего на 1,1% превысило показатель предыдущего года (1,162 млрд. т). При этом объем выплавки стали в прошлом году прибавил 5,3% по сравнению с 2016 г., достигнув 1,691 млн. т. Это означает, что в 2017 г. производство стали в электропечах увеличивалось более высокими темпами, чем при использовании доменно-конвертерного процесса. В Республику Беларусь для производственных целей в основном импортируются отливки серого чугуна для производственных целей в соответствии с ГОСТом 1412-85 следующие марки: СЧ15, СЧ20, СЧ25. Лазерное легирование и упрочнение чугуна даёт возможность отечественному машиностроению освоить жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, кислотостойкие и конструкционные классы чугунных отливок. Такой чугун обладает хорошими литейными свойствами, поэтому изделия из них получаются экономичными. Повышение механических свойств серого чугуна может быть достигнуто легированием хромом, никелем, молибденом, ванадием, титаном и медью. Эффективностью лазерного легирования в отличие обычных методов нанесения покрытий является то, что благодаря быстрому затвердеванию и высокой концентрации наиболее важных элементов на поверхности можно получать новые микроструктуры. Под действием лазерного упрочнения и легирования происходят фазовые и структурные превращения обрабатываемого поверхностного слоя, что позволяет придать ему высокие трибологические и прочностные свойства. Важной задачей процесса лазерного легирования поверхности чугунов – формирование требуемых заданных свойств поверхностного слоя на основе выбора рациональных режимов лазерного непрерывного упрочнения [2].

**Методика проведения исследований.** Для лазерного легирования были изготовлены образцы из серого чугуна СЧ20. Процесс оплавления осуществляли непрерывным лазером Комета-2 мощностью  $N = 1$  кВт при диаметре пятна лазерного луча  $d = 1,0 \cdot 10^{-3}$  м. Заготовки образцов чугуна имели феррито-перлитную структуру (рисунок 1). Форма графита – пластинчатая.

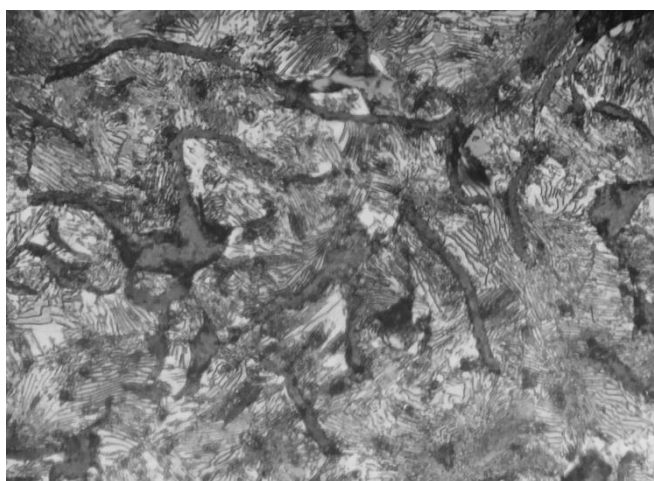


Рисунок 1 - Структура исследованного чугуна СЧ20 в исходном состоянии, x500

В качестве легирующего компонента выбрали AlN.

Варьировали скорость излучения 200, 400, 600 мм/мин. Измерение микротвердости зон упрочнения проводились с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г. Исследования структуры металла осуществлялись с использованием металлографического анализа шлифов на микроскопе «Mіcro-200». Для выявления микроструктуры использовали 4 %-й водный раствор азотной кислоты.

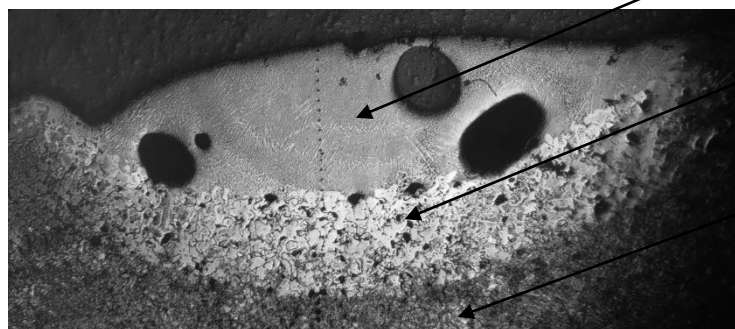
**Результаты и обсуждение.** Микроструктуры в сечении одиночных лазерных дорожек, полученных при разных скоростях движения лазерного луча, приведены на рисунках 3–5. Во всех случаях можно отметить, что структура в зоне оплавления (рисунок 2), представляет собой дендриты, состоящие из первичных кристаллов и ледебурита. Отличие заключается в размере структурных составляющих.



Рисунок 2 - Структура исследованного чугуна СЧ20 в зоне оплавления, х990



Рисунок 3 – Вид сечения зоны лазерного легирования чугуна СЧ20, полученной при скорости перемещения луча 200 мм/мин, х200



зона оплавления

зона термического влияния

исходная структура

Рисунок 4 - Вид сечения зоны лазерного легирования чугуна СЧ20, полученной при скорости перемещения луча 400 мм/мин, х200



Рисунок 5 - Вид сечения зоны лазерного легирования чугуна СЧ20, полученной при скорости перемещения луча 600 мм/мин, х200

В таблице 2 представлены размерные параметры зон оплавления в зависимости от скорости обработки чугуна СЧ20.

Как видно из рисунков и таблицы, наибольшая зона оплавления наблюдается при скорости движения луча 400 мм/мин. Анализ микроструктуры металла на различных участках зон легирования показывает, что в центральных участках дорожки и ближе к ее краям структура поверхности достаточно однородна, а за пределами дорожки

существенно изменяется. На рисунке 6 представлен график распределения микротвердости, из которого видно, что при обработке поверхности лазером при скорости  $V = 200$  мм/мин наблюдается максимальная микротвердость (11200 МПа) на глубине 0,39-0,44 мм и резкий спад твердости с увеличением глубины проплавления. Возможно, это связано с отпуском соседней закаленной зоны. Из графика видно, что нет резкого изменения градиента твердости по глубине.

Таблица 2 – Размерные параметры зоны оплавления в зависимости от скорости обработки чугуна СЧ20 при N 1 кВт и d=1 мм

Размерные параметры	Скорость движения детали относительно луча лазера, мм/мин		
	200	400	600
L, мм	3,7	3,6	3,6
H <sub>1</sub> , мм	0,7	1,2	0,9

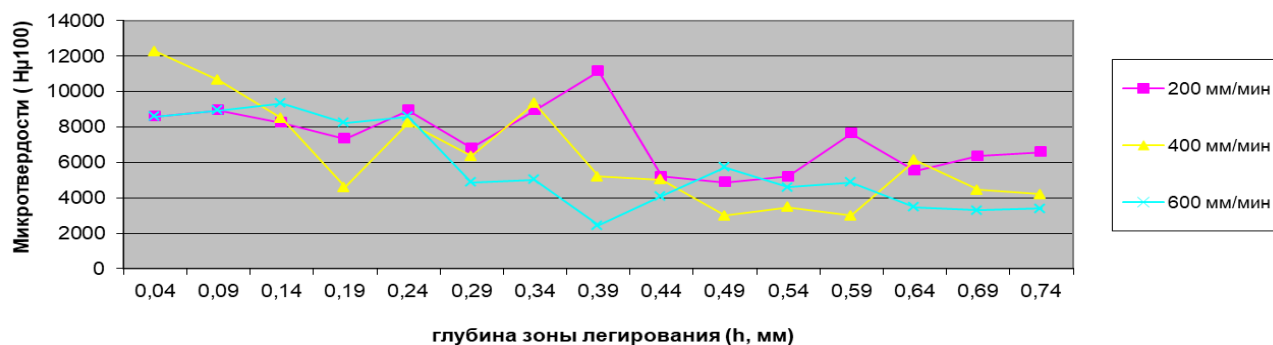


Рисунок 6 – Зависимость микротвердости серого чугуна от глубины зоны легирования при разных скоростях движения луча

Так же из рисунка 6 видно, что максимальная микротвердость возле поверхности чугуна (12100 МПа) наблюдается при скорости движения луча 400 мм/мин.

**Заключение.** Анализ микроструктуры и свойств показал, что совокупность параметров лазерной обработки и выбора легирующего компонента – карбида бора В<sub>4</sub>С позволило повысить микротвердость от 2,3 ГПа для исходной структуры до 12...14 ГПа после лазерного легирования. Так же не наблюдается резкого изменения градиента твердости по глубине. Максимальная микротвердость получена при скорости перемещения луча 400 мм/мин, так же и наибольшая зона оплавления наблюдается при скорости движения луча 400 мм/мин. Общей характерной закономерностью для всех режимов лазерной обработки является уменьшение значений микротвердости с увеличением глубины закаленного слоя. Это связано с переходом от режима полного проплавления к режиму закалки из твердой фазы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. World Steel Association [Electronic resource] // World Steel Association AISBL.- Mode of access: <https://www.worldsteel.org>. - Date of access: 20.09.2018
2. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров ; под ред. А. Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
3. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
4. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
5. Спиридонов, Н. В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н. В. Спиридонов, О. С. Кобяков, И. Л. Куприянов; под ред. В. Н. Чачина. – Минск: Выш. шк., 1988. – 155 с.

УДК 621. 793.

### ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

*С.М Криуша, магистрант БНТУ, канд. техн. наук, доцент О.В. Дьяченко, канд. техн. наук, доцент М.А. Кардаполова, БНТУ, г. Минск*

*Резюме – проанализированы факторы, влияющие на грануляцию порошков для плазменного напыления. Осуществлен выбор компонентов для лазерного легирования.*

**Введение.** Применение лазеров для оплавления покрытий позволяет избежать отрицательных явлений, имеющих место при использовании неконцентрированных источников нагрева (объемный, высокотемпературный разогрев деталей, усиление процессов отпуска и рекристаллизации, приводящие к разупрочнению материала основы, значительные температурные деформации). Лазерное модифицирование покрытий на основе никеля