

Если рассматривать данные в разрезе пневматических каналов предварительной и окончательной аспирации и соединенных с ними осадочных камер, то пневматических каналов предварительной аспирации и соединенная с ним осадочная камера используют для очистки зерновой смеси 1145 м³/час воздуха, а подсосы составляют только 73,3 м³/час или 6,01% от засасываемого в данную часть аспирационной системы воздуха. При этом в часть системы отвечающей за окончательную аспирацию зерновой смеси используется 105,3 м³/час воздуха, а подсосы составляют 6512,6 м³/час воздуха, или 98,4% от воздуха, засасываемого в данную часть аспирационной системы. Из представленных данных видно, что часть аспирационной системы, отвечающая за предварительную аспирацию, работает эффективно, имея незначительные подсосы воздуха через выход примесей осадочной камеры пневматического канала предварительной аспирации, составляющие 6,01%, при этом часть системы, отвечающая за окончательную аспирацию зерновой смеси – не эффективна, так как 98,4% воздуха, проходящего через нее, является подсосами.

Заключение. Элементы аспирационной системы МУЗ-16 имеют подсосы воздуха через выходы примесей осадочных камер пневматических каналов предварительной и окончательной аспирации, а также через вход с ситовых кузовов в пневматический канал окончательной аспирации. Величина подсосов составляет 84,05% от количества воздуха, поступающего в аспирационную систему, что существенно снижает эффективность отделения примесей в пневматическом канале окончательной аспирации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, А.В. Повышение эффективности очистки семян злаковых культур от трудноотделимых примесей на основе создания новых конструкций машин / А.В. Иванов, А.И. Ермаков, В.М. Поздняков // Агропанорама. – 2011. – № 3. – С. 20 – 23.

2. Поздняков, В.М. повышение эффективности предпосевной подготовки семян льна за счет применения прямооточного вибропневматического сепаратора / В.М. Поздняков, С.А. Зеленко, А.И. Ермаков // Вестник БГСХА. – 2021. – № 3. – С. 170–175.

3. Поздняков, В.М. Повышение эффективности подготовки семенного материала на основе совершенствования конструкции сепаратора вибропневматического принципа действия / Поздняков В.М., Зеленко С.А, Ермаков А.И. // Вестник БГСХА – 2014. – № 1. – С. 163-167.

4. Шило, И.Н. Анализ результатов экспериментальных исследований сортирования семян льна / И.Н.Шило, В.М. Поздняков, С.А. Зеленко // Агропанорама. – 2021. – №5. – С. 9–14.

5. Гиевский, А.М. Обоснование размеров осадочных камер двух аспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины / А.М. Гиевский, В.И. Оробинский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков, Д.С. Тарабрин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (51) – С. 87-95.

УДК 621.793

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ КАРБИДОМ КРЕМНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

И.М. Косякова, ФММП БНТУ, г. Минск, доктор техн. наук О.Г. Девойно, МСФ БНТУ канд. техн. наук, доцент М.А. Кардаполова, МСФ БНТУ, А.А. Болдуева, ФММП БНТУ, г. Минск

Резюме. В статье изучено влияние параметров лазерного легирования карбидом кремния деталей из серого чугуна на интенсивность износа со смазочным материалом. Исследованы изменения фазового состава покрытий в зависимости от режимов обработки, а также влияние фазового состава на интенсивность износа.

Ключевые слова: лазерное легирование, серый чугун, карбид кремния, микротвердость, фазовый состав, корреляционные зависимости, интенсивность износа.

Введение. Одним из широко применяемых материалов в машиностроении является серый чугун. Широкое применение он нашел благодаря своим хорошим литейным свойствам и относительно невысокой стоимости. Однако возникает необходимость в упрочнении поверхностного слоя чугунных деталей [1-2].

Одним из эффективных способов поверхностного упрочнения чугунных деталей является лазерная закалка [3-4]. Однако, значительное повышение свойств поверхностного слоя можно достигнуть лазерным легированием, предусматривающим введение легирующих компонентов в процессе лазерного переплава поверхности. Оно обеспечивает формирование композиционного поверхностного слоя, включающего легированную матрицу с равномерно распределенными твердыми составляющими. Применительно к изделиям из серого чугуна доказана эффективность лазерной обработки с оплавлением поверхности и с добавлением легирующих компонентов, однако, такие исследования носят фрагментальный характер [5-6]. Для непосредственного применения и разработки технологических процессов поверхностного упрочнения чугунных деталей необходимо изучить влияние каждого технологического параметра процесса лазерного легирования на структуру поверхностного слоя, его физико-механические и эксплуатационные характеристики. Информация, полученная в результате этих исследований, позволит выявить механизмы формирования износостойкого слоя и установить связь между параметрами лазерной обработки и трибологическими свойствами.

Целью работы является изучение фазового состава и трибологических свойств деталей из серого чугуна после лазерного легирования карбидом кремния в условиях трения со смазочным материалом.

В качестве исходного материала использовали серый чугун СЧ20. Он имеет перлитно-ферритную микроструктуру и содержит в %: 3,10-3,40 С, 1,90-2,30 Si, 0,60-0,90 Mn, ≤0,15% Р и S. Серый чугун СЧ20 имеет твердость в состоянии поставки 170-210 НВ. В качестве легирующего компонента использовали порошковый карбид кремния (рисунок 1) грануляцией 20 мкм, так как он по диаграмме двойных сплавов с железом образует твердые растворы кремния на основе Fe_γ и Fe_α, а также интерметаллические фазы Fe₂Si, Fe₃Si₃, FeSi, FeSi₂ [8]. Карбид кремния характеризуется высокой твердостью (~1200 НВ), стойкостью к окислению и абразивному износу, а также высокой теплопроводностью [7].

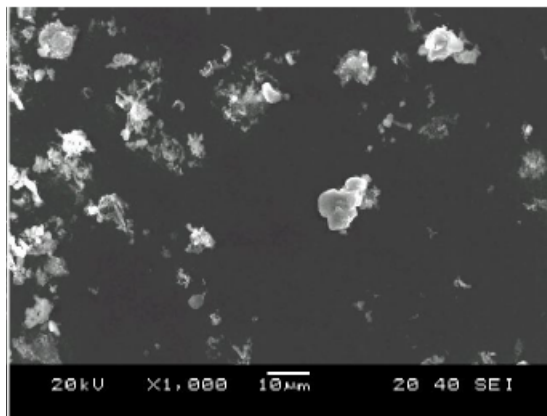


Рисунок 1 – Микроскопические изображения порошка карбида кремния использованного для легирования образцов

Взаимное влияние диаметра лазерного луча и скорости плавления оценивалось с помощью 2²-факторной схемы, при диаметре луча лазера 1 мм и 2 мм и скорости перемещения лазерного луча 100 мм/мин и 600 мм/мин. Коэффициент перекрытия составлял 1,0. Легирующие компоненты наносились на поверхность чугуна в виде обмазки. После высыхания ее толщина составляла 0,1-0,05 мм.

Исследования микротвердости проводили на приборе ПМТ-3. Интенсивность изнашивания при различных условиях нагружения при трении со смазкой провели на машине трения типа Amsler A-135 по PN-79/H-04329 Рентгеновские съемки производили на дифрактометре ДРОН 3.0. Результаты рентгеноструктурного анализа были обработаны с помощью программного обеспечения ARSANAL.

Результаты и обсуждение

В результате предыдущих исследований [8-10] было установлено, что после лазерной закалки микротвердость серого чугуна увеличилась в 3,2-3,4 раза, а после лазерного легирования карбидом кремния – в 4,5-5,7 раз. Поэтому, можно утверждать, что лазерное легирование, в сравнении с лазерной закалкой, является более эффективным способом поверхностного упрочнения для деталей из серого чугуна. Были установлено, микротвердость поверхностного слоя после лазерного легирования карбидом кремния линейно коррелирует со скоростью обработки (коэффициент корреляции составляет 0,93). Причем, корреляция положительная.

График зависимости средней микротвердости в зоне оплавления от режимов обработки представлен на рисунке 2.

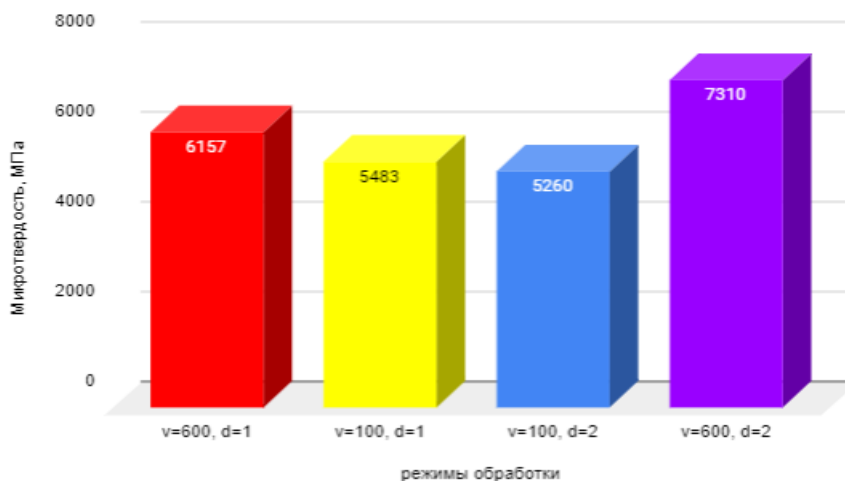


Рисунок 2 – Зависимость средней микротвердости в зоне оплавления от режимов обработки

Как видно из рисунка 2, средняя микротвердость в зоне оплавления зависит от скорости перемещения луча лазера. Наибольшая средняя микротвердость наблюдается при скорости перемещения луча лазера 600 мм/мин и диаметре луча лазера 2 мм, и составляет она 7310 МПа.

Представляет интерес изучить влияние параметров лазерной обработки и легирования на количественный и качественный фазовый состав серого чугуна после лазерного легирования карбидом кремния, который представлен на рисунке 4.

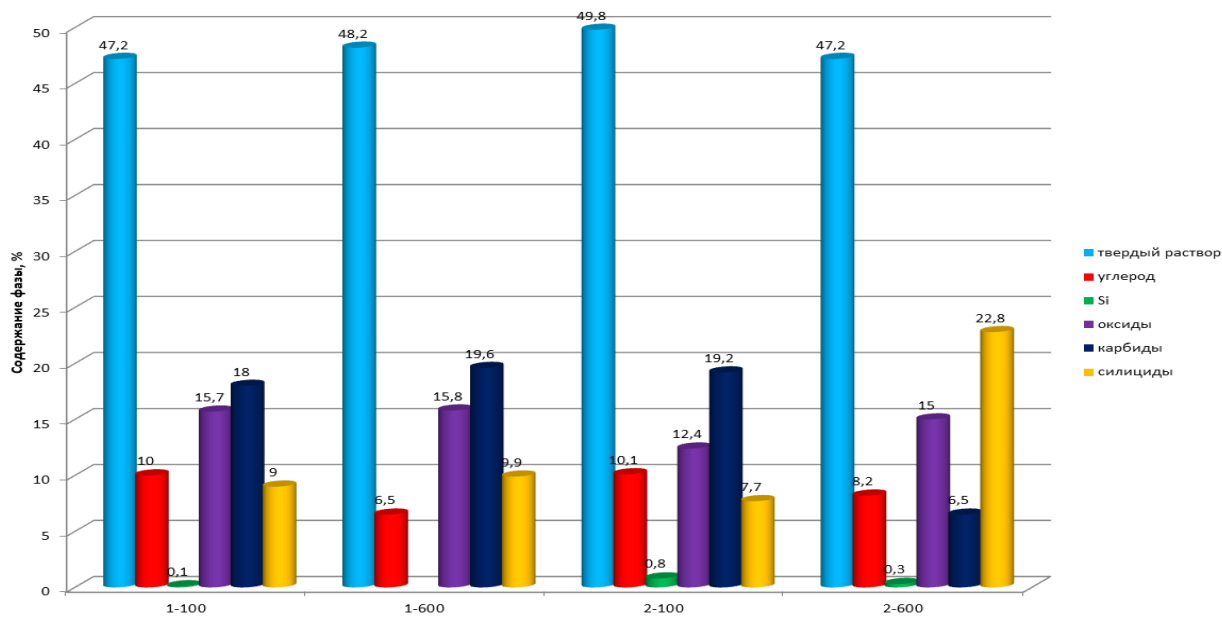


Рисунок 4 – Фазовый анализ после лазерного легирования карбидом кремния при различных режимах обработки

Как видно из рисунка 4 при $d=2$ мм, $v=100$ мм/мин присутствует максимальное содержание углерода (10,1%). При увеличении скорости до 600 мм/мин и диаметре лазерного луча 1 мм наблюдается максимальное содержание карбидов (19,6%) и оксидов (12,4%). При максимальной скорости обработки и максимальном диаметре лазера ($d=2$ мм, $v=600$ мм/мин) получено максимальное содержание силицидов (22,8%). При данном режиме обработки также наблюдается максимальная средняя микротвердость в зоне оплавления (рисунок 2).

По данным исследований проводили корреляционный анализ влияния фазового состава на среднюю микротвердость после лазерного легирования серого чугуна карбидом кремния с помощью программы «Аррохиматор». В результате наблюдаются корреляционные зависимости влияния карбидов (коэффициент корреляции - 0,91) и силицидов (коэффициент корреляции - 0,98) и упрочняющей фазы (коэффициент корреляции -0,86) на среднюю микротвердость.

Интенсивность износа при различных режимах лазерного легирования карбидом кремния (SiC), различных режимах лазерной закалки (ЛЗ) и серого чугуна в состоянии поставки представлена на рисунке 5.

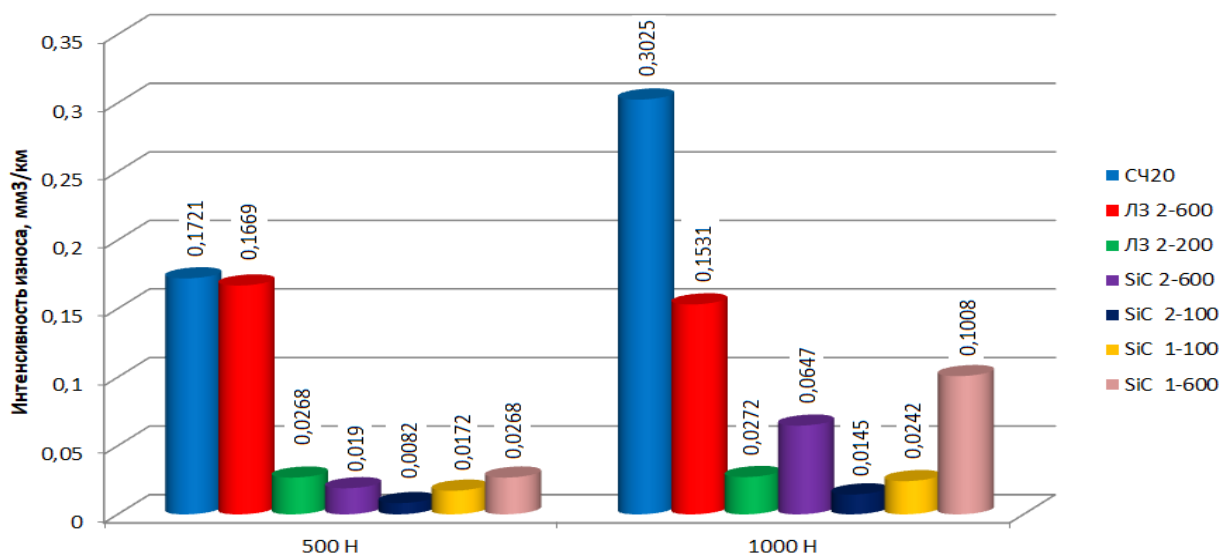


Рисунок 5 – Диаграмма значений интенсивности износа необработанного чугуна (SЧ20), чугуна после лазерной закалки (ЛЗ) и после лазерного легирования (SiC)

Лазерное легирование позволило значительно уменьшить интенсивность износа – минимальная интенсивность износа наблюдается после лазерного легирования карбидом кремния при скорости перемещения луча лазера 100 мм/мин и при диаметре 2 мм, и она составляет 0,0082 мм³/км при интенсивности износа необработанного чугуна 0,1721 мм³/км.

Если сравнить значения микротвердости и интенсивности износа при различных режимах (рисунки 2 и 5), то можно увидеть, что режимы, при которых наблюдается максимальная микротвердость, не соответствуют режимам, при которых наблюдается минимальная интенсивность износа. Можно предположить, что на микротвердость и на интенсивность износа оказывают влияние различные структурные состояния упрочненного слоя.

Из рисунков 4 и 5 видно, что и на фазовый состав и на интенсивности износа оказывают влияние режимы лазерной обработки, т.е. скорость перемещения луча лазера и диаметр лазерного луча [4].

Результаты корреляционных расчетов между фазовым составом и величиной интенсивности износа показали, что наблюдаются корреляционные зависимости между количеством твердого раствора (коэффициент корреляции – 0,81), кремнием (коэффициент корреляции – 0,95) и интенсивностью износа. Не наблюдается корреляционная зависимость между карбидами, силицидами, микротвердостью и интенсивностью износа после лазерного легирования, что говорит о том, что упрочнение произошло за счет легирования матрицы.

Заключение

1. После лазерной закалки микротвердость серого чугуна увеличилась в 3,2-3,4 раза, а после лазерного легирования карбидом кремния – в 4,5-5,7 раз. На среднюю микротвердость после лазерного легирования карбидом кремния оказывает влияние количество упрочняющей фазы.

2. Лазерное легирование позволило значительно уменьшить интенсивность износа – минимальная интенсивность износа наблюдается после лазерного легирования карбидом кремния при скорости перемещения луча лазера 100 мм/мин и при диаметре 2 мм, и она составляет 0,0082 мм³/км при интенсивности износа необработанного чугуна 0,1721 мм³/км.

3. На интенсивность износа образцов серого чугуна после лазерного легирования карбидом кремния оказывает влияние количество кремния и твердого раствора. Между интенсивностью износа и микротвердостью не наблюдается корреляционных зависимостей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.

2. Гилев, В. Г. Лазерное инжекционное легирование аустенитного чугуна ЧН16Д7ГХ титаном / В. Г. Гилев, Е. А. Морозов // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – № 3. – С. 44–52.

3. Gilev, V. Laser Quenching Of Axial Bearings In Submersible Multistage Pumps Made Of Steel-Brass Pseudo-Alloy / V. Gilev, E. Morozov, A. Khanov, T. Ablyaz // International Journ. of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 20. – P 40861–40868.

4. Mordike, B.L. Improvement of wear properties by laser surface treatment / B. L. Mordike // Proc. 3d EuroheanCjnf. «Laser Treatment of Materials. ECLAT'90» 2 Vol. Eds. H.W. Bergmann, R/ Kupfer. – Vol. 1. – P. 371–376.

5. Чеканова, Н. Т. Исследование влияния мощного СО₂ - лазера и свойства чугунов, применяемых в автомобилестроении: Дисс. канд. тех. наук. - Завод ВТУЗ при Моск. автом. з-де им. И.А. Лихачева, 1981. - 187 с.

6. Ходаковский, В. М. Особенности лазерного упрочнения чугунных деталей судовых технических средств / В. М. Ходаковский, Е. П. Патенкова // Металлообработка. – 2003. – № 4. – С. 26–29.

7. Abderrazak H., Hmida E.S. B. H. Silicon Carbide: Synthesis and Properties, InTech, 2011 (4), s. 361-387

8. Косякова, И.М. Технология лазерного легирования чугунных изделий / И.М. Косякова, О.Г. Девойно // Новые горизонты – 2020: сборник материалов VII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, 17 ноября 2020. – Минск: БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 125-127.

9. Девойно, О.Г. Технологические особенности лазерного легирования серого чугуна силицидами / О.Г. Девойно, И.М. Косякова, М.А. Кардаполова // Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий: мат. 17-го Межд. науч. семинара, проводимого в рамках 19-ой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» 22-26 марта 2020 года, Минск, Респ. Беларусь; программ.комитете С.В. Харитончик, А.В. Данильченко [и др.]. – Минск, Право и экономика, 2021. – С. 185-189

10. Feldshtein, Eugene On the Efficiency of Laser Alloying of Grey Cast Iron with Tungsten and Silicon Carbides / Eugene Feldshtein, Oleg Devojno, JustynaPatalas-Maliszewska, MarharytaKardapolava, IrynaKosyakova // Materials 2023, 16, 6230. <https://doi.org/10.3390/ma16186230>.