

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 24872

(13) С1

(45) 2026.04.05

(51) МПК

В 23К 26/062 (2014.01)

(54) **СПОСОБ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА**

(21) Номер заявки: а 20240153

(22) 2024.07.08

(43) 2026.02.20

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Девойно Олег Георгиевич; Косякова Ирина Михайловна; Кардаполова Маргарита Анатольевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) КОСЯКОВА И.М. и др. Технологические особенности лазерного легирования серого чугуна силицидами. Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий: материалы 17-го Международного научного семинара. Минск: Право и экономика, 2021, с. 185-189.

ВУ 22833 С1, 2020.

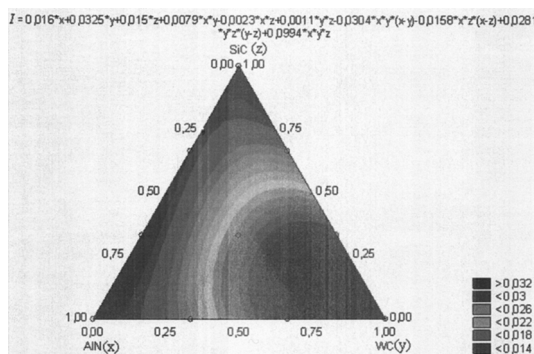
ВУ 7718 С1, 2006.

SU 1636476 А1, 1991.

SU 1573052 А1, 1990.

(57)

Способ поверхностного упрочнения изделий из серого чугуна, при котором на поверхность изделия наносят легирующую обмазку и осуществляют обработку упомянутой поверхности лазерным излучением, отличающийся тем, что перед нанесением легирующей обмазки проводят лазерную обработку поверхности изделия при скорости перемещения луча лазера 1500 мм/мин и размере пятна, равном 4×0,1 мм, используют легирующую обмазку, состоящую из смеси 42 мас. % порошка нитрида алюминия, 51 мас. % порошка карбида кремния, 7 мас. % порошка карбида вольфрама и 3 мас. % клея БФ-6, взятого сверх 100 мас. % смеси указанных порошков, после высыхания обмазки осуществляют обработку лазерным излучением при скорости перемещения луча лазера 600 мм/мин и диаметре луча 2 мм.



ВУ 24872 С1 2026.04.05

Изобретение относится к технологии поверхностного упрочнения, в частности к технологии нанесения защитных износостойких покрытий лазерной наплавкой, и может быть использовано для упрочнения деталей из серого чугуна, работающих в условиях интенсивного изнашивания.

Известен способ термической обработки деталей из серых чугунов [1], включающий последовательно выполняемую объемную закалку, отпуск с температурой 380-420 °С и поверхностную лазерную закалку с оплавлением поверхности. Согласно предлагаемому способу, происходит повышение износостойкости чугуна за счет оптимального режима предварительной термической обработки и лазерной закалке. Износостойкость изделий из чугуна при сухом трении при нагрузке 600 Н увеличивается в 10 раз.

Недостатком способа является тот факт, что способ предполагает объемный разогрев детали и дополнительные технологические операции. А это напряжения в деталях, ведущие к потере размеров, неприменимость для обработки длинномерных деталей и деталей больших габаритов.

Известен состав обмазки для лазерной обработки поверхностей деталей из чугуна [2], содержащий буру 18-20, ферросилиций 2-12, мел 18-20 и глицерин 48-62. Обмазка предназначена для повышения качества поверхности путем уменьшения шероховатости при обработке чугуна с ферритной и ферритно-перлитной металлической основой СО₂-лазером с плотностью мощности $(8,3 \cdot 10^3) - (1,6 \cdot 10^4)$ Дж/см². Указанная обмазка снижает шероховатость поверхности и несколько повышает физико-механические характеристики.

Однако данный состав обмазки не применим для работы в условиях интенсивного изнашивания, поскольку поверхностный слой чугуна не содержит достаточное количество высокотвердых составляющих и не повышает твердость.

Наиболее близким к заявляемому техническому решению является способ легирования поверхности серого чугуна, включающий нанесение обмазки [3], содержащей SiC. В результате лазерного легирования SiC микротвердость увеличилась до 7,9-12,8 ГПа. Микротвердость поверхностного слоя линейно коррелирует (коэффициент корреляции составляет 0,93 для В + Si) со скоростью обработки. Лазерная закалка позволила уменьшить скорость изнашивания приблизительно в 2 раза (до 0,15 мм³/км), а лазерное легирование уменьшает скорость изнашивания приблизительно в 5-7 раз (до 0,014-0,024 мм³/км).

Недостатком этого способа является недостаточное количество твердой фазы при испытаниях на износ, используя большие нагрузки (1000 Н), и небольшая глубина упрочненного слоя, т. е. покрытие с этой обмазкой, имея большую поверхностную твердость, имеет недостаточную глубину слоя и низкую износостойкость при больших нагрузках. Покрытия с обмазкой из SiC можно рекомендовать для эксплуатации при средних скоростях в пределах 2-3 м/с и давлениях в пределах от 5 до 15 МПа.

Задача, решаемая изобретением, - повышение износостойкости при повышенных нагрузках и достаточная глубина слоя.

Решение поставленной задачи достигается способом поверхностного упрочнения изделий из серого чугуна, при котором на поверхность изделия наносят легирующую обмазку и осуществляют обработку упомянутой поверхности лазерным излучением, при этом перед нанесением легирующей обмазки проводят лазерную обработку поверхности изделия при скорости перемещения луча лазера 1500 мм/мин и размере пятна, равном 4×0,1 мм, используют легирующую обмазку, состоящую из смеси 42 мас. % порошка нитрида алюминия, 51 мас. % порошка карбида кремния, 7 мас. % порошка карбида вольфрама и 3 мас. % клея БФ-6, взятого сверх 100 мас. % смеси указанных порошков, после высыхания обмазки осуществляют обработку лазерным излучением при скорости перемещения луча лазера 600 мм/мин и диаметре 2 мм.

Поставленная задача поясняется фигурой, на которой показаны результаты планирования на симлексе.

ВУ 24872 С1 2026.04.05

Использование предлагаемого способа для лазерного легирования изделия из серого чугуна обеспечивает достижение поставленной задачи изобретения за счет следующих эффектов.

Сочетание трех высокотвердых составляющих обеспечивает значительное упрочнение поверхности чугуна, а лазерная скоростная обработка способствует измельчению структурных составляющих, увеличивая протяженность границ раздела фаз высокой твердости, которые тормозят движение дислокаций. В условиях высоких скоростей происходит легирование матрицы, повышая ее противоизносные свойства.

Пример.

Поверхность образцов изделия из серого чугуна СЧ20 размером 13×20×10 мм перед нанесением обмазки обрабатывали лазерным лучом при скорости перемещения луча лазера 1500 мм/мин и размере пятна, равном 4×0,1 мм, для термоактивации поверхности. Для эксперимента использовали симплекс метод (таблица). Каждый вид обмазки готовили отдельно в соответствии с матрицей. Брали порошковые компоненты по объему, добавляя в каждую обмазку 3 % клея БФ-6 для связки. Чтобы обмазка была густотой сметаны, добавляли ацетон, который после нанесения обмазки на поверхность образца, испарялся. Обмазку наносили кисточкой в соответствии с матрицей планирования толщиной 120 мкм. Выдерживали на воздухе до полного высыхания. Толщину замеряли толщиномером МТ-40НЦ.

После высыхания поверхность образцов обрабатывали излучением CO₂-лазера на лазерной установке непрерывного действия "Комета-2" мощностью 1 кВт. Параметры обработки: диаметр луча 2 мм, скорость перемещения луча лазера 600 мм/мин.

Матрица планирования (симплекс-метод) для определения состава обмазки

№ опыта	Содержание компонентов в экспериментальных точках			Обозначение точки	Обозначение значения функции отклика		
	X ₁ (WC)	X ₂ (AlN)	X ₃ (SiC)		1-я серия	2-я серия	
1	1	0	0	x ₁	0,0425	0,0225	Y _i
2	0	1	0	x ₂	0,017	0,015	Y ₂
3	0	0	1	x ₃	0,013	0,017	Y ₃
4	1/3	2/3	0	x ₁₂₂	0,020	0,022	Y ₁₂₂
5	1/3	0	2/3	x ₁₃₃	0,020	0,018	Y ₁₃₃
6	0	1/3	2/3	x ₂₃₃	0,018	0,014	Y ₂₃₃
7	2/3	1/3	0	x ₁₁₂	0,032	0,030	Y ₁₁₂
8	2/3	0	1/3	x ₁₁₃	0,031	0,027	Y ₁₁₃
9	0	2/3	1/3	x ₂₂₃	0,012	0,016	Y ₂₂₃
20	1/3	1/3	1/3	x ₁₂₃	0,0356	0,0157	Y ₁₂₃
21			прототип		0,064	0,070	

Исследования интенсивности изнашивания и коэффициента трения при различных условиях нагружения при трении со смазкой проводили на машине трения типа Amsler A-135 по PN-79/H-04329 по схеме "ролик (закаленная сталь 45) - плоский образец с покрытием".

Механическую обработку покрытий перед триботехническими испытаниями производили шлифованием алмазным кругом. Припуск на обработку составлял 0,1 мм на сторону. Образцы имели шероховатость в пределах Ra 0,8-1,2 мкм (шероховатость реальных деталей, работающих в трибосопряжениях) с целью устранения влияния качества поверхностного слоя на интенсивность изнашивания покрытий и время их приработки с контртелом. Очищенные от механических загрязнений образец и контртело обезжиривали бензином.

ВУ 24872 С1 2026.04.05

Для смазки использовалось базовое масло Индустриальное 20-А, нанесенное на поверхность образца окунанием.

Скорость в паре трения составила 0,46-12 м/с, нагрузка - 1000 Н. Для получения сравнимых между собой значений износа при различных скоростях скольжения количество оборотов контртела было постоянным, что обеспечило одинаковый путь трения, который составил 2000 м при трении со смазочным материалом.

Использовали программу Статистика для получения результатов симплекса (фигура).

Получили, что наименьшим износом обладает заявленный состав за счет наибольшего количества мелкодисперсных структурных составляющих - высокотвердых карбидов, тормозящих движение дислокаций, и наибольшего легирования матрицы. Этот состав в 4,5 раза обладает большей износостойкостью при высоких давлениях, чем прототип.

Образец после предварительной дробеструйной обработки имел глубину упрочненной зоны меньше на 1-1,5 мм, чем образец после лазерной термоактивации.

Источники информации:

1. SU 1518392 A1, 1989.
2. SU 1508470, 1988.
3. КОСЯКОВА И. М. и др. Технологические особенности лазерного легирования серого чугуна силицидами. Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий: материалы 17-го Международного научного семинара. Минск: Право и экономика, 2021, с. 185-189.