

УДК 620.22

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СЛОЯ, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМЕННЫМ ОПЛАВЛЕНИЕМ ОБМАЗКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЧУГУННОЙ ДЕТАЛИ

канд. техн. наук, доц. **В.М. КОНСТАНТИНОВ**
(Белорусский национальный технический университет, Минск),
канд. техн. наук, доц. **В.И. СОРОГОВЕЦ, Т.В. ВИГЕРИНА**
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены структура и свойства слоя, полученного плазменным оплавлением обмазки на поверхности чугуна. Обмазку получали диффузионным легированием присадочного порошка из стружечных отходов белого чугуна. Факторами, ответственными за структурообразование слоя, являются: сила тока, скорость относительного перемещения плазматрона и толщина наносимой обмазки. Исследовано влияние толщины обмазки из самофлюсующегося порошка на никелевой основе ПГ-10Н-01 и порошка из стружки белого чугуна ИЧХ28Н2, диффузионно-легированного бором, на твердость переплавленного слоя и зависимость толщины получаемого модифицированного слоя от толщины обмазки. Установлены оптимальные значения толщины обмазки, обеспечивающие максимальное упрочнение слоя: для порошка ПГ-10Н-01 – 0,18...0,27 мм; для стружки ИЧХ28Н2 – 0,4...0,5 мм. Особенностью полученных структур является мелкодисперсность структурных составляющих и их метастабильность.

Введение. Дробеметные установки относятся к числу наиболее используемых в литейном производстве. Детали дробеметных установок работают в условиях абразивного изнашивания, возникающего в результате пластического деформирования материала поверхностного слоя и его малоциклового усталости. Заводы-изготовители для производства дробеметных камер и лопаток используют высокохромистый белый чугун (например, в России). Вследствие этого эти детали являются дорогостоящими.

В Республике Беларусь налажено серийное производство низкостоимостных деталей дробеметных установок из серого чугуна, которые обладают низкой износостойкостью, а наработка их составляет несколько часов. Проблема экономически и технически эффективного упрочнения чугунных деталей дробеметных установок является актуальной для многих литейных участков и производств Беларуси.

Применение поверхностного упрочнения концентрированными источниками энергии позволяет значительно повысить срок службы изделий и улучшить их эксплуатационные характеристики [1].

Возможны следующие способы поверхностного упрочнения деталей машин концентрированными источниками энергии:

- электронно-лучевая обработка [2];
- лазерная обработка [3];
- плазменное поверхностное упрочнение [4];
- закалка ТВЧ [5];
- другие способы.

Упрочнение концентрированными источниками энергии проводится с оплавлением и без оплавления основного материала либо предварительно нанесенного слоя.

Локальный переплав обрабатываемых поверхностей с помощью электронного луча либо с помощью лазера дают возможность получать чрезвычайно высокие скорости кристаллизации металла в зоне оплавления и зоне термического влияния. При этом образуются наноструктуры, близкие по своему строению к аморфным и обладающие уникальным сочетанием свойств.

Электронно-лучевая и лазерная обработка не получила широкого применения в промышленности.

Закалка ТВЧ обладает наименьшей удельной тепловой мощностью из перечисленных. Она позволяет получать закалочные структуры (мелкоиглочатый мартенсит), которые уступают по своим свойствам структурам, получаемым электронно-лучевой, лазерной и плазменной обработкой. Ее недостатком является необходимость подбора индуктора в зависимости от формы и размеров обрабатываемой детали.

Одним из наиболее перспективных способов упрочнения является плазменная технология, интенсивно разрабатываемая как в нашей стране, так и за рубежом. Использование низкотемпературной плазмы эффективно не только для переплава металлов и сплавов, напыления износостойких, жаропрочных и коррозионно-стойких покрытий, резки и сварки различных материалов, но и для поверхностного упрочнения различных изделий.

Строения оплавленных зон при плазменном и лазерном упрочнении схожи, что делает предпочтительным плазменное оплавление из-за более низкой стоимости.

В настоящее время основное внимание разработчиков сосредоточено на процессах плазменной закали и химико-термической обработки стальных и чугуновых заготовок. Оплавление поверхности заготовки в указанных процессах является недопустимым и рассматривается как брак. В работах, посвященных плазменному переплаву поверхности, как правило, речь идет о скоростном плазменном переплаве для получения отбеленной (закалочной) структуры.

Цель работы заключалась в повышении износостойкости деталей дробебетных установок, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания, на основе исследования структуры и свойств упрочненных поверхностных слоев, полученных плазменным поверхностным легированием чугуна.

Результаты исследований и их обсуждение. Введение легирующего порошка непосредственно в расплав при плазменном оплавлении позволяет получать износостойкие сплавы. Основными технологическими приемами введения легирующего элемента в расплав являются:

- нанесение обмазки, ее сушка и последующий плазменный переплав;
- напыление слоя порошка (преимущественно плазменное) и последующий плазменный переплав;
- непосредственное введение легирующего порошка в хвостовую часть расплавленной зоны при плазменном переплаве.

Выбор способа введения легирующего элемента определяется возможностями конкретной производственной ситуации. Однако следует отметить, что наиболее доступным и простым является нанесение легирующей обмазки с последующим оплавлением [6]. Количество легирующих элементов, попавших в расплав, в первом приближении будет зависеть от химического состава вводимого легирующего элемента присадочного порошка и толщины обмазки.

В качестве легирующих порошков обмазки применяли самофлюсующийся порошок ПГ-10Н-01 на никелевой основе и порошок из стружки белого чугуна ИЧХ28Н2, диффузионно-легируемый бором (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав порошка ПГ-10Н-01 и чугунной стружки ИЧХ28Н2

Марка	Содержание элементов, % масс.						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	B	Fe
ПГ-10Н-01	0,8	4,2	–	17,0	основа	3,0	5,0
ИЧХ28Н2	2,8	1,1	0,8	28,0	1,8	–	Основа

Наплавленные слои на образцах получали нанесением обмазки (шликера) на деталь и ее последующим плазменным переплавом. Пасту приготавливали смешиванием наплавочного порошка с 25 %-ным раствором клея БФ-2 ТУ 6-05-1739-93 в ацетоне техническом ГОСТ 2768-84. Пасты наносили с помощью разработанного приспособления, представляющего собой бункер с выходным отверстием, заполненный порошком, и двумя уплотнительными профильными катками, обеспечивающими нанесение плотного слоя порошка заданной толщины и ширины.

Было изучено влияние значения толщины легирующей обмазки на степень упрочнения слоя, показателем которой являлась твердость слоя. Максимальные значения твердости исследуемых порошков соответствуют различным значениям толщины обмазки (рис. 1).

Первоначальное резкое повышение твердости слоя на основе порошка ПГ-10Н-01 обусловлено легирующим влиянием обмазки. В результате плазменного переплава в этом случае формируется слой белого чугуна, дополнительно легированного никелем и хромом. Максимальную твердость слоя получили при толщине обмазки 0,2 мм; расчетный химический состав слоя следующий (% масс.): 10...15 % Ni; 3...5 % Cr; 0,5...1,0 % Si; Fe – остальное. Дальнейшее увеличение толщины обмазки приводит к увеличению содержания никеля в модифицированном слое, что способствует формированию аустенитной матрицы, обладающей сравнительно низкой твердостью. Вместе с тем происходит выгорание бора и углерода, и как следствие – снижение твердости наплавленного слоя.

Очевидно, что для порошка ПГ-10Н-01 оптимальное значение толщины легирующей обмазки составляет 0,18...0,27 мм. Дальнейшее увеличение толщины обмазки нецелесообразно как с технической, так и с экономической точки зрения. Для легирующей обмазки из порошка ИЧХ28Н2Р4 обнаружено смещение пика экстремума, обусловленное меньшим воздействием легирующих элементов данного порошка. Однако твердость слоя в области оптимальных величин толщин обмазки выше. Это связано с более высокой концентрацией карбидообразующих элементов, в частности хрома, в переплаве-

ленном слое, а следовательно и специальных карбидов (типа Me_7C_{23}). По химическому составу этот слой близок к хромистым износостойким чугунам. Оптимальное значение толщины обмазки в этом случае составляет 0,40...0,55 мм.

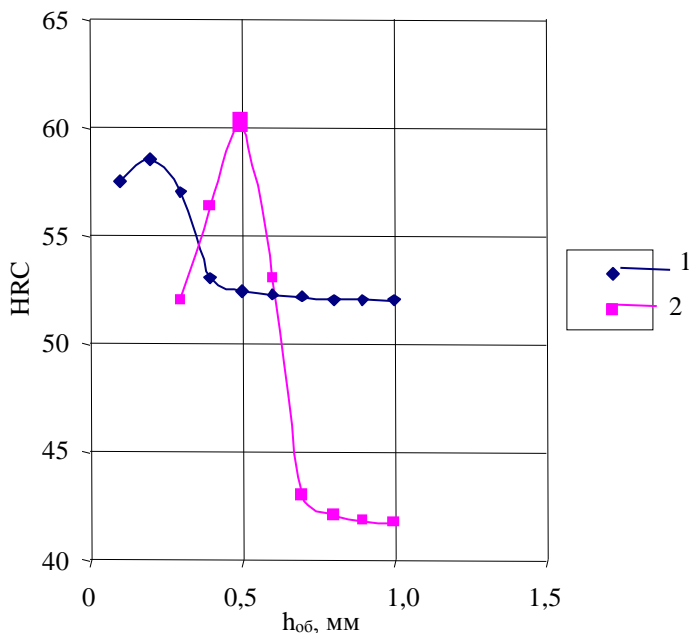


Рис. 1. Влияние толщины легирующей обмазки ($h_{об}$) на твердость (HRC) переплавленного слоя серого чугуна: 1 – обмазка из порошка ПГ-10Н-01; 2 – обмазка из порошка ИЧХ28Н2

Получена зависимость толщины модифицированного слоя от толщины наносимой обмазки (рис. 2). Увеличение толщины обмазки приводит к росту значения толщины модифицированного слоя и количеству легирующих элементов в нем, что находит отражение в полученных зависимостях (см. рис. 1). Это можно объяснить изменением параметров термического цикла: максимальной температурой, скоростью нагрева и скоростью охлаждения, длительностью пребывания материала выше заданной температуры (из-за наличия обмазки, с увеличением толщины которой возрастает и разнообразие процессов, протекающих при нагреве и охлаждении поверхностного слоя). Значение толщины обмазки, превышающее 1 мм, отрицательно влияет на ионизирующую способность плазменной дуги, что приводит к нестабильности ее горения.

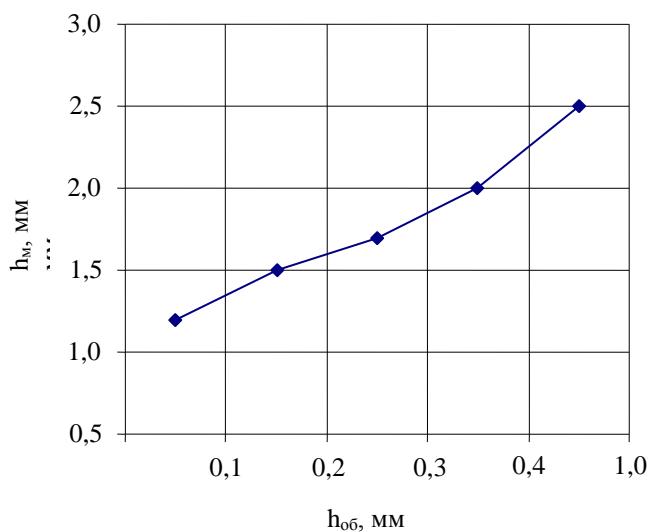


Рис. 2. Влияние толщины нанесенной обмазки ($h_{об}$) на толщину модифицированного слоя на сером чугуне (h_m)

При значениях толщины обмазки больше 0,7 мм вследствие увеличения силы тока из-за необходимости обеспечения большего тепловложения процессы формирования покрытия протекают по другому механизму. Происходит перераспределение относительного объема материала обмазки и серого чугуна. Увеличивается доля обмазки и уменьшается содержание основного материала, однако из-за увеличения существования ванны расплава в жидком состоянии и больших значений силы тока происходит интенсивное выгорание легирующих элементов (В, С, Si). Твердость получаемого модифицированного слоя снижается до 53 HRC для ИЧХ28Н2 и 43 HRC для ПГ 10Н-01. Такие процессы более правильно отнести к плазменной наплавке. Зависимость между силой тока, скоростью перемещения плазматрона и толщиной модифицированного слоя представлена на рисунке 3.

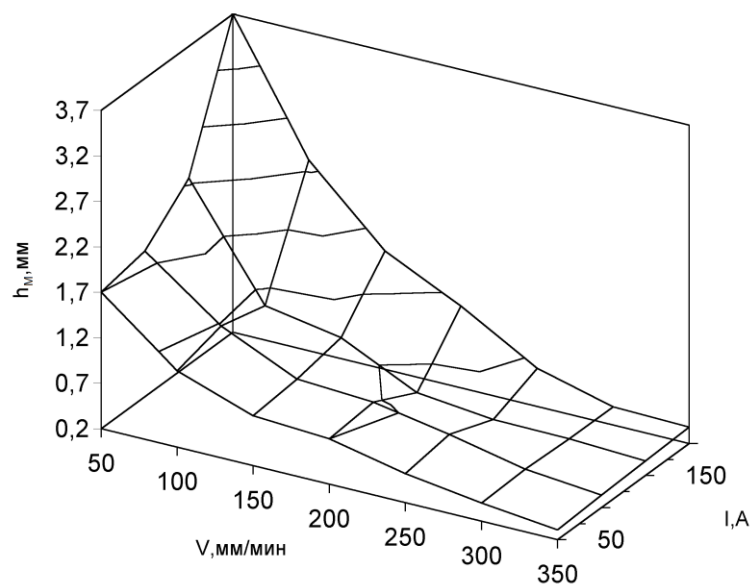


Рис. 3. Влияние силы тока I , скорости перемещения плазматрона V на толщину модифицированного слоя h_m

Экспериментально установлено, что для процесса плазменного модифицирования поверхности серого чугуна марки СЧ-20 рекомендуется применять следующие режимы [7]:

- сила тока 90...110 А;
- скорость перемещения плазматрона 100...200 мм/мин.

При большой силе тока и высоких скоростях перемещения плазматрона процесс оплавления протекает крайне нестабильно. При увеличении скорости перемещения плазматрона выше 200 мм/мин процесс плазменного модифицирования переходит в автоколебательный режим. Это подтверждает характер поведения практически всех кривых и на всех значениях силы тока при скорости выше 200 мм/мин. Такое поведение, вероятно, связано с недостаточной мощностью тепловложений плазмы в деталь во время протекания процесса. Уменьшение скорости перемещения плазматрона может приводить к интенсивному разогреву поверхностных слоев материала подложки и существенному увеличению глубины проплавления. Это может привести к охрупчиванию модифицированного слоя как в условиях воздействия ударных нагрузок, циклических воздействий, так и при тепловом воздействии от различных источников, в том числе и от силы трения.

Проведенный металлографический анализ получаемых структур в зависимости от количества и химического состава порошка обмазки выявил, что возможно получение от доэвтектических до заэвтектических структур. При минимальном количестве легирующего порошка формируется ледебуритная структура с ярко выраженным дендритным строением (рис. 4, а). Увеличение количества легирующего порошка изменяет структуру. Количество избыточных фаз увеличивается (рис. 4, в, г). Они имеют преимущественную ориентацию в направлении тепловода – перпендикулярно подложке. В ряде случаев в структуре присутствуют фрагменты нерастворенного графита (рис. 4, б). Общей особенностью анализируемых структур является высокая дисперсность структурных составляющих и метастабильность структуры. Карбидная фаза присутствует как в виде призматических обособленных борокарбидов, так и в виде карбидной сетки.

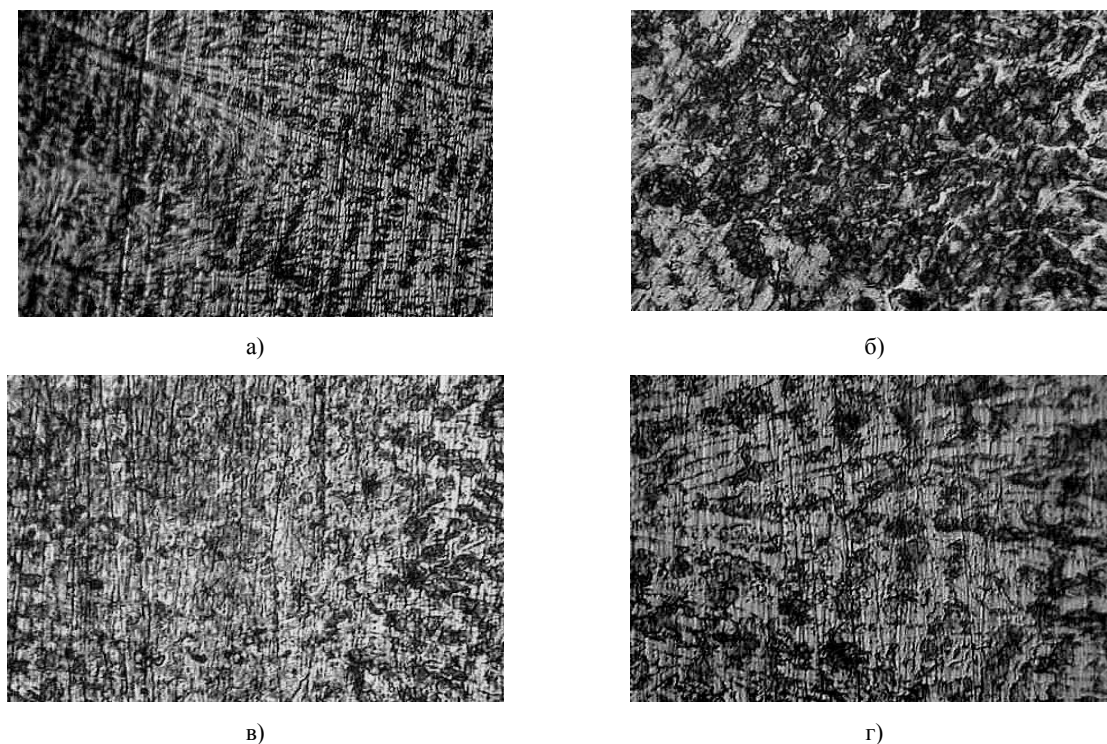


Рис. 4. Микроструктуры оплавленных покрытий плазменной дугой на сером чугуна при толщине переплавленного слоя ($\times 300$):
а, б – 0,6 мм; в – 0,8 мм; г – 1,1 мм

Испытания изготовленных образцов в дробеметной камере позволяют сделать вывод, что износостойкость упрочненных образцов, дополнительно легированных порошком ИЧХ28Н2Р4, в 1,4 раза выше, чем для образцов с легированием порошком ПГ-10Н-01 (табл. 2).

Таким образом, по результатам исследований рекомендовано для плазменного легирования чугунных деталей применять порошок ИЧХ28Н2Р4 при толщине обмазки 0,40...0,55 мм.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов на износостойкость (ϵ) в дробеметной камере*

Легировующий порошок	Твердость, HRC ₃	Потеря массы образцов, Δm , г	ϵ , мин/г
ИЧХ28Н2	60 ± 2	0,5207	53,77
	55 ± 5	0,4078	68,66
	57 ± 3	0,3687	75,94
	55 ± 5	0,4652	60,19
	57 ± 3	0,5306	52,77
	60 ± 2	0,5503	50,88
	60 ± 3	0,5489	51,01
	62 ± 3	0,7416	37,36
ПГ-10Н-01	58 ± 2	0,7897	35,46
	58 ± 2	0,5899	47,46
	55 ± 1	0,7195	38,92
	58 ± 2	0,7717	36,28
	58 ± 2	0,8849	31,65
	58 ± 2	0,6386	43,85
	52 ± 2	0,7842	35,17
	54 ± 3	0,7045	39,74

* – время испытаний, $\tau_{исп} = 28$ мин.

Заключение

Факторами, ответственными за структурообразование слоя, являются:

- сила тока;
- скорость относительного перемещения плазматрона;
- толщина наносимой обмазки.

Исследовано влияние значения толщины наносимой обмазки на толщину модифицированного слоя. С увеличением значения толщины наносимой обмазки в интервале от 0,1 до 1,0 мм происходит рост толщины модифицированного слоя.

Особенностью структур, полученных модифицированием плазменной дугой, является мелкодисперсность структурных составляющих и метастабильность.

В зависимости от количества и химического состава присадочного порошка в переплавленном слое возможно получение доэвтектических, эвтектических и заэвтектических структур.

Строение карбидной фазы зависит в первую очередь от изменений химического состава.

Простой переплав серого чугуна формирует ледебуритную структуру с цементитным каркасом. Увеличение в слое количества карбидообразующих элементов приводит к обособлению карбидных включений призматической и округлой формы и формированию заэвтектических структур.

По результатам исследований рекомендовано для плазменного легирования чугунных деталей применять порошок ИЧХ28Н2Р4 при значении толщины обмазки 0,40...0,55 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плазменные лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов и др.; Под общ. ред. В.И. Чачина. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.
2. Закономерности электронно-лучевого воздействия на боросодержащие материалы и принципы оптимизации электронно-лучевого оборудования и технологий упрочнения и восстановления: Монография / Ф.И. Пантелеенко и др.; Под общ. ред. Ф.И. Пантелеенко. – Мн.: Технопринт; Новополоцк: ПГУ, 2005. – 120 с.
3. Девойно О.Г. Технология формирования износостойких поверхностей лазерным легированием. – Мн.: Технопринт, 2001. – 180 с.
4. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лещинский и др.; Под общ. ред. Л.К. Лещинского. – Киев: Тэхніка, 1990. – 109 с.
5. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. – М.: Колос, 1981. – 351 с.
6. Разработка теории и технологии ресурсосберегающего поверхностного плазменного легирования деталей дробеметных установок литейного производства: Отчет о НИР (пром.) / Полоцкий гос. ун-т; Рук. темы В.М. Константинов. – № ГС 200112609. – Новополоцк, 2001. – 82 с.
7. Сороговец В.И. Получение износостойких покрытий плазменной наплавкой диффузионно-легированных порошков: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 24 с.