

соискание ученой степени канд. техн. наук по спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» – Мин.: ФТИ АН БССР, 1980.

19. Кравченко Л.Н. Исследование магнитно-абразивной обработки плоских поверхностей / Автографат дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук по спец. 05.02.08 «Технология машиностроения». – Мин.: ФТИ АН БССР, 1980.

20. Сакулевич Ф.Ю., Кожуро Л.М. Объемная магнитно-абразивная обработка. – Мин.: Навука і тэхніка, 1987.

21. Ящерицын П.И. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. – Мин.: ФТИ, 1997.

РАЗРАБОТКА САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

**И.Л. Куприянов, д-р техн. наук, профессор; К.С. Петков,
д-р техн. наук**

*Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
Министерства образования Республики Беларусь
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Iron base self-fluxing powder materials development for wear-resistance coatings

Optimization of a chemical compound of wear-resistance alloys is carried out on the basis of iron, the structure, phase structure, technical and operational characteristics of powders and coatings are investigated. It is shown, that an optimum ratio of components iron base self-fluxing powder materials make their competitive on technological and operational properties with alloys of similar purpose on a nickel basis in a wide spectrum of practical application.

Широко применяемые порошки из никелевых самофлюсующихся сплавов обеспечивают термическим покрытиям не только высокую износостойкость, но и хорошее сопротивление коррозии. Однако существенным недостатком их является высокая стоимость и дефицитность никеля. Поэтому полная или частичная замена никеля железом в самофлюсующихся сплавах без ухудшения техно-

логических свойств порошка и эксплуатационных свойств покрытий является весьма актуальной задачей.

Железо, как и никель, является элементом восьмой группы периодической таблицы и обладает очень близкими с этим элементом атомным весом, плотностью, температурой плавления и другими свойствами. Вместе с тем, в отличие от никеля, который весьма устойчив к воздействию воздуха и влаги, железо обладает большим сродством к кислороду.

Для повышения коррозионной стойкости в железные сплавы вводят хром, никель и другие легирующие элементы. Благотворное влияние хрома и никеля на свойства железоуглеродистых сплавов и было использовано при создании порошков из самофлюсующихся сплавов на железной основе. При этом для обеспечения необходимых технологических и эксплуатационных свойств порошков и покрытий в основу разработки были положены следующие соображения:

- бор и кремний обеспечивают сплавам способность к самофлюсованию и снижают температуру плавления;
- хром, кроме коррозионной стойкости, образует с углеродом и бором твердые карбидные и карбоборидные фазы, которые придают сплавам высокую стойкость к изнашиванию [1];
- никель в небольших количествах повышает пластичность и вязкость матрицы, что способствует закреплению в ней твердых фаз.

Методом математического планирования была проведена оптимизация химического состава сплава на железной основе и параметров напыления покрытий.

В качестве модели взят полный полином второй степени

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1, j \leq m}^m b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2,$$

где y – параметры оптимизации (твёрдость, стойкость к изнашиванию слоя).

Для этой цели использовали те же легирующие элементы, что и в сплавах на никелевой основе: хром, бор, кремний, углерод, никель. Их содержание выбрано так, чтобы обеспечить требуемые высокие физико-механические характеристики напыленных слоев (твёрдость, стойкость к изнашиванию). На основании предварительно проведенных опытов и существующей априорной информации были избраны характеристики локальной области факторного пространства, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Области факторного пространства

Характеристики	Кодовое обозначение	Фактор эксперимента					
		Cr, %	B, %	C, %	I _p (A)	v _н , (м/мин)	g _m , (г/мин)
Основной уровень	0	20,0	2,5	2,0	80	0,2	18
Интервал	λ	4,0	1,5	1,0	10	0,1	4
Нижний уровень	-	16,0	1,0	1,0	70	0,1	14
Верхний уровень	+	24,0	4,0	3,0	90	0,3	22
Код	X _j	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆

$I_p(A)$ – сила тока рабочей дуги; v_n (м/мин) – скорость напыления; g_m (г/мин) – расход порошка.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили рекомендовать следующий состав самофлюсующегося сплава на железной основе (% мас.): хром – 22 – 24; углерод – 2 – 3; бор – 2,5 – 3,5; кремний – 3,5 – 4,1; никель – 4 – 6; железо – остальное. Экспериментальная проверка полученных результатов показала их неплохую (от 4 до 18%) сходимость с расчетами.

В процессе эксперимента выявлено, что соотношение между кремнием и бором от 1,2 до 1,6 обеспечивает наилучшее самофлюсование и дисперсное легирование железной матрицы бором. Вместе с тем лучшие показатели технологических свойств порошка (% выхода годной фракции, насыпная плотность, текучесть) получены при отношении хрома к бору в сплаве от 7,3 до 8,2 при максимальной концентрации бора.

Были исследованы микроструктура и фазовый состав этих порошков. В структуре сплавов присутствует аустенит, ледебурит и феррит. Фазовый состав включает в себя карбиды, бориды и карбобориды хрома и железа, а именно: FeC, Cr₂₃C₆, Cr₇C₃, (CrFe)₇C₃, CrB, Fe₂B, Fe₂₃(C,B)₆, (FeCr)₂₃(C,B)₆. Кроме того, отмечено наличие нехарактерных твердых фаз: Fe₅SiB₂, Fe_{4,9}Si₂B, Cr₇BC₄, Cr₂C, а также аморфных фаз.

При прохождении через плазменную струю в указанных сплавах отмечается незначительное изменение процентного состава легирующих элементов по сравнению с никелевыми сплавами. Это, по-видимому, связано с более высокой температурой фазовых превращений боридов железа.

Для всех порошков на никелевой основе характерным является тот факт, что исходный фазовый состав остается практически неизменным после напыления, последующего оплавления и наплавки.

Иная картина при напылении сплавами на основе железа. Если после напыления на рентгенограмме регистрируется только раствор Cr в α -Fe и карбиды и бориды хрома и железа, то после оплавления в структуре наряду с α -Fe выявляется большое количество (около 30%) остаточного аустенита. Высокое содержание хрома и углерода в пленочном слое придают аустениту, возникающему при оплавлении, достаточную устойчивость, чтобы мартенситное превращение произошло при охлаждении на воздухе. О процессе закалки свидетельствует также высокая твердость покрытия (60 HRC).

Сравнительную оценку износстойкости покрытий из сплавов на никелевой и железной основах осуществляли с помощью машины трения МТ-2 на пальчиковых образцах, торцевые поверхности которых напыляли плазменным методом. Оплавленные слои покрытий шлифовали до получения плоской поверхности. Контртремом служила сталь 45, закаленная до твердости 48 - 52 HRC. В качестве смазки применяли индустриальное масло с расходом 5 капель в минуту. Скорость скольжения составляла 2,5 м/с, удельное давление в трущихся парах устанавливали $40 \cdot 10^5$, $54 \cdot 10^5$, $68 \cdot 10^5$ Н/м². Путь трения составлял в среднем $15 \cdot 10^3$ м/с. Линейный износ и коэффициент трения определяли при комнатной температуре на воздухе. Интенсивность изнашивания покрытий оценивали по линейному износу покрытия при различных удельных нагрузках.

Испытания показали, что интенсивность изнашивания покрытий при принятых нагрузках практически одинакова. Коэффициент трения в среднем на 20% выше у сплава на железной основе.

Таким образом, оптимальные соотношения компонентов самонфлюсирующих сплавов на железной основе делают их конкурентоспособными по технологическим и эксплуатационным свойствам со сплавами аналогичного назначения на никелевой основе в широком спектре практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс. -- М.: Машиностроение, 1966.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕЕ УРОВЕНЬ

Т.С. Скобло, д-р техн. наук, профессор; А.А. Науменко, канд. техн. наук, профессор; М.В. Марченко, аспирант;
В.М. Власовец, канд. техн. наук

ХГТУСХ

(г. Харьков, Украина)

An estimation of durability of sleeves of cylinders and factors influencing its level

Factors influencing on durability of sleeves of cylinders are analyses. Are determined dependence durability - coercive force for theoretical and experimental values.

Повышение качеств гильз цилиндров, изготовленных из чугуна, их отбраковка возможны лишь при использовании неразрушающих методов контроля каждой гильзы. На основании статистической обработки данных целесообразно установить допустимые пределы значений регламентируемых по ТУ показателей качества материала (твёрдость, прочность). В ранее выполненных исследованиях [1, 2] были установлены зависимости: структура чугуна – фазовый состав – твёрдость – коэрцитивная сила. Однако данные, касающиеся влияния структурного фактора на уровень прочности, а также их связь с коэрцитивной силой, отсутствуют.

Это и явилось целью данных исследований.

Согласно техническим условиям и требованиям, предъявляемым к качеству гильз цилиндров судовых двигателей, они должны соответствовать следующим показателям:

– твёрдость металлической основы низколегированного серого чугуна 217 – 269 НВ в соответствии с ГОСТ 9012 – 89;

– минимальный предел прочности при растяжении – 294 МПа.

Однако произвести оценку этих характеристик на всех гильзах практически невозможно, так как они связаны с их разрушением. В процессе сдаточных испытаний оценивают эти показатели по одному