

УДК 669.018.95

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

**Н.А. ДУБИНСКИЙ**

*Учреждение образования «Витебский государственный  
университет имени П.М. Машерова»,  
Республика Беларусь*

### **Введение**

Использование железных композиционных материалов (КМ) позволяет не только повысить прочность и надежность деталей машин, но и в ряде случаев заменить легированные стали [1]. Однако процесс осаждения КМ недостаточно изучен.

### **Постановка задачи**

Цель настоящего исследования заключается в изучении влияния параметров процесса электролиза на свойства КМ на основе железа с включениями частиц дисперсной фазы (ДФ), полученных электрохимическим способом, и разработке на этой основе технологий изготовления тонкостенных изделий.

### **Методы испытаний**

Покрyтия получали из хлористого электролита железнения, имеющего наибольшее отрицательное значение микрорассеивающей способности (-43), по сравнению с изученными [2].

Исследование распределения тока по поверхности электрода проводили, по методике А.М. Озерова [3], на катоде квадратной формы с общей поверхностью 10 см<sup>2</sup>, состоящего из 8 изолированных друг от друга полос с самостоятельными выводами от каждой из них. Для исключения искажений за счет сопротивления проводов, соединяющих отдельные электроды (полосы) с переключателями, использовались проводники минимальной, но равной длины и одинакового сечения. Все электроды (полоски), кроме исследуемого, были гальванически связаны между собой с помощью переключателей образуя эквипотенциальную поверхность. Для устранения краевых эффектов были проведены исследования с использованием экранов из оргстекла.

Определение количества дисперсных частиц в композиционных материалах проводили путем химического растворения металла матрицы. Покрyтие известной массы растворяли в азотной кислоте (1:1). Нерастворимые частицы отделяли при помощи тонкопористого стеклянного фильтра Шотта.

Экспериментальные исследования пористости КМ проводили по ГОСТ 9.302-88. Скорость роста композиционных покрытий определяли согласно методике, представленной в работе [4].

Внутренние напряжения первого рода, возникающие на расстояниях не менее нескольких кристаллов, определяли методом гибкого катода и рассчитывали по формуле, предложенной Л.И. Дегтярем [5]. В качестве образцов использовали пластины, изготовленные из стали 10 (ГОСТ 1050-88), предварительно отожженные в вакууме для снятия напряжений.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Для получения образцов, обладающих изотропными свойствами, проведены исследования распределения тока на поверхности катода (таблица 1). Результаты экспериментов показали, что ток по ширине катода распределяется по параболическому закону. С увеличением плотности тока от 20 до 80 А/дм<sup>2</sup> разница между значениями плотности тока на краях катода и в центре увеличивается от 11 до 22 А/дм<sup>2</sup>. Эта закономерность наблюдается вне зависимости от межэлектродного расстояния. В средней части катода распределение тока равномерное. Поэтому для проведения исследований использовали области образцов, расположенные в центре катода.

Таблица 1

Распределение тока по поверхности катода (А/дм<sup>2</sup>)

Плотность тока, <i>I</i> , А/дм <sup>2</sup>	Номера участков катода							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Оксид алюминия (концентрация в электролите 100 г/л)								
20	30	25	21	18	18	23	26	32
40	55	44	42	37	36	43	46	57
60	77	63	60	58	58	60	68	80
80	95	85	80	78	78	79	82	100
Каолин (концентрация в электролите 100 г/л)								
20	32	25	20	18	18	21	26	35
40	53	44	42	39	38	43	45	56
60	76	61	60	58	59	60	68	80
80	95	85	80	79	79	79	82	100
Силикат кальция (концентрация в электролите 100 г/л)								
20	30	25	21	19	19	22	24	33
40	56	44	41	39	39	43	45	55
60	77	63	60	59	59	60	68	80
80	95	85	79	78	79	81	82	100

Результаты исследований влияния параметров процесса электролиза на включаемость частиц ДФ в КМ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость массового процента включений частиц порошка в КМ от плотности катодного тока при различной температуре электролита

Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Температура электролита, °С				
	40	50	60	70	80
Оксид алюминия ( <i>C</i> = 100 г/л)					
20	5	3,8	2,7	2,65	2,3
30	6	4,3	3	2,6	2,2
40	6,4	5	3,3	2,5	2
50	7	5,1	3,5	2,2	1,7
60	7,5	5,3	3,9	2,15	1,5
70	7,7	5,5	4	1,9	0,8

Окончание табл. 2

Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Температура электролита, °С				
	40	50	60	70	80
Каолин (C = 100 г/л)					
20	4,9	4,2	2,6	2,6	2,2
30	5,9	4,5	2,9	2,5	2,1
40	6,4	4,9	3,3	2,2	2,0
50	6,9	5,0	3,4	2,1	1,5
60	7,4	5,2	3,8	2,1	1,4
70	7,7	5,4	3,7	1,8	0,7
Силикат кальция (C = 100 г/л)					
20	5,1	3,8	2,4	2,3	2,1
30	6	4,3	3,0	2,6	2,1
40	6,4	4,4	3,2	2,1	2
50	6,3	4,9	3,2	2,15	1,7
60	7,2	5,1	3,6	2	1,5
70	7,7	5,5	3,5	1,5	0,6

Из таблицы 2 следует, что при температуре электролита 40 °С содержание частиц в КМ увеличивается от 4,9-5,1 масс. % ( $I = 20$  А/дм<sup>2</sup>) до 7,7 масс. % ( $I = 70$  А/дм<sup>2</sup>), а при температуре электролита 80 °С содержание частиц в покрытии снижается от 2,1-2,3 масс. % ( $I = 20$  А/дм<sup>2</sup>) до 0,6-0,8 масс. % ( $I = 70$  А/дм<sup>2</sup>).

Известно, что в процессе электроосаждения перемешивание электролита применяется с целью интенсификации процесса, вследствие чего в приэлектродном слое быстрее восполняется убыль разрядившихся на катоде ионов металла. Как показано Р.С. Сайфуллиным, Г.В. Гурьяновым [1, 4], увеличение скорости перемешивания дает возможность увеличивать плотность тока в процессе электролиза. Твердые дисперсные частицы, находясь в перемешиваемом электролите, механически очищают катод от пузырьков водорода и пассивных пленок и тем самым облегчают условия электрокристаллизации железа. Одновременно частицы способствуют выносу из прикатодной зоны золь гидроксидов железа и разрыхлению катодной гидроксидной пленки, вследствие чего уменьшается включение гидроксидов в осадок и нарушается слоистая структура железных покрытий. Поэтому металлокерамические покрытия более плотны и пластичны, чем чистое электролитическое железо. Они не имеют слоистости, трещиноватость осадков с увеличением содержания керамической фазы значительно снижается. Отсутствие питтинга и дендритов позволяют наращивать покрытия значительной толщины. Электролит кроме своего основного назначения является еще и средой, поддерживающей диспергированные в нем частицы во взвешенном состоянии и обеспечивающей доставку их к поверхности катода. Следовательно, в зависимости от размера, плотности, концентрации частиц скорость движения электролита должна быть различной. В работе проведено исследование влияния перемешивания на включаемость диаметров частиц дисперсной фазы. В результате установлено, что при увеличении скорости потока электролита от 0,01 м/с до 0,1 м/с возрастает диаметр частиц, включающихся в КМ от 2 до 15 мкм. Однако при увеличении скорости движения потока электролита от 0,25 м/с диаметр частиц уменьшается до 2 мкм.

С увеличением содержания порошка в КМ от 1,5 до 7,7 масс. % пористость осадков возрастает (содержащих Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 0,12 до 0,65 %; каолин от 0,12 до 0,66 %; силикат кальция от 0,12 до 0,66 %).

Установлено, что покрытия с включением 1,5-4,3 масс. % частиц порошка обладают максимальной прочностью 70-75 МПа [2, 6]. Проведенная оптимизация результатов исследований показала, что осадки такого состава получаются при следующих условиях: концентрация порошка  $Al_2O_3$  в ванне равна 100 г/л, температура электролита 50 °С, плотность катодного тока 30 А/Дм<sup>2</sup>; каолина – 100 г/л, температура электролита 80 °С, плотность катодного тока 50 А/Дм<sup>2</sup>; силиката кальция – 100 г/л, температура электролита 60 °С, плотность катодного тока 30 А/Дм<sup>2</sup> (рис. 1–3, увеличение 750 раз). Проведенные исследования показали, что структура КМ претерпевает существенные изменения по сравнению со структурой «чистого» железа. Так, у «чистого» электролитического железа структура мелкодисперсна, слоиста, с темными пятнами в виде прожилок и сеткой трещин, идущих от основы и заканчивающихся в покрытии (рис. 4, увеличение 750 раз). В КМ структура мелкодисперсна, частицы дисперсной фазы равномерно распределяются по глубине и вдоль поверхности осадка [7], при этом небольшие концентрации дисперсных частиц снижают трещиноватость покрытий.

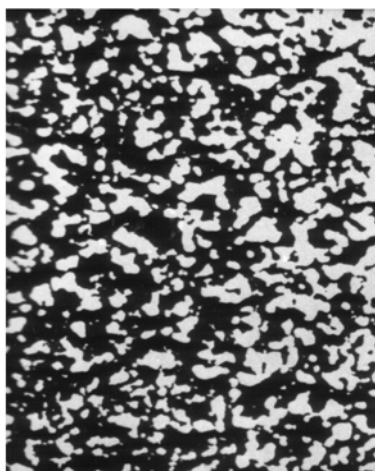


Рис. 1. Микроструктура КМ с включениями оксида алюминия



Рис. 2. Микроструктура КМ с включениями каолина

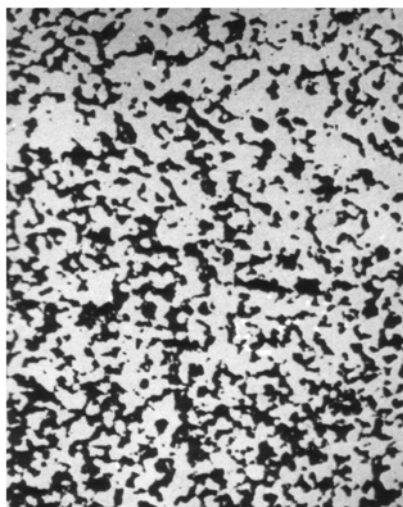


Рис. 3. Микроструктура КМ с включениями силиката кальция

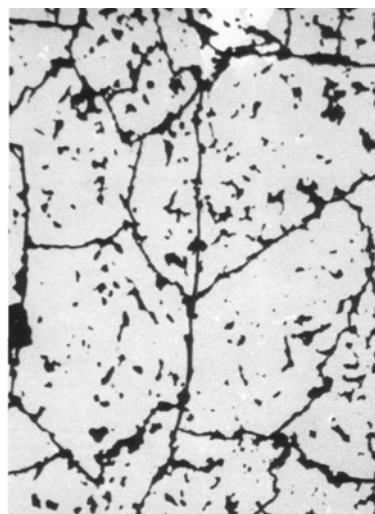


Рис. 4. Микроструктура «чистого» железа

Включение частиц дисперсной фазы в покрытие в небольших количествах (до 3-5 масс. %) влечет упрочнение металла матрицы за счет уменьшения включения в осадок соединений трехвалентного железа, постоянного депассивирования катода частицами порошка и создания препятствий (в виде частиц порошка и пор) распространению трещин в покрытии.

Далее, с увеличением количества включений, увеличивается предел прочности металла матрицы, однако растет пористость покрытия и уменьшается удельная площадь металла от площади разрыва. В результате трещина проходит по соседним порам и, как следствие, прочность покрытия уменьшается.

Найдено, что с увеличением содержания частиц ДФ в КМ внутренние напряжения также увеличиваются, например, для покрытий с включениями: оксида алюминия от 50 до 250 МПа, каолина от 40 до 240 МПа и силиката кальция от 30 до 230 МПа.

Скорость роста КМ до 11 % превышает скорость роста «чистого» гальванического железа. Так, с увеличением плотности тока от 20 до 50 А/дм<sup>2</sup> скорость роста КМ увеличивается для покрытий, содержащих Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 260 до 633 мкм/ч; каолина от 260 до 620 мкм/ч и силиката кальция от 261 до 618 мкм/ч.

Одним из практических приложений результатов работы являются разработанные нами технологии изготовления оформляющих вставок литьевых пресс-форм для мелкосерийного производства, представленные на рис. 5.

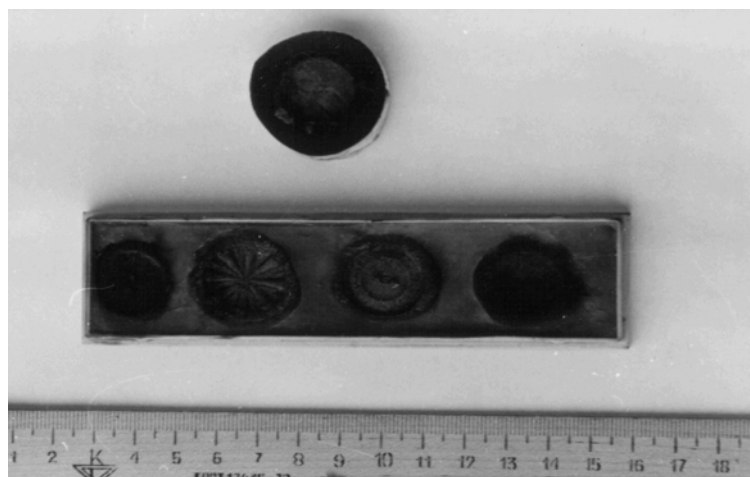


Рис. 5. Образцы оформляющих вставок литьевых пресс-форм

К преимуществам этих технологий можно отнести то, что они позволяют быстро выполнять изменения в производстве; не требуют сложного оборудования; снижают, по сравнению с традиционными методами, трудоемкость изготовления форм в 3-10 раз; дают возможность гальванику 2-го разряда заменить фрезеровщика, токаря, слесаря 5-6 разрядов; обеспечивают полный контроль в процессе осаждения и могут быть использованы на большинстве предприятий Республики Беларусь и стран СНГ, имеющих гальванические производства.

### Выводы

1. Исследованы свойства железных композиций, упрочненных частицами.
2. Разработаны технологии изготовления оформляющих элементов литьевых пресс-форм.

**Литература**

1. Сайфуллин Р.С. Неорганические композиционные материалы. – М.: Химия, 1983. – 304 с.
2. Дубинский Н.А. Исследование механизма формирования композиционных материалов, полученных электрохимическим способом //Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 186-191.
3. Нестационарный электролиз /А.М. Озеров, А.К. Кривцов, В.А. Хамаев и др. – Волгоград: Нижн.-Волж. кн. изд-во, 1972. – 160 с.
4. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 238 с.
5. Дегтярь Л.И. Определение остаточных напряжений в покрытии и биметаллах. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1968. – 176 с.
6. Дубинский Н.А, Свирский Д.Н. Прочность электроформованной оболочки литевых пресс-форм в компактной системе производства пластмассовых изделий /Акад. науч. комплекс. Ин-т тепло- и массообмена. – Минск, 2001. – 10 с. – Деп. в ВИНТИ 09.12.2000, № 3110-В00 //ИФЖ. – 2001. – Т. 74. – № 4. – С. 157.
7. Жемчужный М.И., Дубинский Н.А. Распределение частиц в композиционных материалах с железной матрицей, полученных электрохимическим способом //Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 4. – С. 5-7.

*Получено 11.10.2002 г.*