

УДК 669.018.95

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИТЬЕВОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

канд. техн. наук **Н.А. ДУБИНСКИЙ**
(Витебский государственный технологический университет)

Представлен новый способ изготовления пресс-форм, отличающийся тем, что оформляющая оболочка литьевого инструмента изготавливается электрохимическим осаждением железа с включениями частиц оксида алюминия, каолина и силиката кальция из хлористого электролита с заранее заданным распределением частиц дисперсной фазы в покрытии.

Введение. Изделия, получаемые литьем из поликарбонатов, полиуретанов, полиамидов и других полимерных материалов, находят все большее применение в различных отраслях промышленности. В то же время опыт ведущих мировых компаний показывает, что для проведения маркетинговых исследований, проверки конструкторских и дизайнерских решений требуется изготовление небольших партий отливок.

В настоящее время пресс-формы изготавливают преимущественно механической обработкой. В результате стоимость литьевого инструмента достигает 3...20 % от стоимости литевой машины и обусловлена значительной материалоемкостью, трудоемкостью их изготовления. Вследствие этого освоение новой продукции может длиться несколько месяцев. Таким образом, предприятия не могут быстро изменять ассортимент полимерных изделий, т.е. своевременно реагировать на спрос потребителей.

Сохранить и расширить свое присутствие на внутреннем и внешнем рынке возможно только в случае выпуска новой конкурентоспособной продукции. Поэтому необходимость разработки нового способа изготовления литьевого инструмента является актуальной и своевременной задачей.

Для производства пресс-форм предложено использовать композиционные материалы на основе системы «железо - керамика», полученные электрохимическим осаждением. Эти материалы обладают повышенной прочностью, твердостью, износостойкостью, коррозионной стойкостью [1 - 3]. Однако электрохимическое осаждение таких композиций в промышленных масштабах в ряде случаев сдерживается ограниченностью сведений об условиях их получения и свойствах.

Цель **работы** - снижение материалоемкости и трудоемкости изготовления литьевого инструмента за счет исследования, разработки и применения композиций на основе системы «железо - керамика», полученных электрохимическим способом.

Определение состава электролита и методика исследований. Ввиду высокой производительности железнения хлористыми электролитами, позволяющими получать покрытия при высоких плотностях тока, электрохимическое осаждение композиций осуществлялось из электролита следующего состава: хлористое железо FeCl_2 - 200...300; хлористый натрий NaCl 90... 100; соляная кислота HCl 2...3 г/л. В качестве дисперсной фазы использовали недефицитные порошки оксида алюминия марки М5Н (ГОСТ 3647-80), каолина (ГОСТ 21286-82) и силиката кальция, имеющие высокую дисперсность частиц.

Исследования морфологии поверхностей композиций проводили на сканирующем электронном микроскопе Sam-Scan (Англия), структуры - металлографическим методом на микроскопе MeF-3 фирмы «Reichert» (Австрия), тонкой структуры - рентгенографическим методом с помощью дифрактометра ДРОН-3, предела прочности на растяжение - по ГОСТ 11701-84 на машине РТ-250, микротвердости - по ГОСТ 9450-76 на микротвердомере Micromet-II фирмы «Buehler» (Швейцария). Определение количества дисперсных частиц в композиционных материалах проводили путем химического растворения металла матрицы в азотной кислоте. Нерастворимые частицы отделяли при помощи тонкопористого стеклянного фильтра Шотта. Пористость определяли по ГОСТ 18898-89. Взвешивание проводили на аналитических весах ВЛР-200М с погрешностью до $5 \cdot 10^{-8}$ кг.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных теоретических исследований разработана новая методика расчета предела прочности композиционного материала на растяжение [4]:

$$\sigma_{pk} = \sigma_{m2} X_m K + \frac{X_v \rho_m b^2}{4\pi(1-\nu)} (1 - \nu \cos^2 \theta) \left[\ln\left(\frac{L}{b}\right) - \frac{7}{3} \right], \quad (1)$$

где σ_{pk} - предел прочности на растяжение композиционного материала, МПа; σ_{m2} - предел прочности на растяжение металла матрицы, МПа; X_m, X_v - соответствующие доли поверхности металла матрицы и части-

цы от поверхности разрушения композиционного материала; K – коэффициент, учитывающий упрочнение металла; μ – модуль сдвига материала матрицы, МПа; ρ – плотность дислокаций металла матрицы, м^{-2} ; b – вектор Бюргерса дислокаций в металле матрицы, м; ν – коэффициент Пуассона; θ – угол между вектором Бюргерса и элементом длины дислокации в металле матрицы, град; L – расстояние между дислокациями в металле, м.

Коэффициент, учитывающий упрочнение металла матрицы, определяется исходя из зависимости, предложенной Л.И. Антроповом и Ю.Н. Лебединским [5]:

$$K = 1,2 + \frac{d_3}{\delta_k} + \frac{x_v}{x'_v}, \quad (2)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий упрочнение металла за счет контактирования частиц с катодом; d_3 – эквивалентный диаметр частицы, м; δ_k – толщина слоя металла, м; x_v – содержание частиц в объеме материала, %; x'_v – максимальное содержание частиц в объеме материала, принимаемое равным 60 %.

Для определения X_v , X_v впервые разработана методика расчета пористости композиционного материала, полученного электрохимическим способом [6]:

$$W_p = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{d_3^3 \cos^4 \varphi}{8 \sin \varphi} - \frac{d_3^3}{8} (1 - \sin \varphi)^2 (2 + \sin \varphi) \right) v_1 100, \quad (3)$$

где W_p – пористость материала, %; v_1 – количество частиц дисперсной фазы в композиционном материале, м^3 ; φ – угол, образующийся металлом матрицы при заращивании частиц дисперсной фазы, град.

$$\varphi = 2 \arctg(-(MPC)/(100 - MPC)), \quad (4)$$

где MPC – микрорассеивающая способность электролита, %.

Ввиду того, что важным параметром технологических процессов изготовления оформляющих вставок пресс-форм является скорость осаждения композиций, на основании формулы Г.В. Гурьянова [7] разработана новая модель для ее определения [6]:

$$v_{KM} = \frac{v_m}{1 - V_1 - W_p/100}, \quad (5)$$

где V_1 – объемное содержание дисперсной фазы в композиции, %; v_m – скорость электрохимического осаждения металла без включения частиц порошка, мкм/ч.

В результате металлографического исследования структуры композиций установлено, что структура материала претерпела существенное изменение.

Так, у железа, полученного методом электрохимического осаждения без включения частиц порошка, структура слоиста, с темными пятнами в виде прожилок и сеткой трещин, идущих от основы. В компози-

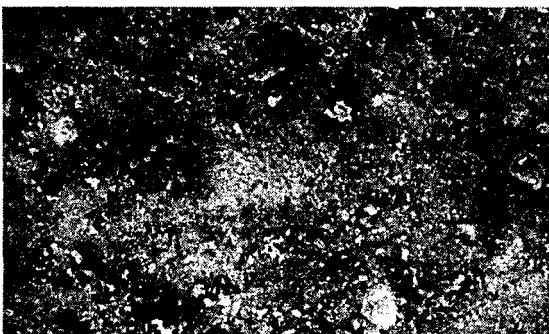


Рис. 1. Морфология поверхности композиций с включениями частиц каолина ($\times 200$)

ционном материале с включениями частиц оксида алюминия, каолина и силиката кальция присутствует слоистость, которая с увеличением содержания частиц порошка уменьшается и практически исчезает при содержании частиц в материале при 1,5...5,0 масс. %.

Изучение морфологии поверхности композиций позволило выявить, что железная матрица с включениями дисперсных частиц мелкозерниста (рис. 1). Линейный размер зерна составляет 10^{-7} м.

В работе исследовано влияние температуры электролита и плотности тока на содержание включений частиц порошка в композиционных материалах толщиной 0,5...5,0 мм (рис. 2).

Установлено, что при температуре электролита 40 °С содержание частиц в материале увеличивается от 4,9...5,1 масс. % ($I = 20 \text{ А/дм}^2$) до 7,7 масс. % ($I = 70 \text{ А/дм}^2$), а при температуре электролита 80 °С содержание частиц снижается от 2,1...2,3 масс. % ($I = 20 \text{ А/дм}^2$) до 0,6...0,8 масс. % ($I = 70 \text{ А/дм}^2$), т.е. с увеличением температуры электролита от 40 до 80 °С содержание частиц порошков (оксида алюминия, каолина, силиката кальция) в композиционном материале уменьшается, в то время как содержание частиц мелких фракций растет. Это происходит, по нашему мне-

нию, из-за уменьшения вязкости электролита и, следовательно, увеличения скорости седиментации частиц крупных фракций.

Изучена пористость композиций, полученных электрохимическим способом. Установлено, что с увеличением содержания частиц в покрытии от 1,5 до 7,7 масс. % пористость возрастает для композиционных материалов, содержащих в качестве дисперсной фазы порошок оксида алюминия от 0,12 до 0,65 %; каолина от 0,12 до 0,66 %; силиката кальция от 0,12 до 0,66 %. Это полностью согласуется с выводами, которые можно сделать, проанализировав уравнение (3). Увеличение содержания частиц дисперсной фазы ведет к увеличению количества пор в покрытии и, следовательно, увеличивает общую пористость осадка.

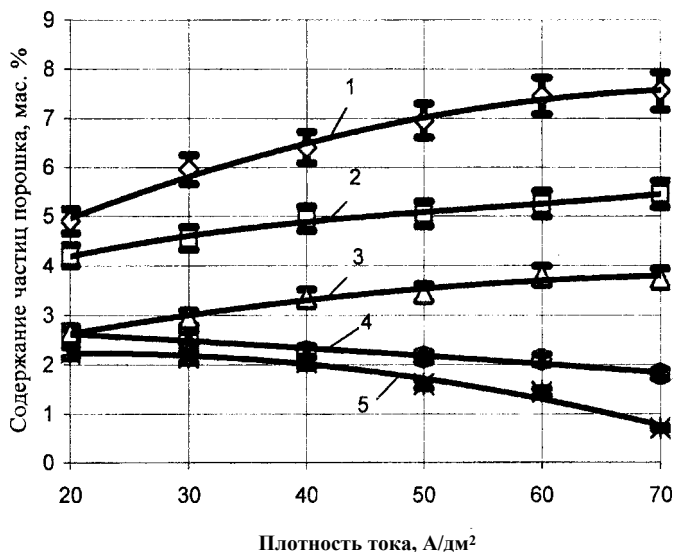


Рис. 2. Зависимость содержания включений частиц каолина от плотности катодного тока при различной температуре электролита: 1 - 40 °C; 2 - 50 °C; 3 - 60 °C; 4 - 70 °C; 5 - 80 °C

Результаты исследования влияния содержания дисперсной фазы на предел прочности композиций на растяжение представлены на рис. 3.

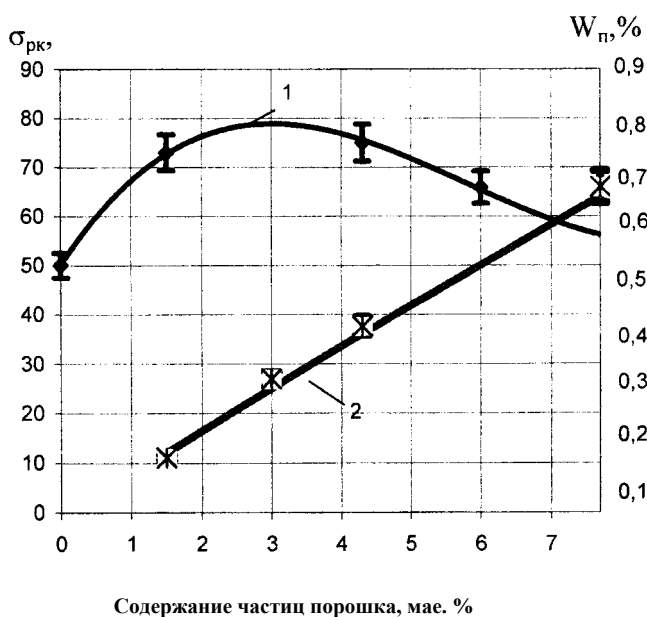


Рис. 3. Предел прочности на растяжение (МПа) и пористость (%) композиционного материала, в зависимости от содержания в нем частиц каолина: 1 - предел прочности на растяжение; 2 - пористость

Включение частиц дисперсной фазы в композиционном материале в небольших количествах до 3...5 масс. % влечет упрочнение металла матрицы до 70...75 МПа, что на 15...30 МПа выше, чем у железа, полученного методом электрохимического осаждения без включений частиц порошка. При этом микротвердость композиций достигает 5,5...6,3 ГПа, в то время как микротвердость железа без включений частиц порошка составляет 4,0...4,8 ГПа. Это обусловлено уменьшением включений в материал соединений трехвалентного железа, созданием препятствий (в виде частиц порошка и пор) распространению трещин в материале, увеличением плотности дислокаций в металле покрытия.

Так, у железа без включения частиц порошка размер областей когерентного рассеивания составляет 17 нм, микроискажения кристаллической решетки (Да/а) - $1,8 \cdot 10^{-3}$, плотность дислокаций — $6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

С увеличением массового содержания частиц порошков в композициях до 1,5...4,3 % размер областей когерентного рассеивания уменьшается до 5,0...5,4 нм, микроискажения кристаллической решетки растут до $2,5 \dots 2,9 \cdot 10^{-3}$, плотность дислокаций также увеличивается до $20 \dots 22 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (рис. 4), при этом прочность и микротвердость материала достигают наивысшего значения. Дальнейшее увеличение массового содержания частиц порошков в композиционных материалах до 6...7,7 % ведет к увеличению размера областей когерентного рассеивания до 59 нм, снижению микроискажений кристаллической решетки до $1,8 \cdot 10^{-3}$, уменьшению плотности дислокаций до $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, при этом прочность и микротвердость материала также снижаются.

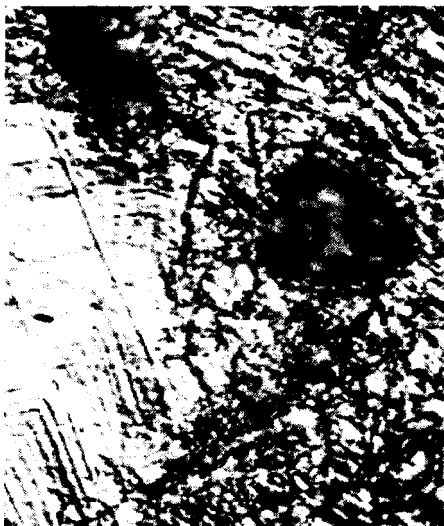


Рис. 4. Деформационные полосы в композиционном материале с включениями частиц порошка каолина (x 1200)

Проведенная оптимизация результатов исследований показала, что композиционные материалы, прочность которых достигает 70...75 МПа, получают при следующих условиях: концентрация порошка Al_2O_3 в ванне равна 100 г/л; температура электролита 50 °С; плотность катодного тока 30 А/Дм²; концентрация каолина - 100 г/л; температура электролита 80 °С; плотность катодного тока 50 А /Дм²; концентрация силиката кальция - 100 г/л; температура электролита 60 °С; плотность катодного тока 30 А/Дм². Относительная ошибка между данными эксперимента и расчетными значениями не превышает 10 %.

В работе теоретически и экспериментально определена скорость роста композиционных материалов для режимов, приведенных ранее. В результате установлено, что скорость роста композиций может до 11 % превышать скорость роста металла без включения частиц порошка. При этом увеличение скорости роста материала происходит из-за дополнительного увеличения его объема на величину объема частиц порошка и пористости, процесс включения которых не является электрохимическим.

Разработка и внедрение технологического процесса изготовления литейного инструмента. Технология изготовления литейного инструмента включает в себя следующие основные этапы:

- изготовление модели, являющейся негативным изображением требуемой пресс-формы;
- обезжиривание и промывка поверхности модели;
- нанесение на поверхность модели токопроводящего слоя (токопроводящая краска АС-588);
- нанесение первоначального слоя металла толщиной до 5 мкм;
- гальванопластическое нанесение железа с заданным расположением частиц порошка (с целью получения оболочек с необходимой прочностью в различных точках, а также установления динамики теплоотвода от поверхности пластмассовых отливок);
- отделение оформляющей вставки литейной пресс-формы от модели;
- растворение тонкого, первоначально нарощенного слоя железа в соляной кислоте;
- промывка и обезжиривание оформляющей вставки литейной пресс-формы;
- слесарная обработка и армирование тыльной стороны оформляющей вставки литейной пресс-формы эпоксидной композицией (в качестве наполнителя использовали алюминиевый порошок, в количестве 60...80 масс. %).

Внедрение предлагаемой технологии в производство обеспечивает снижение материалоемкости в 1.1...1.4 раза и трудоемкости изготовления пресс-форм - в 5,0...6,3 раза. Эффект достигается за счет увеличения скорости электрохимического осаждения композиционного материала до 11 %, увеличения его прочности до 70...75 МПа, а также возможности замены фрезеровщика, токаря, слесаря 5-6 разрядов гальваником 3-го разряда.

Выводы

1. Выявлены закономерности влияния основных технологических параметров электрохимического осаждения композиционных материалов на содержание в них частиц порошка.

2. Предложены составы композиций, обладающих максимальной прочностью.

3. Предложен способ снижения материалоемкости и трудоемкости изготовления литеввого инструмента, заключающийся в том, что его оформляющая оболочка толщиной 0,5...5,0 мм формируется электрохимическим осаждением железа с включениями частиц оксида алюминия, каолина и силиката кальция из хлористого электролита с заранее заданным распределением частиц дисперсной фазы в объеме покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфуллин Р.С. Неорганические композиционные материалы. - М: Химия, 1983. - 304 с.
2. Мелков М.П., Швецов А.Н., Мелкова И.М. Восстановление автомобильных деталей твердым железом. - М.: Транспорт, 1982. - 198 с.
3. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник / Под. ред. М.А. Шлугера. - М.: Машиностроение, 1985. - Т. 1 - 240 с.
4. 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. - Мн., 2001. - 10 с. - Деп. в ВИНТИ 09.12.2000. - № 3110-В00 // Инженерно-физический журнал. - 2001. - Т. 74, № 4. - С. 157.
5. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н. Композиционные электрохимические покрытия. - Киев: Техника, 1986. - 200 с.
6. Жемчужный М.И., Дубинский Н.А. Теоретическое определение пористости композиционных материалов, полученных электрохимическим способом // Весці НАН Беларусі Сер. Фіз.-тэхн. навук. - 2002. - № 1. - С. 9- 10.
7. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций. - Кишинев: Штиинца, 1985. - 238 с.