

Влияние содержания карбида хрома на износостойкость сплавов системы Fe—Cr—C

А. А. Михайлов, П. В. Мазур, Н. П. Бродниковский,
К. С. Чирик, А. В. Самелюк, М. С. Ткаченко

Поставлена задача повышения износостойкости и прочности при изгибе сплавов системы Fe—Cr—C с высоким содержанием карбида кремния, получаемых методом порошковой металлургии. Исследованы закономерности формирования структуры и механических свойств в зависимости от состава сплавов и условий их получения. Показано, что повышение механических свойств обеспечивает измельчение зерна. Мелкозернистая плотная структура с уникально высокой стойкостью при абразивном износе достигается за счет дозирования исчезающей при спекании жидкой фазы.

Ключевые слова: композиты, Cr_3C_2 , спекание, структура, механические свойства.

Введение

Сормаиты — сплавы на основе системы Fe—Cr—C, которые содержат небольшие количества никеля, марганца и кремния, известны как наплавочные материалы, обеспечивающие высокую износостойкость рабочих поверхностей [1]. Сплавы представляют собой твердый раствор хрома и никеля в железе с избыточным содержанием карбида хрома. Большие возможности варьирования структуры и свойств сплавов подобного состава открываются при получении их методом порошковой металлургии. Создан новый класс материалов — карбидостали, который активно разрабатывается [2—6]. Изучаются как физические процессы, происходящие при получении материала [7], так и структурообразование в сплавах в процессе получения [8].

Порошковые материалы на основе системы Fe—Cr—C предназначены для работы в тяжелых условиях абразивного износа. При этом часто необходимо обеспечить высокую коррозионную стойкость. Однако, по данным работы [5], с увеличением содержания в сплаве карбида хрома коррозионная стойкость повышается, а износостойкость — уменьшается.

Поэтому для получения комплекса рабочих свойств в сплавах с высоким содержанием карбида хрома, обладающих высокой коррозионной стойкостью, необходимо исследовать возможности повышения износостойкости и прочности при изгибе. Цель настоящей работы — изучение влияния состава сплавов и условий спекания на протекание процессов перекристаллизации в присутствии жидкой фазы и твердофазного спекания. Эти процессы ответственны за формирование структуры, которая определяет механические свойства сплавов.

Методика и материалы

Исходными материалами для проведения исследований служили порошки сплава на основе Fe—35Cr—5C и карбида хрома Cr_3C_2 . Смеси

порошков размалывали в шаровой мельнице в среде ацетона на протяжении 48 ч. Барабан футерован твердым сплавом. Соотношение масс шихты и шаров составляет 1 : 6. Размер порошка шихты после размола — 2—2,5 мкм.

Для прессования размолотую смесь замешивали на растворе каучука в бензине. Прессовали образцы размером 6х6х45 мм³ для проведения испытаний на изгиб и твердость и фрактографических исследований. Кроме того, прессовали образцы для испытаний в условиях абразивного изнашивания на установке типа НК (неподвижное кольцо) конструкции ГосНИИМашиноведения [9]. Спрессованные образцы спекали в вакууме при температурах 1180—1350 °С в течение 30 мин.

Метод испытания на абразивное изнашивание основан на трении поверхности образца об абразивную прослойку из кварцевого песка твердостью 9—11 ГПа. При трении прикладывалось давление 150 кПа, скорость скольжения составляла 0,7 м/с, а путь трения — 1200 м. Одновременно в одних и тех же условиях с образцом испытывали эталон, которым служил образец, изготовленный из сплава без добавления карбида. Относительную износостойкость рассчитывали по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta P_3 \cdot \gamma_0}{\Delta P_0 \cdot \gamma_3},$$

где ΔP_3 и ΔP_0 — потеря массы эталона и образца, г; γ_3 и γ_0 — удельная плотность эталона и образца, г/см³.

Составы смесей порошков представлены в таблице. Плотность сплава Fe—35Cr—5C составляет 7,4 г/см², а карбида хрома — 6,68 г/см² [10]. На основании этих данных вычисляли теоретическую удельную плотность γ , образцов из смесей указанного состава (таблица). Удельную плотность полученных образцов рассчитывали по данным гидростатического взвешивания образцов. На основании теоретической и экспериментальной удельных плотностей определяли пористость образцов (таблица).

Твердость HRA измеряли на приборе марки ТК-14-250 ГОСТ 2367779. Прочность при изгибе определяли при трехточечном нагружении с базой 35 мм. Фрактографический анализ проводили на растровом электронном микроскопе Superprobe-733.

Результаты экспериментов

Исследуемый сплав Fe—35Cr—5C близок по составу сплаву с концентрацией железа 62,5% (мас.) на политермическом сечении Fe—Cr₃C₂ тройной системы Fe—Cr—C [5]. Результаты пересчета содержания железа в других исследовавшихся сплавах представлены в таблице.

Все сплавы спекали при трех различных температурах в интервале 1180—1350 °С. В таблице указаны температуры спекания, при которых прочности при изгибе образцов из шихты данного состава были максимальны. Все приведенные характеристики материалов получены для образцов, спеченных при указанных в таблице температурах и постоянном времени спекания 0,5 ч.

Из таблицы следует, что температура спекания, при которой достигается максимальная прочность при изгибе, возрастает по мере увеличения количества вводимого в шихту Cr₃C₂. При этом прочность при

Характеристики сплавов в зависимости от содержания карбида хрома в смеси исходных порошков (Fe—35Cr—5C)—Cr₃C₂

Содержание карбида хрома, % (мас.)	γ_{T_3} , г/см ³	Fe, % (мас.)	$T_{сп}$, °C	Пористость, %	Относительный износ ϵ
0	7,4	62,5	1180	0	1
10	7,32	56,3	1220	2	1,1
30	7,17	43,8	1250	3	1,2
50	7,02	31,3	1280	15	0,4
70	6,88	18,8	1300	13	0,5
90	6,75	6,3	1350	6	26

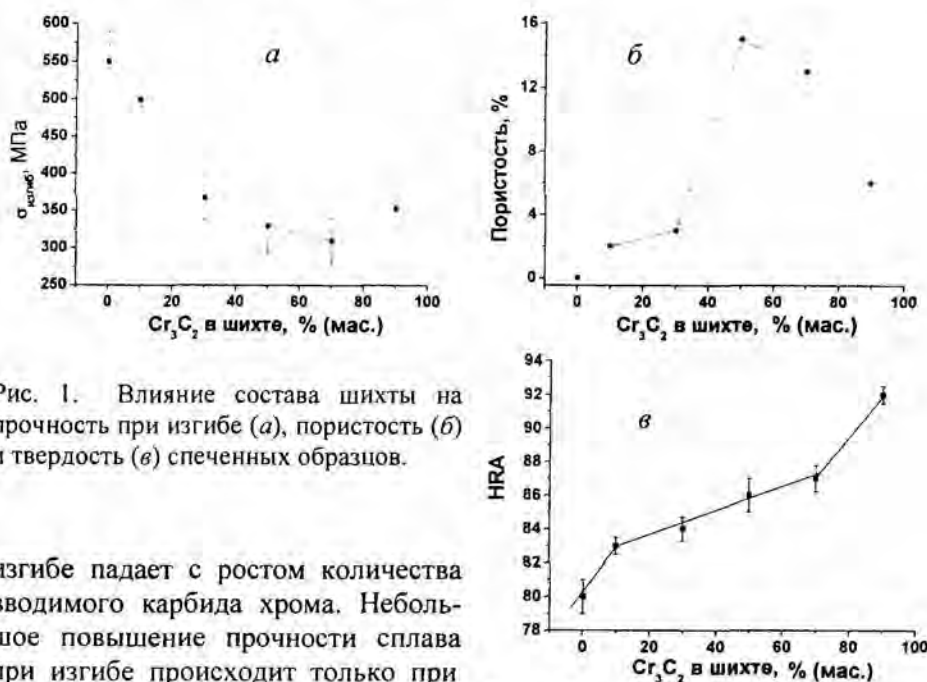


Рис. 1. Влияние состава шихты на прочность при изгибе (а), пористость (б) и твердость (в) спеченных образцов.

изгибе падает с ростом количества вводимого карбида хрома. Небольшое повышение прочности сплава при изгибе происходит только при увеличении содержания вводимого Cr₃C₂ от 70 до 90% (мас.) (рис. 1).

При достижении количества вводимого в шихту карбида Cr₃C₂ 50% (мас.) резко возрастает пористость спеченных образцов (рис. 1, б). При дальнейшем росте содержания Cr₃C₂ пористость начинает уменьшаться. Твердость сплава с увеличением содержания Cr₃C₂ монотонно возрастает (рис. 1, в).

Относительная износостойкость сначала медленно повышается с увеличением содержания карбида в шихте. Однако при введении 50% (мас.) карбида она уменьшается в 2 раза (таблица). Резкий рост износостойкости наблюдался при содержании вводимых карбидов 90% (мас.).

Фрактографический анализ тоже фиксирует появление пористости при высоком содержании Cr₃C₂ в шихте (рис. 2). Кроме того, видно, что размер зерен уменьшается с ростом количества вводимого в сплав карбида, хотя температура спекания увеличивается. По виду зерен можно заключить, что вплоть до введения в шихту порошка сплава 70% (мас.) Cr₃C₂

выбранной температуры спекания достаточно для того, чтобы проходила полная рекристаллизация спеченного сплава. Об этом свидетельствует образование крупных, хорошо ограненных зерен. Размер зерен в сплаве Fe—35Cr—5C без введения карбида составляет около 18 мкм, в сплаве, в шихту которого добавлено 70% (мас.) карбида хрома, — 8 мкм. При максимальном содержании карбида зерна остаются неправильной формы и многие из них имеют размер, соответствующий размеру частиц исходного порошка, порядка 2,5 мкм. Размер пор и пористость уменьшаются вместе с размером зерен.

Таким образом, определены условия спекания и состав сплавов с повышенным содержанием карбида хрома, которые обеспечивают очень высокую износостойкость. Проведенная для сравнения проверка износостойкости при абразивном изнашивании сплавов КХН15 и ВК8 относительно того же эталона (сплав Fe—35Cr—5C без добавок Cr₃C₂) дала для них величину относительной износостойкости 1,5 и 15 соответственно. Для сплава, при получении которого в шихту добавляли 90% (мас.) карбида хрома, получена величина $\epsilon = 26$ (таблица).

Обсуждение результатов

В работе [5] построено на основании обработки литературных данных политеرمическое сечение диаграммы состояния системы Fe—Cr—C по лучу Fe—Cr₃C₂ (рис. 3). На основании диаграммы сделан вывод, что при содержании железа в системе до 35% (мас.) оно целиком расходуется на образование сложного карбида (Cr_{0,643}Fe_{0,357})₇C₃. Только при содержании железа выше 40% (мас.) можно рассчитывать на получение композиционного материала с прослойками пластичного α -Fe. Увеличение содержания железа с 40 до 85% (мас.) сопровождается переходом структуры сплавов от карбидно-каркасной до матрично-наполненной. По результатам работы [5], такое изменение структуры приводило к повышению предела прочности при изгибе, снижению твердости, увеличению износостойкости и уменьшению коррозионной стойкости.

В настоящей работе установлено немонотонное снижение механических свойств с увеличением в сплаве содержания карбида. При уменьшении количества железа >18,8% (мас.) износостойкость и прочность при изгибе начинают повышаться (см. рис. 1, а, таблицу).

Выбор температуры спекания по максимальному значению прочности при изгибе показал, что с увеличением содержания карбида температура получения структуры, обеспечивающей максимальную прочность, возрастает. Образцы сплава Fe—35Cr—5C без добавок Cr₃C₂ начинали терять

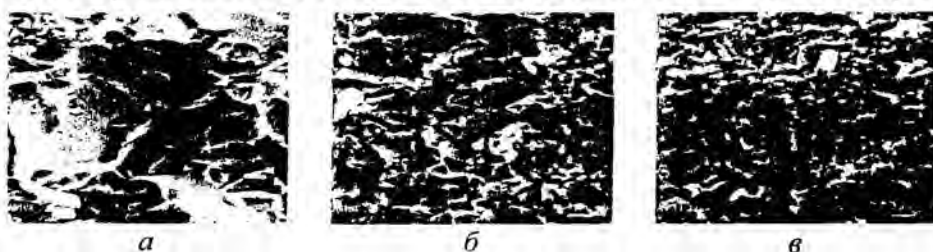
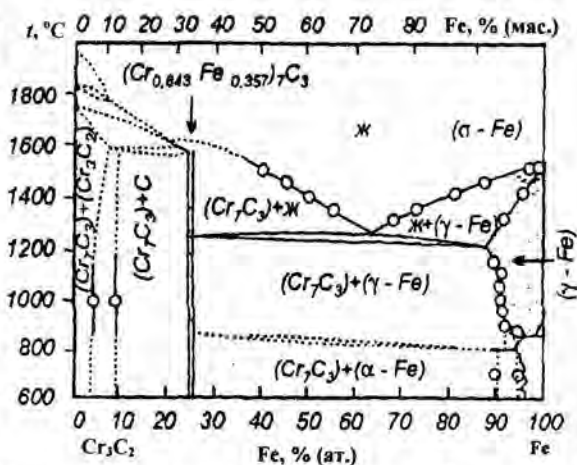


Рис. 2. Структура изломов сплавов из порошков Fe—35Cr—5C в зависимости от количества вводимого Cr₃C₂ и температуры спекания: а — 0% (мас.), 1180 °C; б — 70% (мас.), 1300 °C; в — 90% (мас.), 1280 °C.

Рис. 3. Политермическое сечение диаграммы состояний системы Fe—Cr—C по лучу Fe—Cr₃C₂ [5].



форму в результате подплавления при температуре спекания 1180 °С. Добавление более тугоплавкой составляющей при постоянном времени выдержки при спекании требует

большой температуры для полной рекристаллизации. Полученные структуры (рис. 2, а, б) свидетельствуют о том, что максимум прочности достигается при полной перекристаллизации. Образуется структура с малым разбросом зерен по размерам. При этом средний размер зерен значительно превосходит величину исходных частиц карбида.

Установлено, что с уменьшением содержания железа в сплаве >40% (мас.) перекристаллизация тоже происходит. Очевидно, из-за наличия в шихте частиц сплава Fe—35Cr—5C, который без добавок карбида перекристаллизуется при спекании уже при температуре 1180 °С (рис. 2, а). Кроме того, на контактах частиц различного состава может образовываться жидкая фаза. При больших содержаниях сплава Fe—35Cr—5C осуществляется перекристаллизация с уплотнением до практически безпористого состояния (рис. 1, б). Высокая степень уплотнения свидетельствует о наличии жидкой фазы [6]. С увеличением в шихте содержания Cr₃C₂ пористость перестает залечиваться полностью. В сплаве, в который вводили 50% (мас.) Cr₃C₂ (31,3% (мас.) Fe), пористость после спекания составляет 15% (таблица). Однако перекристаллизация с ростом размера зерен сохраняется вплоть до уменьшения содержания железа в сплаве до 18,8% (мас.). При 6,3% (мас.) железа размер зерна, определяемый по фасеткам скола, практически не превышает размера исходных частиц порошка. Происходит в основном твердофазное спекание частиц карбида. Количества жидкой фазы достаточно только для образования контактов между ними. В соответствии с данными работы [5] она быстро исчезает в результате растворения железа в карбиде хрома.

Диаграмма фазовых равновесий (рис. 3) показывает, что с уменьшением содержания железа сплав становится более тугоплавким. Это приводит к увеличению температуры, требующейся для протекания полной перекристаллизации. Очевидно, этим вызвано уменьшение пористости после достижения максимума (рис. 1, б).

Основное снижение прочности при изгибе наблюдается до резкого увеличения пористости (рис. 1). Обусловлено это снижение прочности, очевидно, ростом количества хрупкой фазы. Увеличение содержания твердой фазы сначала сопровождается ростом износостойкости. Однако резкое возрастание пористости приводит к снижению износостойкости (рис. 1, б, в, таблица). Твердость сплавов с повышением пористости продолжает расти (рис. 1, б, в; 2).

Повышение механических свойств сплава, в шихту которого вводили 90% (мас.) Cr_3C_2 , сопровождается уменьшением размера зерна и снижением пористости. Так, при увеличении температуры спекания сплава с 1280 до 1350 °С пористость уменьшается с 9 до 6%. Это приводит к повышению прочности при изгибе с 286 до 353 МПа, а относительной износостойкости — с 17 до 26.

Выводы

Показано, что метод порошковой металлургии открывает уникальные возможности по управлению структурой и механическими свойствами сплавов на основе системы Fe—Cr—C. Установлено, что измельчение зеренной структуры может резко повышать износостойкость сплавов, уменьшая износ вследствие растрескивания и выкрашивания хрупкой составляющей. Важным способом достижения малого размера зерна и высокой плотности материала является дозирование исчезающей в процессе спекания жидкой фазы.

1. Раковский В. С. *Металлокерамические материалы и наплавочные сплавы: (Справ. машиностроителя)*. — М.: Машиностроение, 1964. — Т. 6. — С. 411—420.
2. Радомысельский И. Д., Щербань Н. И. *Порошковые конструкционные материалы / Препр.* — К.: Знание, 1983. — 16 с.
3. Клименко В. Н., Напара-Волгина С. Г., Орлова Л. Н. и др. Механические свойства износостойких высокохромистых порошковых материалов с гетерогенной структурой // *Порошковая металлургия*. — 1996. — № 11/12. — С. 61—67.
4. Баглюк Г. А. Особенности технологии, свойства и области применения карбидосталей // *Оборудование и инструмент для профессионалов*. — 2003. — № 10. — С. 44—46
5. Маслюк В. А., Напара-Волгина С. Г. Стойкие к износу и коррозии материалы типа карбидосталей с различными матрицами // *Порошковая металлургия*. — 1999. — № 9/10. — С. 108—114.
6. Яковенко Р. В., Маслюк В. А., Баглюк Г. А. и др. Трибологические и физико-механические свойства износостойких композитов на основе коррозионно-стойких сталей // *Труды 2-й Междунар. Самсоновской конф. "Материаловедение тугоплавких соединений"*. — К., 18—20 мая 2010 г. — С. 122—130.
7. Власюк Р. З., Грипачевский А. Н., Радомысельский И. Д. Изменение химического состава частицы Cr_3C_2 , находящейся в контакте с железной матрицей при спекании // *Порошковая металлургия*. — 1984. — № 8. — С. 28—33.
8. Клименко В. Н., Маслюк В. А., Самброс Ю. В. Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов карбид хрома—железо // *Порошковая металлургия*. — 1986. — № 8. — С. 39—44.
9. Хрущов М. М., Бабичев М. А. *Абразивное изнашивание*. — М.: Наука, 1970. — 252 с.
10. Самсонов Г. В., Винницкий И. М. *Тугоплавкие соединения*. — М.: Металлургия, 1978. — 558 с.

Вплив вмісту карбіду хрому на зносостійкість сплавів системи Fe—Cr—C

А. А. Михайлов, П. В. Мазур, М. П. Бродніковський, К. С. Чирик,
А. В. Самелюк, М. С. Ткаченко

Поставлено завдання підвищення зносостійкості та міцності при згині сплавів системи Fe—Cr—C з високим вмістом карбіду хрому, що отримують методом порошкової металургії. Досліджено закономірності формування структури та механічних властивостей в залежності від складу сплавів та умов їх отримання. Показано, що підвищення механічних властивостей забезпечує подрібнення зерна. Щільний матеріал з дрібним зерном та унікально високою стійкістю при абразивному зносі отримується внаслідок дозування зникаючої при спіканні рідкої фази.

Ключові слова: композити, Cr_3C_2 , спікання, структура, механічні властивості.

Influence of a chromium carbide content on wear-resistance of the Fe—Cr—C system alloys

A. A. Mihajljv, P. V. Mazur, M. P. Brodnikovskiy, K. S. Chirik,
A. V. Sameluk, M. S. Tkachenko

The task to raise wear-resistance and bend strength of Fe—Cr—C system alloys, which obtained by method of powder metallurgy with high content of chromium carbide, was been putted. The regularity of structure and bend strength formation depend on content and obtained conditions of the alloys was been studied. It was shown that grain size refinement arouses the increase of the mechanical properties. The dense material with refine grains and extremely high resistance to abrasive wear has been obtained due to batching of liquid phase disappeared during sintering.

Keywords: composite, Cr_3C_2 , sintering, structure, mechanical properties.