

Методика горячего напрессовывания износостойких композиционных покрытий из Cr_3C_2 и сплава на основе никеля

Н. П. Бродниковский, А. А. Михайлов, К. С. Чирик,
Ю. Е. Зубец, А. В. Самелюк

Изучены особенности структурообразования полученного горячим напрессовыванием композиционного покрытия на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{—Ni}$. Обсуждаются возможности управления пористостью и механическими свойствами покрытия путем изменения температуры напрессовывания и количества связки. Результаты объясняются в терминах повышения текучести связки, ухудшения смачиваемости в результате окисления поверхности частиц карбида, заполнения пористости при выдавливании излишков связки при горячем напрессовывании.

Введение

Повышение экономического эффекта использования высокой износостойкости композиционных материалов на основе тугоплавких соединений достигается нанесением покрытий из них. Для нанесения покрытий применяют связки на основе сплавов никеля, для которых уже давно разработаны технологии нанесения покрытий методами плазменного и газопламенного напыления, а также высокочастотного оплавления [1—4]. Использование разных тугоплавких соединений в исходном состоянии, плакированных, конгломерированных является известным технологическим приемом при нанесении покрытий [5—8].

Недостатками известных методов нанесения композиционных покрытий на основе тугоплавких соединений являются ограничение толщины, неоднородность распределения упрочняющей фазы по сечению, невозможность повысить объемную долю упрочняющей фазы более 70% и взаимодействие компонентов вследствие перегрева.

Использование метода горячего напрессовывания смеси порошков тугоплавких соединений и связки на стальную подложку в присутствии жидкой фазы благодаря контролю перегрева композита позволяет свести до минимума химическое взаимодействие компонентов покрытия, варьировать толщину покрытия в широких пределах и добиться получения высокой объемной доли упрочняющих частиц. Увеличение объемной доли упрочняющей фазы должно повысить твердость композита. Известно [9], что стойкость материала при абразивном механизме износа тем выше, чем выше его твердость.

В настоящей работе представлены результаты разработки методики нанесения композиционного покрытия методом горячего напрессовывания смеси порошков Cr_3C_2 и сплава на основе никеля. Исследованы структура и твердость покрытий.

© Н. П. Бродниковский, А. А. Михайлов, К. С. Чирик, Ю. Е. Зубец,
А. В. Самелюк, 2009

Материалы и методика исследований

Для исследований выбран порошок карбида хрома Cr_3C_2 с размером частиц $-0,125...+0,063$ мм, полученный рассевом после синтеза и дробления Cr_3C_2 . В качестве связки использовали сплав на основе никеля Ni—Cr—Fe—В (ПГ-10-Н01) с температурой полного плавления 1050 °С.

Обработку режимов горячего напрессовывания покрытия на стальную подложку проводили на вакуумной установке для механических испытаний со специально изготовленной оснасткой из вольфрама, которая позволяет при температурах до 1400 °С прикладывать давление сжатия на образцы площадью до 11×27 мм². Напрессовывание осуществляли в вакууме $1 \cdot 10^{-2}$ Па в температурном интервале $1100—1250$ °С и при давлении прессования $3—10$ МПа.

Структуру покрытий исследовали на оптическом микроскопе МИМ-7 и растровом электронном микроскопе Superprobe-733. Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3.

Результаты и их обсуждение

Первую оценку температуры, необходимой для напрессовывания покрытия, выполняли на основании проб на смачивание порошка карбида хрома расплавом порошка связки. Для этого исследовали взаимодействие при нагреве слоя порошка карбида хрома толщиной 3 мм с расположенным ниже слоем порошка связки такой же толщины. Нагрев тигля с насыпанными в него слоями порошков осуществляли в вакууме $1 \cdot 10^{-2}$ Па до температур $1100—1250$ °С. Благодаря тому, что плотность карбида хрома составляет $6,68$ г/см³ [9], а плотность связки на основе никеля — около 8 г/см³, порошок карбида не тонет в расплаве связки. Заполнение связкой пор в плавающем порошке карбида может происходить, если достигаются условия, необходимые для смачивания частиц порошка.

Изучение структуры образцов после пропитки показало, что выдержка при 1200 °С в течение 30 мин приводит к появлению широкого слоя композита практически без пор (рис. 1). В результате смачивания частицы удерживаются в расплавленной связке и свободно распределены в ней. Объемная плотность частиц карбида хрома в композите явно меньше, чем в порошке насыпанного слоя карбида. Частицы карбида хрома в композите (рис. 1) находятся как бы во “взвешенном” состоянии.

Температура 1200 °С, при которой происходит смачивание связкой



карбида хрома, была выбрана в опытах по оптимизации количества связки в смеси для получения композиционного покрытия с мини-

Рис. 1. Структура слоя композита, образовавшегося после взаимодействия насыпанных слоев порошков карбида Cr_3C_2 и связки ПГ-10-Н01 в результате выдержки при 1200 °С 30 мин в вакууме. Слой Cr_3C_2 насыпался сверху.

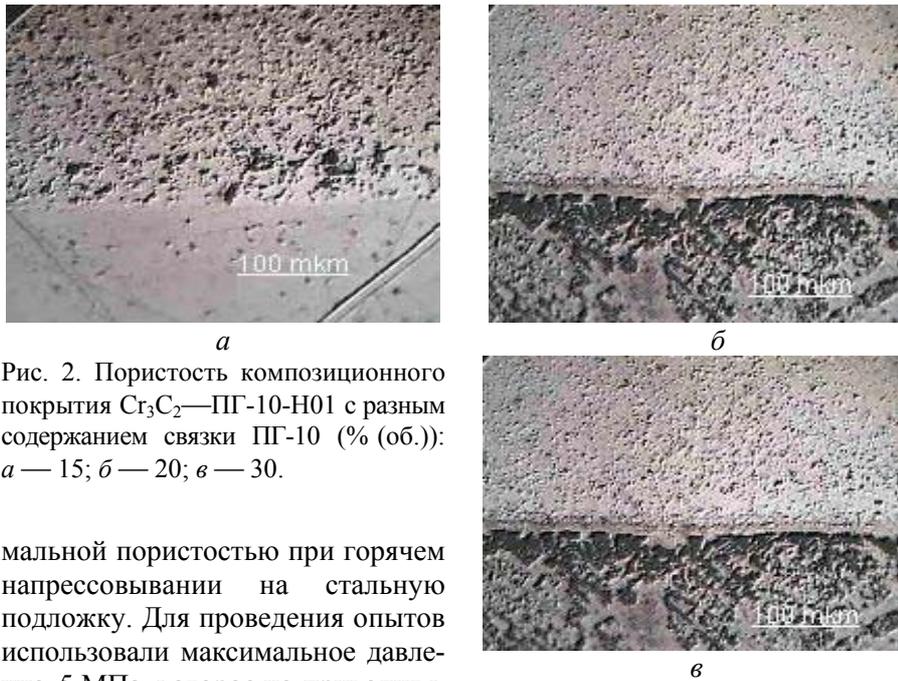


Рис. 2. Пористость композиционного покрытия St_3C_2 —ПГ-10-Н01 с разным содержанием связки ПГ-10 (% (об.)): *a* — 15; *б* — 20; *в* — 30.

мальной пористостью при горячем напрессовывании на стальную подложку. Для проведения опытов использовали максимальное давление 5 МПа, которое не приводит к деформации стальной подложки. Количество связки в смеси варьировали в пределах 10—30% (мас.). Толщина напрессованных покрытий составляла около 1 мм.

На рис. 2 представлены структуры напрессованного на подложку композита с разным содержанием связки. С увеличением содержания связки остаточная пористость композита уменьшается. В работе [10] показано, что в присутствии жидкой фазы, которая служит пластификатором, объемная доля частиц упрочняющей фазы при данных условиях напрессовывания может достигать 82—84%. Остальное составляют связка и поры. При содержании 20% (мас.) (17,3% (объемн.)) связки при напрессовывании покрытия появляется небольшое количество выдавленной на торцы образца связки и сохраняется значительная остаточная пористость. При 30% (мас.) (26,4% (объемн.)) связки количество выдавленной связки увеличивается, а остаточная пористость уменьшается.

Таким образом, наблюдается уменьшение остаточной пористости за счет заполнения пор при выдавливании излишков связки в результате их увеличения. Дальнейшее уменьшение пористости за счет увеличения избытка связки экономически невыгодно. Применяющаяся в композите связка дорогая и работы по удалению наплывов с торцов трудоемки. В работе [10] показано, что нулевая пористость может быть достигнута варьированием гранулометрического состава шихты и при использовании плакированного карбида.

Оптимизация температуры горячего напрессовывания проводилась на основании изучения структуры и твердости покрытий, нанесенных при разных температурах. Для напрессовывания применяли смесь порошков карбида хрома с 30% (мас.) связки. Структурные исследования показали (рис. 3), что пористость покрытия немонотонно зависит от температуры его получения. При повышении температуры с 1130 до 1200 °С уменьшение вязкости связки приводит к более полному заполнению пор.



a



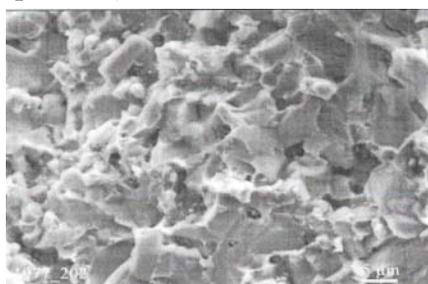
б



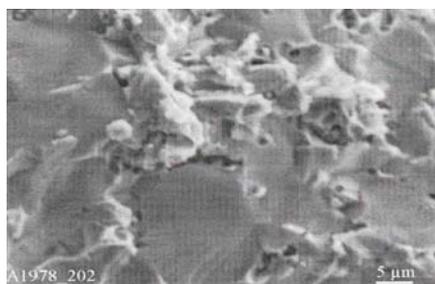
в

Рис. 3. Пористость композита Cr_3C_2 —30% (мас.) ПГ-10-Н01 при разных температурах горячего напрессовывания ($^{\circ}\text{C}$): *a* — 1130; *б* — 1200; *в* — 1250.

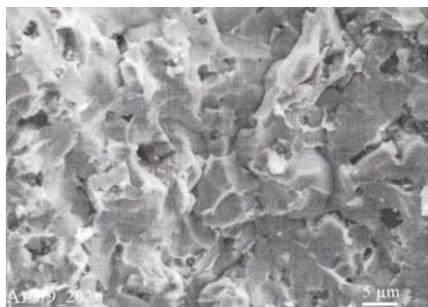
Дальнейшее повышение температуры ухудшает заполнение пор. Очевидно, из-за взаимодействия карбидов с остаточной атмосферой печи ухудшается смачивание и выдавливание связки наружу требует меньших усилий, чем заполнение ею мелких пор. Изменение состояния поверхности частиц карбидов с повышением температуры напрессовывания покрытия выше 1200°C подтверждается фрактографическими исследованиями (рис. 4). Основное различие изломов при повышении температуры до 1200°C вызвано уменьшением в них пористости (рис. 4, *a*, *б*). При дальнейшем повышении температуры в изломе происходит межзеренное разрушение (рис. 4, *в*).



a



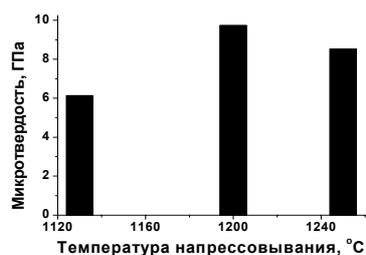
б



в

Рис. 4. Характер разрушения композиционного покрытия Cr_3C_2 —ПГ-10-Н01 при разных температурах его получения ($^{\circ}\text{C}$): *a* — 1130; *б* — 1200; *в* — 1250.

Рис. 5. Зависимость микротвердости композита Cr_3C_2 —ПГ-10-Н01 от температуры горячего напессовывания.



Измерение микротвердости (рис. 5) показало немонотонное изменение твердости образцов при изменении температуры спекания. Очевидно, вклад в снижение твердости образца, спеченного при 1250 °С, вносит как увеличение пористости (рис. 3), так и уменьшение прочности границ, о котором свидетельствует появление межзеренного разрушения (рис. 4, в).

Выводы

Изучены особенности структурообразования при нанесении износостойкого композиционного покрытия из Cr_3C_2 и сплава на основе никеля методом горячего напессовывания на стальную основу.

Установлено, что снижение прочностных свойств покрытия с ростом температуры получения выше 1200 °С вызвано как возрастанием пористости, так и изменением характера разрушения.

Изучены возможности управления пористостью покрытия путем изменения температуры напессовывания, выдавливания излишков связки при прессовании и обеспечения чистоты поверхности порошков.

Показано, что при пропитке снизу насыпки порошка карбида хрома, плотность которого меньше плотности расплава связки, объемная доля карбида хрома в единице объема уменьшается.

1. *Ткачев В. Н., Фиштейн Б. М.* Образование зоны сплавления при индукционной наплавке твердых сплавов // Автоматическая сварка. — 1968. — № 9. — С. 31—35.
2. *Пирогов С. Я., Шеенко И. Н., Танкин А. Д. и др.* Выбор износостойкого сплава для работы в газообразной среде // Сварочное производство. Машиностроение. — 1976. — № 12. — С. 20—22.
3. *Терехина Т. А., Пирогов С. Я., Соколов В. Ф., Олейник В. А.* Взаимодействие некоторых тугоплавких соединений с Ni—Cr—Si—В сплавами // Порошковая металлургия. — 1980. — № 8. — С. 53—57.
4. *Борисов Ю. С.* Теоретические и технологические основы получения плазменных покрытий из композиционных порошков: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — К.: Ин-т пробл. материаловедения АН УССР, 1982. — 42 с.
5. *Клинская—Руденская Н. А.* Разработка технологии плазменной металлизации тугоплавких порошков для нанесения износостойких покрытий на основе никеля и железа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: ВНИИТС, 1986. — 26 с.
6. *Клинская—Руденская Н. А., Копысов В. А.* Особенности композиционных покрытий на основе Ni—Cr—В—Si сплава. Исследование микроструктуры покрытий // Физ.-хим. обраб. материалов. — 1995. — № 1. — С. 69—81.
7. *Пат. 2112075 РФ / Н. А. Руденская, В. А. Жилиев // БИ.* — 1998. — № 15.
8. *Пат. 2136777 РФ / Н. А. Руденская, В. А. Жилиев, В. А. Копысов // БИ.* — 1999. — № 25.
9. *Энциклопедия неорганических материалов / Отв. ред. И. М. Федорченко.* — К.: Глав. ред. Сов. Энциклопедии. — 1977. — 1. — 839 с.
10. *Бродниковский Н. П., Михайлов А. А., Бродниковский Д. Н. и др.* Влияние объемной доли частиц сплава ВК8 с никелевой связкой на твердость композита // Электронная микроскопия и прочность материалов. — К.: Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины. — 2008. — Вып. 15. — С. 77—82.