

## **Влияние объемной доли частиц сплава ВК8 с никелевой связкой на твердость композита**

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

*Показано, что увеличение объемной доли упрочняющей фазы в композите из твердого сплава ВК8 со связкой на основе никеля приводит к возрастанию твердости композита. Исследовано влияние гранулометрического состава, давления, высоты прессовки, стягивающего эффекта жидкой фазы, ее пластифицирующее действие при прессовании на повышение объемной доли ВК8 в композите.*

### **Введение**

Известны высокая износостойкость и механические свойства твердых сплавов [1, 2]. Они стойкие и хорошо смачиваются в расплавах Ni—Cr—Fe—W [3, 4]. Поэтому сплавы на основе Ni используются в качестве связки для нанесения износостойких композиционных покрытий с частицами твердого сплава методами индукционной наплавки [5] и плазменно-дугового напыления [6]. Недостатками этих методов нанесения покрытий являются ограничение толщины, неоднородность распределения упрочняющей фазы по сечению, невозможность повысить объемную долю упрочняющей фазы выше 70% и взаимодействие компонентов вследствие перегрева.

Использование метода напрессовки смеси порошков из размолотых отходов твердых сплавов и связки на стальную подложку в присутствии жидкой фазы должно позволить свести до минимума химическое взаимодействие компонентов благодаря контролю перегрева композита, а также варьировать толщину покрытия в широких пределах и добиться высокой плотности каркаса из упрочняющих частиц. Увеличение объемной доли упрочняющей фазы должно повысить твердость композита. Известно [7], что стойкость материала при абразивном механизме износа тем выше, чем выше его твердость.

В настоящей работе исследуются возможности повышения объемной доли частиц ВК8 в композите, получаемом прессованием, и зависимость от ее величины твердости композита.

### **Материалы и методика исследований**

Для проведения исследований использовали размолотые отходы твердого сплава ВК8. В качестве связки — сплав на основе никеля с температурой полного плавления 1050 °С.

Экспериментально изучали влияние на уплотнение порошка сплава ВК8 давления, гранулометрического состава, высоты прессовки и наличия жидкой фазы, которой являлся сплав на основе никеля.

© Н. П. Бродниковский, А. А. Михайлов, Д. Н. Бродниковский,  
К. С. Чирик, Ю. Е. Зубец, А. В. Самелюк, С. А. Фирстов, 2008

Прессование проводили с цифровой регистрацией кривой усилие—перемещение при нагружении и разгрузке. Изменение высоты навесок получали после коррекции смещения при нагружении на величину деформации системы, которая описывалась кривой разгрузки.

Влияние количества жидкой фазы на увеличение объемной доли наполнителя из частиц твердого сплава изучали, измеряя геометрические размеры и массу слоя композита, наплавленного в вакууме  $1 \cdot 10^{-2}$  Па при температуре 1200 °С без приложения давления. Использовали смеси порошков, составляющих композит, с изменением объемной доли связки в пределах 10—40% (об.).

Напрессовывание покрытия в присутствии жидкой фазы осуществляли на установке горячего прессования в вакууме  $1 \cdot 10^{-2}$  Па. Опыты проводили в температурном интервале 1050—1250 °С с изменением давления прессования от 0 до 10 МПа.

Пористость и объемную долю наполнителя в нанесенном композите определяли на основании данных по взвешиванию и измерению геометрических размеров. Плотность связки бралась 8,0 г/см<sup>3</sup>, а плотность ВК8 — 14,8 г/см<sup>3</sup> [7]. Структуру покрытий исследовали на растровом электронном микроскопе Superprobe 733. Твердость по Виккерсу определяли на приборе типа ХПО-250.

### Результаты и их обсуждение

При изучении влияния давления и гранулометрического состава на уплотняемость при прессовании порошка ВК8 учитывалось, что толщина композиционного покрытия может меняться от 1 до 4 мм. Соотношение размеров частиц смешиваемых фракций и их долей выбирали на основании того, что при плотной упаковке шаров пористость составляет 26%, при этом поры имеют размер 0,22 и 0,41 от величины шаров [8].

Для прессования использовали пресс-форму с диаметром пуансона 1,5 см. Навески 4,444 и 8,888 г соответствовали получению расчетных высот прессовок 2 и 4 мм с конечной пористостью 25%. Основной была фракция порошка, задержанная на сите с ячейкой 0,25 мм после просеивания через сито с ячейкой 0,5 мм. Сравнивали прессование навесок из основной фракции и с добавками 15 и 25% фракции -0,20 ... +0,125 мм, которая должна заполнять пустоты между частицами основной.

Прессование проводили с цифровой регистрацией кривой усилие—перемещение пуансона при нагружении и разгрузке. Изменение высоты навесок получали после коррекции смещения при нагружении на величину смещения при разгрузке при одинаковых нагрузках. Для этого кривую разгрузки экстраполировали степенным многочленом. Поскольку площадь прессовки остается постоянной, взяв плотность сплава ВК8 равной 14,8 г/см<sup>3</sup> [7], по зависимости высоты прессовки от приложенной нагрузки можно рассчитать кривую, описывающую изменение пористости прессовки в зависимости от приложенного давления. Кривые изменения пористости при прессовании для навесок разной величины и гранулометрического состава представлены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что при расчетной высоте прессовки 2 мм гранулометрический состав сильнее влияет на начальную плотность (плотность утряски) и уплотнение при приложении давления, чем при

высоте 4 мм. Порошки фракций в пресс-форму засыпались послойно.

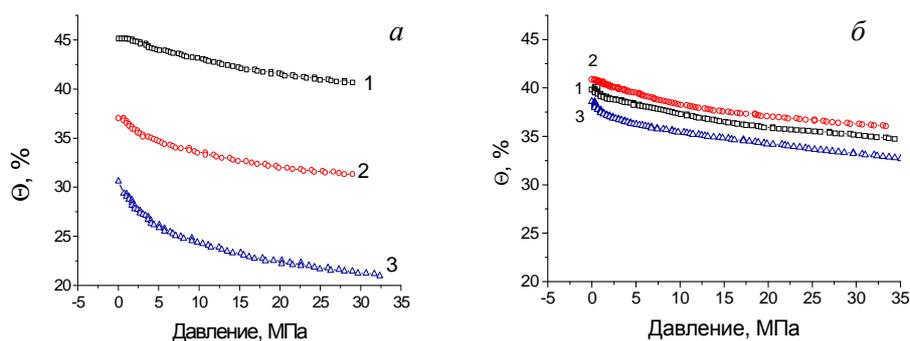


Рис. 1. Зависимость пористости от приложенного давления для высот прессовок 2 (а) и 4 мм (б) и для различных гранулометрических составов. Количество мелкой фракции (%): 1 — 0; 2 — 15; 3 — 25.

Мелкая фракция засыпалась сверху и смешение происходило при постукивании пресс-формы. Факт влияния гранулометрического состава на начальную пористость засыпки порошка в пресс-форме свидетельствует о заполнении мелким порошком пор между частицами крупного порошка. При увеличении толщины слоев смешение происходило хуже и поэтому гранулометрический состав оказывал меньшее влияние на начальную пористость при расчетной высоте навесок 4 мм.

Важным является также факт ухудшения уплотняемости прессовки под давлением с ростом ее высоты. Поскольку высота прессовки в несколько раз меньше ее диаметра, вкладом трения о боковую поверхность пресс-формы можно пренебречь. При высоте прессовки около 2 мм, содержании мелкой фракции 25% и давлении порядка 10 МПа достигается пористость около 24%. Дальнейшее повышение давления приводит к разрушению частиц порошка, о чем свидетельствует появление отсева через сито 0,125, тогда как в исходной шихте все фракции на этом сите задерживались. При большем давлении некоторое уплотнение продолжает происходить за счет разрушения частиц и более плотной упаковки обломков. При этом пористость уменьшается до 21—22%. Наибольшая скорость уплотнения наблюдается при росте давления до 5—6 МПа.

Нагрев до температуры 1200 °С с выдержкой 5 мин порошка припоя и смеси порошков припоя и твердого сплава ВК8 на стальной подложке в вакууме без приложения давления показал, что при плавлении частиц припоя происходит смачивание как подложки, так и частиц твердого сплава. В зависимости от объемной доли, связка может полностью (рис. 2, а) или частично (рис. 2, б) заполнять поры каркаса из частиц ВК8.

Увеличение плотности прессовки достигают применением пластификатора. При прессовании смеси порошков ВК8 и связки при температуре выше температуры плавления последней расплавленная связка оказывает пластифицирующее действие и позволяет увеличить объемную долю ВК8 в композите. Предварительные опыты позволили выбрать температуру прессования 1200 °С и количество добавляемой

в шихту связки — 20% (об.). Зная состав шихты, площадь подложки, высоту и массу нанесенного на подложку слоя шихты, можно определить объем ВК8, приходящийся в покрытии на единицу площади подложки. Считая,

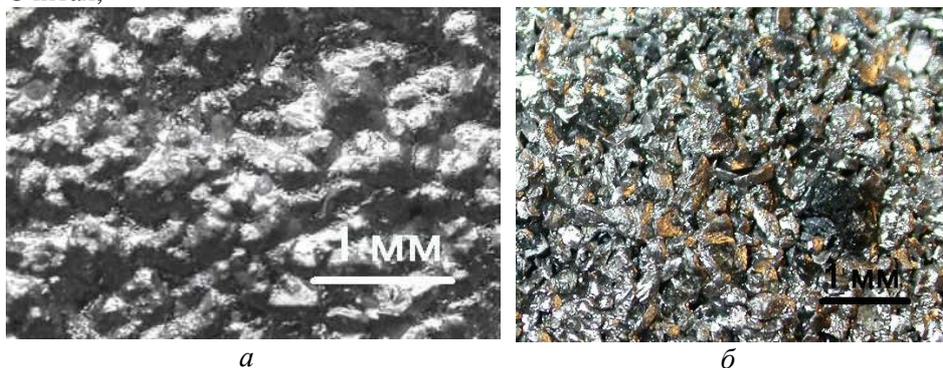


Рис. 2. Вид поверхности композита с содержанием связки 35 (а) и 15% (об.) (б) в смеси после плавления.

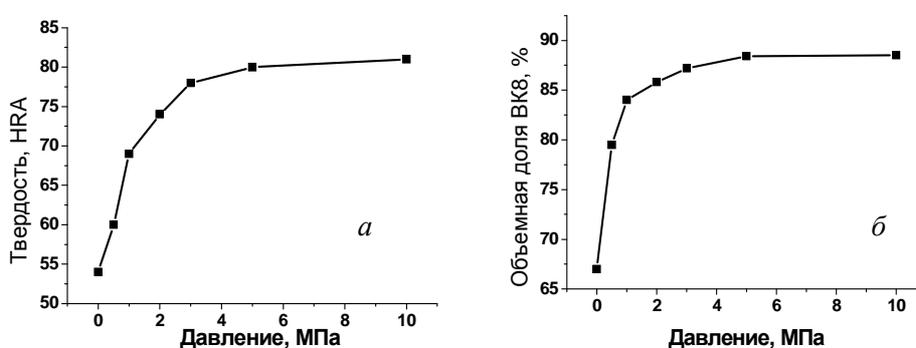


Рис. 3. Зависимость твердости покрытия, полученного горячей напрессовкой (а), и объемной доли сплава ВК8 (б) от давления прессования.

что при прессовании этот объем не меняется, с помощью обмера и взвешивания шлифованного с боков образца после прессования можно определить объемную долю ВК8 в сформированном покрытии.

На рис. 3 показана зависимость твердости композита и объемной доли сплава ВК8 от давления прессования образцов. Рост давления прессования сопровождается увеличением твердости сплава и, в дальнейшем, выходит на насыщение (рис. 3, а). Замедление роста твердости наступает, когда с повышением давления прессования плотность каркаса из ВК8 практически перестает меняться (рис. 3, б). Прессование в присутствии расплавленной связки позволяет увеличить объемную долю частиц ВК8 с 76 до 88% (рис. 3, б), что достигается при сухом прессовании. Жидкая связка является хорошим пластификатором порошка ВК8 при прессовании. Опыты показали, что стягивающее действие расплавленной связки без приложения давления увеличивает объемную долю частиц ВК8 с 58 до 67%. Значение 67% нанесено на рис. 3, б как объемная доля ВК8, достигаемая при нулевом давлении. Вводимое количество связки обеспечивает практически нулевую пористость при всех давлениях прессования (рис. 3, б). Таким образом,

наблюдаемое изменение твердости композита обусловлено только изменением объемной доли наполнителя в композите.

Проведенные исследования позволили получить плотное покрытие с высокой объемной долей ВК8. Микроструктура поперечного сечения покрытия (рис. 4, а) свидетельствует о плотной упаковке частиц твердого

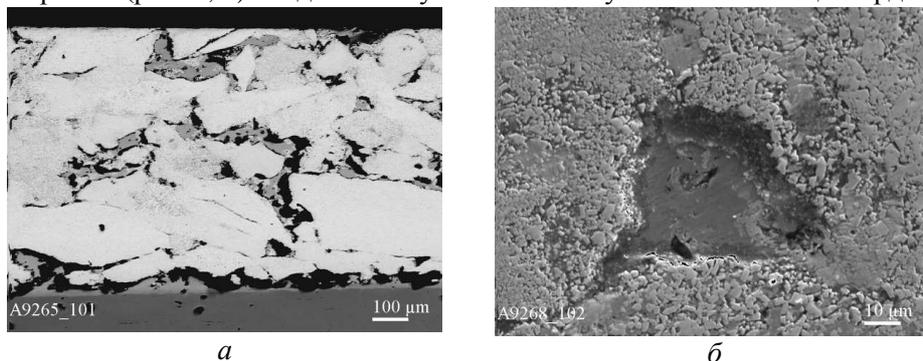


Рис. 4. Структура композиционного покрытия из частиц ВК8 со связкой на основе никеля, полученного горячей напрессовкой.

сплава в композите и подтверждает полученную с помощью измерения и взвешивания пористость каркаса 12—13%. Длинные оси частиц располагаются перпендикулярно направлению приложения давления. Можно сделать вывод о значительном влиянии приложенного давления на расположение частиц ВК8 и хорошее их проскальзывание друг относительно друга при прессовании. Высокая температура процесса, очевидно, может приводить к размягчению кобальта в твердом сплаве. Однако осколочная форма частиц при используемом давлении не изменяется. Наблюдается образование большого числа поверхностей плотноприлегающих частиц. Некоторая деформация поверхности частиц твердого сплава в местах их контакта должна обеспечить “схватывание” частиц, увеличивающее жесткость каркаса. Поры между частицами твердого сплава полностью заполнены связкой.

При большем увеличении видно (рис. 4, б), что связка хорошо смачивает частицы твердого сплава, которые состоят из мелких частиц WC (2—5 мкм) и кобальта. Поры каркаса из частиц твердого сплава заполняются практически полностью. В центре пор в связке иногда встречаются небольшие пустоты, возникшие, очевидно, при ее кристаллизации.

### Выводы

Экспериментально изучено влияние высоты прессовки, гранулометрического состава шихты, давления и наличия жидкой фазы на объемную долю частиц ВК8 в композиционном износостойком покрытии.

Подбором гранулометрического состава и давления удалось уменьшить насыпную пористость порошка ВК8 с 43 до 25% без разрушения частиц. Стягивающее действие жидкой связки из сплава на основе никеля без приложения давления формирует каркас из частиц ВК8 с пористостью порядка 38%. Приложение давления при наличии жидкой связки позволяет уменьшить пористость до 13%.

Твердость композита определяется объемной долей частиц ВК8.

Проведенные исследования позволили получить на стали горячей напрессовкой плотное композиционное покрытие толщиной до 2 мм, в котором связка занимает только 12—12% (об.). При этом частицы наполнителя практически не размягчаются и их укладка происходит за счет проскальзывания.

1. Самсонов Г. В., Бовкун Г. А., Присевок А. Ф. Износостойкость различных классов материалов при абразивном изнашивании // Машиностроение и приборостроение. — 1975. — № 7. — С. 45—52.
2. Андриевский А. Р., Спивак И. И. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе. — Челябинск: Metallургия, 1989. — 368 с.
3. Терехина Т. А., Пирогов С. Я., Соколов В. Ф. Взаимодействие некоторых тугоплавких соединений с Ni—Cr—В—Si-расплавом // Порошковая металлургия. — 1980. — № 8. — С. 53—57.
4. Лисовский А. Ф., Грачева Т. Э., Черепенина Е. С., Манжелев И. В. Формирование структуры твердых сплавов ((Ti, W)—WC—Co) при взаимодействии с металлическими расплавами группы железа // Там же. — 1988. — № 6. — С. 40—44.
5. Ткачев В. Н., Фиштейн Б. М. Образование зоны сплавления при индукционной наплавке твердых сплавов // Автомат. сварка. — 1968. — № 9. — С. 31—35.
6. Клинская—Руденская Н. А., Копысов В. А. Особенности композиционных покрытий на основе Ni—Cr—В—Si-сплава. Исследование микроструктуры покрытий // Физ. и хим. обраб. материалов. — 1995. — № 1. — С. 69—81.
7. Андриевский А. Р., Спивак И. И. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе. — Челябинск: Metallургия, 1989. — 367 с.
8. Бокий Г. Б. Кристаллохимия. — М.: Наука, 1971. — 400 с.