

Исходя из этого можно сделать вывод, что достигнуть повышенного уровня механических и эксплуатационных свойств твердых сплавов возможно посредством оптимизации структуры, за счет вариации таких параметров, как размер исходного порошка, размер карбидных зерен, а также применение ингибиторов роста зерна, чем в настоящее время и занимается лаборатория металлургии твердых сплавов ИТМ НАН Беларуси.

#### Литература

1. Жигалов, А.Н. Теоретические и технологические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания / А. Н. Жигалов. – Минск, 2021.
2. PenriceTW. Alternative binders for hard metals. Carbide Tool J 1988; 20(4):12–5.
3. Sona Kim, Jong-Ku Park иDokyol Lee. Effect of grain motion on the coarsening of WC grains in the carbon-saturated liquid matrix during liquid phase sintering of WC-Co alloys // Scripta Materialia. – 1998. – Vol. 38, N 10. – P. 1563–1569.
4. Определение причины возникновения дефектов микроструктуры твердосплавных изделий / А. А. Жадяев [и др.] // Современ. материалы, техника и технология. – 2020. – № 6 (33). – С. 21–28.
5. Yamamotoa, T. High resolution transmission electron microscopy study in VC-doped WC-Co compound / T. Yamamotoa, Y. Ikuharaa, T. Sakumab // Science and Technology of Advanced Materials. – 2000. – Vol. 1. – P. 97–104.
6. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них : учеб. пособие для вузов / В. С. Панов, А. М. Чувилин. – М. : МИССИС, 2001. – 428 с.
7. Solubilities of grain-growth inhibitors in WC-Co-based cemented carbides: Thermodynamic calculations compared to experimental data / Y. Peng [et al.] // Int. JournalofRefractoryMetalsandHardMaterials. – 2016. – Vol. 61. – P. 121–127.
8. Влияние добавки наноразмерного карбида вольфрама на структуру и свойства спеченного твердого сплава вк10хом / Е. М. Федоров [и др.] // Науч.-техн. ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та. – 2013. – № 3 (178). – С. 156–162.

## МЕТОДЫ ФОРМОВАНИЯ СМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

А. Н. Жариков, Ю. Д. Черняков

*Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов НАН Беларуси», г. Могилев*

Научный руководитель А. Н. Жигалов

*Приведены основные методы формования твердосплавных смесей, отражены их особенности и описана применимость данных методов. Также предложена концепция нового метода.*

**Ключевые слова:** твердый сплав, твердосплавная смесь, металлокерамика, формование, прессование.

Твердый сплав – это материал, обладающий такими свойствами, как высокая твердость, износостойкость, коррозионная и теплостойкость, а также высокий предел прочности при сжатии. Твердый сплав относится к композиционным материалам, в связи с чем его можно описать как матрицу с тугоплавкими ячейками в виде зерен карбида (чаще карбида вольфрама или титана), которые соединены легкоплавким связующим металлом (чаще кобальтом или никелем) [1].

Целью данной работы является представление обзора как по существующим методам формования смесей в процессе изготовления твердосплавных изделий, так

и по методу, разрабатываемому в данное время в Институте технологии металлов НАН Беларуси.

Твердосплавные изделия изготавливают по технологическим процессам порошковой металлургии, включающим в себя такой важный этап как формование твердосплавных смесей. Основными методами формования данных смесей являются [2]:

1. Прессование в жесткой пресс-форме представляет собой процесс формования твердосплавной смеси посредством движения верхнего либо верхнего и нижнего пуансонов навстречу друг другу вдоль рабочего объема матрицы, который заполнен твердосплавной смесью. Результатом данного процесса является компактированная твердосплавная заготовка (прессовка), готовая для последующего этапа создания твердосплавного изделия – спекания. Данный метод является самым распространенным при производстве лезвийного твердосплавного инструмента, но имеет некоторые ограничения по применению: производить прессовки некоторых форм не представляется возможным, прессовки с соотношением длины к диаметру более 4-х можно производить только для изделий, от которых не требуется высокие значения прочностных характеристик и не предъявляются высокие требования по допуску формы и размеров.

2. Последовательно-циклическое прессование, в сущности, представляет собой тот же процесс, что и процесс описанный выше. Отличительной особенностью является то, что компактированную заготовку получают не сразу во всем объеме, а за некоторое количество циклов (постепенное досыпание и прессование порций некоторого объема твердосплавной смеси). Количество циклов зависит от требуемой высоты заготовки. Данный метод наиболее применим для производства твердосплавных стержней с соотношением длины к диаметру большим, чем 4/1.

3. Горячее прессование представляет собой такой метод формования, при котором сжатие твердосплавной смеси происходит в графитовой пресс-форме одновременно с нагревом и как следствие – спеканием. Усадка в таком случае происходит по одному линейному размеру, что позволяет изготавливать изделия сложной формы с высокой точностью размеров и с высокой плотностью. Данный метод более всего подходит для получения крупногабаритных изделий из твердого сплава и для устранения такого дефекта, как коробление уже готовых твердосплавных изделий. Недостатки метода: неровная поверхность изделия, за счет взаимодействия кобальта с графитом пресс-формы, низкий ресурс пресс-инструмента и низкая производительность с большими потерями энергии в виде тепла.

4. Импульсное прессование отличается кратковременным приложением к твердосплавной смеси давления большой величины (около десятков ГПа). Это позволяет достичь высокой скорости перемещения частиц твердосплавной смеси, что приводит к высокой степени уплотнения заготовки. В качестве источников энергии для достижения давлений столь больших величин служат электромагнитные поля импульсного характера, электрогидравлический эффект либо расширяющиеся газы при детонации взрывчатых веществ. Метод имеет существенные недостатки (отсутствие видимой возможности достижения достаточного уровня автоматизации технологического процесса и высокая трудоемкость), которые исключают возможность широкого применения данного метода, и поэтому он применим лишь для изготовления изделий, к которым предъявляются особые требования.

5. Изостатическое прессование представляет собой метод, при котором помещенную в эластичную оболочку твердосплавную смесь либо предварительно спрес-

сованную заготовку погружают в жидкую или газообразную среду, в которой после нагнетается высокое давление (до 2 ГПа), что приводит к равномерному уплотнению частиц твердосплавной смеси. Однако ввиду высокой трудоемкости метод имеет узкое применение. Чаще всего его используют для изготовления твердосплавных изделий сферической формы, а также для снижения пористости готовых спеченных изделий.

6. Вибрационное формование отличается от методов, предполагающих статическое прессование тем, что для увеличения подвижности частиц порошка, снижения сил трения между частицами и между порошком и стенками матрицы, увеличению равномерности распределения плотности по объему прессуемой смеси, данную смесь подвергают вибрационному воздействию. Это позволяет снижать давление прессования до 200 раз. Рассматриваемый метод применяется редко, так как оборудование для реализации данного метода значительно дороже классического.

7. Прокатка порошков – это метод формования твердосплавной смеси, суть которого заключается в подаче твердосплавной смеси из накопителя под действием силы тяжести к валкам, которые, вращаясь в противоположных направлениях, захватывают смесь за счет сил трения, и, уплотняя ее, формируют в ленту толщиной от 0,1 до 7 мм с плотностью от 7,5 до 9,2 г/см<sup>3</sup>. Метод является узкоспециальным и вариация изделий, получаемых с использованием данного метода, не широка.

8. Мундштучное выдавливание – метод, при котором разогретую до пластического состояния твердосплавную смесь с повышенным содержанием пластификатора (парафина) продавливают через подогретый мундштук с заданным профилем. В результате получают стержни, форма сечения которых повторяет форму отверстия мундштука. Метод позволяет производить следующие изделия: заготовки для сверл или фрез, трубки, шары малых диаметров (менее 1 мм), спирали, и др.

9. Литье под давлением (инжекционное формование) предполагает использование твердосплавной смеси с повышенным содержанием пластификатора (парафинвоск). Данная смесь разогревается до состояния жидкотекучести и под давлением около 0,1–0,6 МПа подается в литейную форму, где выдерживается и охлаждается до застывания. Метод чаще всего применяется при изготовлении изделий, конструктив которых предполагает наличие тонких отверстий 20 мкм и менее, реализуемых посредством выставления в литейной форме «проволок – знаков», которые вытаскивают после затвердевания отливки.

10. Шликерное литье реализуется посредством смешивания твердосплавной смеси со специальной жидкостью в пропорции, обеспечивающей состояние суспензии для данной смеси, и заливки ее в форму, изготовленную из материала с высокой пористостью (гипс и др.). После заливки жидкость впитывается в поры, а твердосплавная смесь оседает на стенках формы. Данный метод имеет узкое предназначение, так как является трудозатратным (необходимость изготовления формы, длительное время ожидания выхода жидкости из всего объема смеси). Чаще всего с использованием данного метода изготавливают такие изделия, как стаканы, тигли и трубки.

11. Сварка спеканием под давлением дает возможность получать твердосплавные изделия путем «сваривания» двух и более готовых спеченных твердосплавных заготовок. Для реализации данного метода места стыков заготовок шлифуют и полируют до уровня шероховатости 0,08–0,04 мкм, после чего наносят гальванопокрытие, присыпают металлом-связкой и отправляют на спекание под грузом в защитной

атмосфере. Данным методом изготавливают изделия, форма или размеры которых затрудняют использование других методов.

12. Метод пластифицированных заготовок основан на использовании заранее спрессованных и отожженных заготовок. Данные заготовки пропитываются жидким парафином, что делает их пригодными к лезвийной обработке, после которой заготовки отправляются на депарафинизацию и спекание. Данный метод считается устаревшим ввиду больших потерь сырья, так как до 25 % может уходить в стружку. Однако при изготовлении некоторых изделий сложной геометрии он может быть незаменим.

13. Мокрое прессование как метод представляет собой прессование твердосплавных смесей в жесткой пресс-форме с добавлением небольшого количества жидкости (дистиллированной воды, лучше уайт-спирита). Это позволяет снизить силы трения между частицами порошка, что понижает требуемое давление прессования и повышает плотность спрессованной заготовки, это сокращает время спекания, что, в свою очередь, позволяет сохранить размер карбидных частиц (при содержании кобальта до 6 %). Данный метод применяется редко, так как является низкопроизводительным за счет наличия операции по сушке. Чаще данный метод рассматривают при производстве изделий, которые должны иметь мелкозернистую структуру.

В настоящее время в ИТМ НАН Беларуси разрабатывается метод прессования твердосплавных смесей с одновременным приложением энергии резонансных волн, генерирующихся при аэродинамическом звуковом воздействии. Предполагается, что применение данного метода позволит значительно увеличить подвижность частиц твердосплавной смеси, что, в свою очередь, приведет к снижению требуемого давления прессования и к более равномерному распределению плотности прессовки по всему объему. Снижение требуемого давления прессования позволит уменьшить упругое последствие, что положительно скажется на снижении риска возникновения расслойных трещин и уменьшит вероятность возникновения производственного брака. Более равномерное распределение плотности прессовки по всему объему заготовки будет сопутствовать увеличению равномерности усадки при жидкофазном спекании, тем самым обеспечивая снижение внутренних напряжений в спеченном сплаве, высокие значения которых приводят к понижению стойкости твердосплавного инструмента. А для изделий с соотношением длины к диаметру более 4-х, увеличенная равномерность усадки также способствует снижению вероятности коробления.

Преимуществом разрабатываемого метода по отношению к методу вибрационного формования будет отсутствие потребности в использовании дорогостоящего оборудования и оснастки.

#### Л и т е р а т у р а

1. Жигалов, А. Н. Теоретические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания : монография / А. Н. Жигалов, В. К. Шелег. – Могилев : МГУП, 2019. – 213 с.
2. Панов, В. С. Технология и свойства и область применения спеченных твердых сплавов : учеб. пособие / В. С. Панов, Ж. В. Еремеева. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 148 с. : ил.