

1 Аннотация

Объектом исследований в нашем проекте являются металлокерамические твердые сплавы Wc-Co состоящие из керамической фазы, карбида вольфрама и кобальтовой связки. В качестве входных данных мы принимали микроструктуры которые были оцифрованы в Мисис с помощью оборудования Vega Tescan. Микроскоп с термоэмиссионным вольфрамовым катодом, позволяющий получать СЭМ-изображения и проводить анализ элементного состава в реальном времени. На каждой фотографии присутствует линейка. Ее длина для данного микроскопа 50 μm .

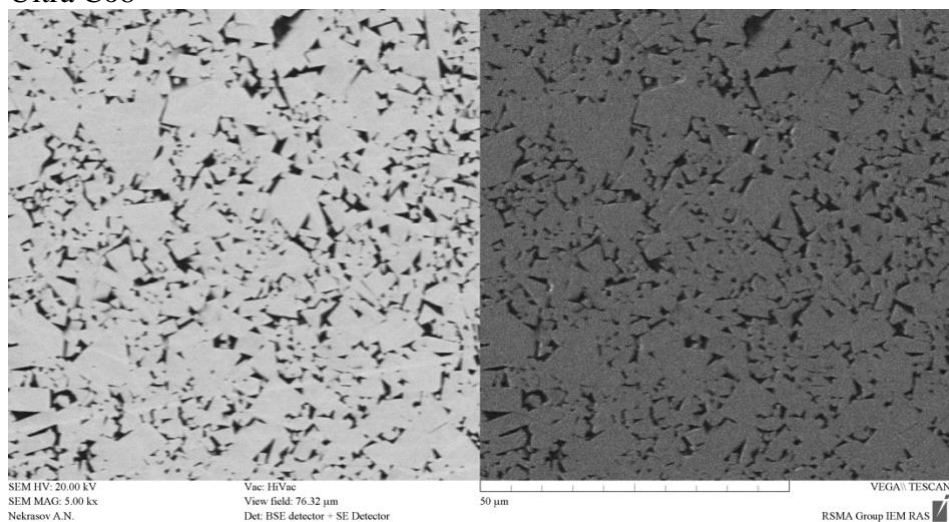
2 О нашем сплаве:

Имеет широкое применение в различных промышленных технологиях.

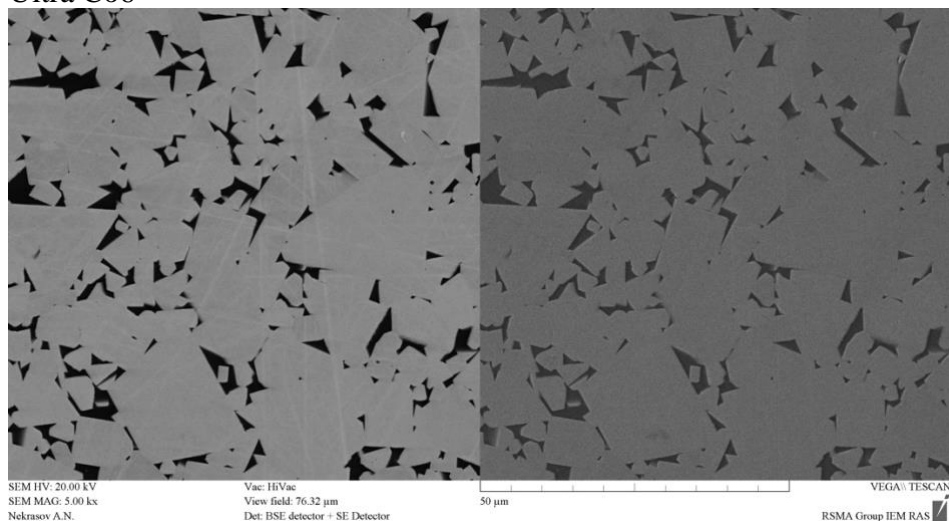
Основным применением остаётся покрытие бурильных головок, сверел и всего того, что предназначено бурить твердые материалы. Сплав сочетает в себе комбинации высокой твердости, износостойкости и прочности, а также присутствует хорошая пластичность и ударная вязкость (на основе Co матрицы).

Например, повышение трещиностойкости твердого сплава определяется пластичностью кобальтовой связки. Сплавы исследовались с различным процентным содержанием, а зерна WC также имеют различную пластичность. На рисунке ниже представлен пример нашей микроструктуры.

Ultra Co8



Ultra Co6



Изображение слева получено на основе отраженных электронов, а справа - на поглощенных.

Отраженные электроны образуются при рассеивании первичных электронов на большие (до 90°) углы в результате однократного упругого рассеивания или в результате многократного рассеивания на малые углы. В конечном итоге первичные электроны, испытав ряд взаимодействий с атомами образца и теряя при этом энергию, изменяют траекторию своего движения и покидают поверхность образца.

Поглощенные электроны. При воздействии зонда часть генерируемых электронов остается в объеме образца. При энергиях первичного пучка 10–20 кэВ примерно 50% от общего числа образующихся вторичных и отраженных электронов достигают поверхности образца и покидают ее. Оставшиеся электроны образуют ток поглощенных электронов. Разрешающая способность при получении изображений в этом случае имеет такой же порядок, как и для отраженных электронов. Данный метод получения изображений используется редко из-за малой разрешающей способности.

Зерно кобальта увидеть нельзя. Количество частичек карбида примерно 300 на одной фотографии.

3 Образование карбидного скелета

На микроструктурах видно, что образуется «карбидный скелет» так как сплав был получен путем жидкофазного спекания, он будет представлять скелет стянутых зерен карбида вольфрама, а в зазорах расположен в виде сквозной сетки твердый раствор на основе кобальта, пронизывающий пространственный скелет карбида вольфрама.

Карбидный скелет (или псевдоскелет) получается потому что почти все границы зерен WC/WC содержат очень тонкие прослойки кобальта с толщиной от одного атомного монослоя до нескольких нанометров. Его наличие показывает, что WC/WC ГЗ характеризуются различными контактными углами с кобальтовой связкой, и только очень немногие ГЗ имеют контактные углы, равные нулю. Чистые границы WC/WC, не содержащие кобальтовой прослойки должны быть достаточно хрупкими.

На начальной стадии спекания карбидных частиц, когда жидкая фаза только что образовалась, имеются три границы: жидкость-газ, твердое тело-газ и жидкость-твердое тело. В этом случае, смачивание WC жидким кобальтом является полным, и уплотнение карбидных частиц до полной плотности происходит очень быстро в результате исчезновения границ жидкость-газ и твердое тело-газ. При этом после завершения начальной стадии спекания в спеченном карбиде вольфрама остаются только границы твердое тело-жидкость, а на границах зерен наблюдается псевдонеполное смачивание. Большие зерна WC растут при спекании за счет растворения мелких зерен WC. При этом между ними не остается толстых слоев кобальта, как это было бы в случае полного смачивания. Вместо этого, они срастаются вместе, образуя "псевдоскелет", включающий очень тонкие пленки-прекурсоры кобальта в несколько нанометров толщиной. Можно ожидать, что состав пленок-прекурсоров значительно отличается от связки в макроскопических прослойках между зернами WC. В частности, хорошо известно, что тонкие прослойки кобальта, расположенные на границах WC/WC, невозможно удалить при химическом вытравливании кобальта из полностью спеченного карбида.

4 «Победиты» и технические требования

Существует множество сплавов карбида вольфрама, другое их название – «победиты». В зависимости от области применения существуют технические требования к твердым сплавам, пример приведен ниже:

| Свойства | СТП ОАО «ВБМ» | ГОСТ 3882-74 | |
|--|--|---|-----------|
| | Сплав ВК10С | ВК11-ВК | ВК10КС |
| Плотность, г/см ³ | 14,43–14,63 | 14,1–14,4 | 14,2–14,6 |
| Твердость, HRA | 87,6–88,4 | ≥ 87,0 | ≥ 85,0 |
| Коэффициент, Э | 70–90 | Не регламентируется | |
| Магнитное насыщение, Гс/Гс ₀ | 140–160 | Не регламентируется | |
| σ _{изл} , МПа | ≥ 2460 | ≥ 1900 | ≥ 1900 |
| Пористость, %, по шкалам | max 0,02 (A1, B0, D0) | max 0,2 (ГОСТ 9391) | |
| Пористость, % (C – свободный углерод) | max 0,1 (C1) | max 0,2 (C2) (ГОСТ 9391) | |
| Микроструктура | 1. Микроструктура должна быть однородной, без наличия η-фазы 2. Не допускается наличие отдельных крупных зерен карбида вольфрама размером > 40 мкм 3. Не допускается скопление β-фазы (компаундирование кобальта) 4. Не допускается наличие примесей другого сорта (сегрегация) | 1. Не допускаются в структуре включения η-фазы 2. Не допускается наличие отдельных крупных зерен карбида вольфрама размером > 50 мкм (ГОСТ 4411) 3. Не регламентируется 4. Не регламентируется | |
| Макроструктура | Поверхность разлома не должна иметь расслоенных трещин, рыхлот, пористости, избытка свободного углерода и η-фазы | Макроструктура должна быть однородной, без посторонних включений и расслоя. Не допускаются поры размером более 100 мкм (ГОСТ 4411) | |

По таблице можно узнать допустимый диапазон каждого свойства, эти значения понадобятся нам для сравнения полученных результатов со шкалой нормы.

Некоторые из свойств наших микроструктур уже определены, таблица представлена ниже:

| Old name | New name | Hc, Oe | Magn.Moment Gcm ³ /g | Vickers Hardness (HV20) |
|--------------------------|-----------------------------------|--------|------------------------------------|----------------------------|
| Ultra_Co8 | Coarse, 8%Co | 91 | 12.1 | 1210 |
| Coarse 25, Ultra_Co25 | Coarse, 10%Co | 99 | 15.3 | 1200 |
| Ultra_Co15 | Coarse 15%Co | 72 | 21.6 | 990 |
| Ultra_Co6_2 | Ultra-coarse, 6.2% Co | 62 | 8.9 | 1100 |
| ultra Co 11 | Ultra-coarse, 6% Co low carbon | 78 | 8.1 | 1180 |

4 Анализ сплава и полученных фотографий

В проекте можно рассмотреть такие физические характеристики сплава, как:

- микротвердость(по Бренеллю)
- ударная вязкость
- кривая наноиндентирования
- износостойкость

В качестве входных данных нейросети можно использовать следующие характеристики частиц карбида, полученные при обработке фотографий:

- количество соседей
- количество и типы дыр между частицами
- несоосность форм
- типы границ

- контактные углы
- распределение по формам (площадь, периметр, углы и тд)
- расположение

Также по микроструктуре можно определить количество зерён, их размер, неоднородность и многое другое.

Список литературы:

<https://powder.misis.ru/jour/article/viewFile/59/56> «О буровых твердых сплавах на основе высокотемпературных карбидов вольфрама» Д.А. Захаров, А.П. Амосов, А.В. Сальников, М.А. Сальников

https://misis.ru/files/7794/Straumal_dis.pdf «Полное, неполное и псевдонеполное смачивание границ зерен твердой и жидкой фазой» Страумал Александр Борисович