

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ТВЕРДОСТИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С КОБАЛЬТ-РЕНИЕВОЙ СВЯЗКОЙ

Адашкин А.М., Широков А.А.

*Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Москва*

Ключевые слова: твердый сплав, кобальт-рениевая связка, предел прочности, твердость.

Аннотация. Установлена корреляционная зависимость с высокой достоверностью между объемным содержанием связки и/или карбидной фазы для твердых сплавов состава «WC+(Re+Co)», с содержанием рения в связке 52-55% масс. Это позволяет аналитически рассчитывать содержание WC, Re, Co в сплавах, предназначенных для различных условий обработки, обеспечивая получение заранее заданных предела прочности и/или твердости.

PREDICTION OF STRENGTH AND HARDNESS OF CARBIDE ALLOYS WITH COBALT-RHENIUM BINDER

Adashkin A.M., Shirokov A.A.

Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow

Keywords: hard alloy, cobalt-rhenium binder, tensile strength, hardness.

Abstract. A correlation has been established with high reliability between the volumetric content of the binder and/or carbide phase for hard alloys of the “WC+(Re+Co)” composition, with a rhenium content in the binder of 52-55 wt%. This makes it possible to analytically calculate the content of WC, Re, Co in alloys intended for various processing conditions, ensuring that predetermined ultimate strength and/or hardness is obtained.

Твердые сплавы, являются основным инструментальным материалом. В обрабатывающих отраслях твердосплавным инструментом снимается до 65% [1] стружки. Свойства и области применения стандартных твердых сплавов ВК (WC+Co), ТК (WC+TiC+Co), ТТК (WC+TiC+TaC+Co) регламентированы ГОСТ 3882-74. Однако эти сплавы не обеспечивают необходимой стойкости инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов из-за недостаточной жаропрочности кобальтовой связки и, как следствие, теплостойкости (сохранении твердости при нагреве) твердых сплавов.

Для обработки труднообрабатываемых материалов: сплавов на основе тугоплавких металлов, жаропрочных, коррозионно-стойких сталей и сплавов (группы «М», «S», «Н» по ГОСТР ИСО 513-2019) целесообразно использовать твердые сплавы с кобальт-рениевой (Co-Re) связкой, обладающей высокой жаропрочностью. Рений – тугоплавкий металл, температура плавления ($T_{пл}$) – 3450°C, упрочнение связки достигается за счет получения легированного твердого раствора – твердорастворное упрочнение. Сплавы с «Co-Re» связкой обладают более высокой твердостью при нагреве, т.е. теплостойкостью. Так, при 800°C твердость сплава ВК8 (92%WC+8%Co) ~ 500 HV, а сплава ВРК15 (85% WC+6%Co+9%Re) 800HV, несмотря на меньшее количество твердой и теплостойкой карбидной фазы в сплаве ВРК15 [2]. Это определяет более

высокую стойкость инструментов из твердых сплавов с «Co-Re» связкой при обработке труднообрабатываемых материалов [2, 3]. Было установлено оптимальное содержание рения в связке: 52-55 масс. % [4]. Однако сплавы разработаны недостаточно. Основными эксплуатационными свойствами твердых сплавов, регламентируемыми и приведенными в ГОСТ 3882-74, являются предел прочности при изгибе ($\sigma_{изг}$) и твердость (H). Для сплавов с «Co-Re» связкой данные по свойствам приведены лишь для небольшого количества сплавов, при этом не всегда оптимального состава. Это не позволяет эффективно использовать сплавы при обработке разных материалов и устанавливать рациональные режимы резания.

Цель работы – установить взаимосвязь между составом сплавов и их твердостью и прочностью. Это позволит разрабатывать (конструировать) сплавы с заранее заданными свойствами.

Исследовали опытные сплавы с «Co-Re» связкой оптимального состава (табл. 1). Определяли предел прочности при изгибе (ГОСТ 290019-74) и твердость по Роквеллу (ГОСТ 9013-59. ИСО 6508-86). Обработку данных выполняли с использованием приложения Microsoft Office Excel.

На основании корреляционного анализа данных таблица 1 были получены следующие зависимости предела прочности ($\sigma_{изг}$) и твердости (H) от объемного содержания связки с высокой достоверностью ($R^2 > 0,9$):

$$\sigma_{изг} = 53,0V_{св} [\% \text{объемн}] + 936,3 = 53(100 - V_k) [\% \text{объемн}] + 936,3 [\text{МПа}];$$

$$R^2 = 0,997;$$

$$H = -0,419V_{св} [\% \text{объемн}] + 93,67 = -0,419(100 - V_k) [\% \text{объемн}] + 93,67 [\text{HRA}];$$

$$R^2 = 0,976.$$

Табл. 1. Состав и свойства исследуемых сплавов

| Состав сплава, % масс | | | Re в связке, % масс | Плотность связки ($\rho_{св}$), г/см ³ | $V_{св}$, % объемн. | $\sigma_{изг}$, МПа | Твердость, HRA |
|--------------------------|-----|-----|---------------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| WC | Re | Co | | | | | |
| 94 | 3,2 | 2,8 | 0,53 | 15,36 | 6,1 | 1260 | 91 |
| 92 | 4,2 | 3,8 | 0,525 | 15,263 | 8,2 | 1372 | 90 |
| 90 | 5,2 | 4,8 | 0,52 | 15,197 | 10,2 | 1485 | 89,5 |
| 87 | 7,0 | 6,0 | 0,54 | 15,426 | 13,2 | 1635 | 88 |
| 86 | 7,5 | 6,5 | 0,54 | 15,426 | 14,2 | 1680 | 88 |
| 84 | 8,5 | 7,5 | 0,53 | 15,36 | 16,3 | 1800 | 87 |
| 82 | 9,5 | 8,5 | 0,53 | 15,36 | 18,1 | 1990 | 86 |

Примечания.

1. Плотность, г/см³: WC – 15,7; Re – 21,02; Co – 8,9.

2. $\rho_{св} = 21,02c + 8,9d$ (для твердых растворов по правилу аддитивности [5]);
содержание в связке, масс %: c-Re в связке; d- Co.

Объемные количества связующего и карбидной фазы зависят от плотности карбидной фазы и связки и их массового содержания, т.е. являются

обобщенными показателями состава и структуры твердых сплавов и определяют их свойства.

Пусть « m » – масса сплава; « a » и « b » – содержание (масс. %) карбидной фазы и связки, соответственно; « ρ_k » и « ρ_{cb} » – плотность карбидной фазы и связки (г/см^3), тогда:

$$V_k = \frac{ma}{\rho_k}; V_{cb} = \frac{mb}{\rho_{cb}}, \text{ т. е. } \frac{V_{cb}}{V_k} = \frac{mb}{\rho_{cb}} : \frac{ma}{\rho_k} = \frac{b\rho_k}{a\rho_{cb}}.$$

При известном составе сплава V_{cb} и V_k определяются решением следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{V_{cb}}{V_k} = \frac{b\rho_k}{a\rho_{cb}}; \\ V_{cb} + V_k = 1. \end{cases}$$

Следовательно:

$$V_k = \frac{a\rho_{cb}}{b\rho_k} : \left(\frac{a\rho_{cb}}{b\rho_k} + 1 \right); \quad (3)$$

$$V_{cb} = 1 : \left(\frac{a\rho_{cb}}{b\rho_k} + 1 \right). \quad (4)$$

Их решение позволяет прогнозировать твердость и прочность сплавов.

При разработке состава сплава с заданными свойствами (например, предел прочности) необходимо решить обратную задачу, а именно по вычисленному V_{cb} (формула 1) определить состав сплава. Массовое содержание карбидной фазы (a) и связки (b) определяется решением следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{V_{cb}}{V_k} = \frac{b\rho_k}{a\rho_{cb}}; \\ a + b = 1. \end{cases}$$

Следовательно:

$$a_p = \frac{V_k\rho_k}{V_{cb}\rho_{cb}} : \left(\frac{V_k\rho_k}{V_{cb}\rho_{cb}} + 1 \right); \quad (5)$$

$$b_p = 1 : \left(\frac{V_k\rho_k}{V_{cb}\rho_{cb}} + 1 \right). \quad (6)$$

Проверка метода: разработка состава твердого сплава с $\sigma_{изг}=1300$ МПа:

- 1) $V_{cbp}=6,86$ % объемн. (формула 1);
 - 2) $b_p=6,666$ % масс. (формула 6);
 - 3) назначаем массовое содержание связки: $b_{факт}=7$ % масс;
 - 4) массовая доля карбидной фазы: $a_{факт}=100-b_{факт}=93$ % масс
 - 5) выбор состава связки: 3,7% Re+3,3%Co (52,8% Re в связке; $\rho_{cb}=15,3$ г/см^3);
 - 6) $V_{cb, факт}=7,17$ % объемн. (формула 4).
 - 7) $\sigma_{изг}=1316$ МПа (формула 1).
- Состав сплава: 93% WC; 3,7% Re+3,3%Co.

В таблице 2 приведены фактические значения предела прочности экспериментального сплава и показана погрешность относительно заданного предела прочности (1300 МПа).

Табл. 2. Предел прочности сплава 93% WC; 3,7% Re+3,3%Co.

| | | | |
|------------------------------|------|------|------|
| $\sigma_{изг}$, МПа | 1250 | 1320 | 1420 |
| Количество образцов, шт | 1 | 3 | 1 |
| Среднее $\sigma_{изг}$, МПа | 1326 | | |
| Относительная погрешность, % | 2,0 | | |

Заключение. Разработана методика прогнозирования свойств твердых сплавов «WC+(Re+Co)» Получено надежное совпадение расчетных данных и практических результатов. Это позволяет определять составы (конструировать) твердые сплавы с заранее заданными свойствами для различных условий обработки.

Список литературы

1. Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов. – М.: Высшая школа, 2009. 535 с.
2. Чапорова И.Н., Кудрявцева В.И., Сапронова З.Н. Исследования структуры и свойств сплавов системы «W-C-Re-Co» ВНИИТС научные труды // Сборник «Качество и эффективность применения твердых сплавов». – М.: Metallurgia, 1984. – С. 7-9.
3. Адашкин А.М., Бутрим В.Н., Верещака А.С. Влияние свойств твердого сплава на износостойкость твердосплавного инструмента с покрытием при обработке жаропрочного сплава на основе хром // СТИН. – 2016. – № 3. – С. 20-24.
4. Патент №2521747 РФ. Твердый сплав на основе карбида вольфрама для обработки резанием труднообрабатываемых материалов / А.М. Адашкин, В.Н. Бутрим, А.А. Верещака, А.С. Верещака, В.В. Каширцев, К.В. Крючков, А.М. Дембицкий. – Заявка №2012153429/02 от 12.12.2012; опубл. 10.07.2014, Бюл. №19.
5. Лифшиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Metallurgia, 1980. – 320 с.

Сведения об авторах:

Адашкин Анатолий Матвеевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Композиционные материалы»;
Широков Александр Александрович – старший преподаватель кафедры «Композиционные материалы».