

**Practical significance.** A comprehensive account of the impact of various factors on the stress-strain state of the rubberized traction body allows determining the loss of tractive capacity in operation on the hoisting or transporting machine. The results should be taken into account in the design and operation of hoisting and transporting machines with flat traction bodies.

**Keywords:** *hoisting and transporting machine, flat rubber-cable tractive body, design and mechanical parameters, stress-strain state, complete the impact of various factors, the principle of superposition*

УДК 621.787: 621.7.044.2: 669.018.25

© Ю.В. Савченко

## ВЛИЯНИЕ НИКЕЛЯ НА ПРОЧНОСТЬ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВОГО СПЛАВА

© Iu. Savchenko

## EFFECT OF NICKEL ON THE STRENGTH OF A REGENERATED TUNGSTEN-COBALT ALLOY

Разработаны твердые сплавы системы карбид вольфрама-никель-кобальт с различным содержанием компонентов по сравнению с традиционно применяемыми вольфрамокобальтовыми сплавами, которые при наличии одинакового процента связки обладают повышенной твердостью и пределом прочности при изгибе и благодаря этому повышенной износостойкостью.

Розроблено тверді сплави системи карбід вольфраму-нікель-кобальт з різним вмістом компонентів у порівнянні з традиційно застосовуваними вольфрамокобальтовими сплавами, які при наявності однакового відсотка зв'язки мають підвищену твердість і межею міцності при вигині і завдяки цьому підвищену зносостійкість.

### **Определение научной проблемы и ее значение.**

Разработка и производство боеприпасов интенсивно велись в военное и послевоенное время. На войсковых складах и в арсеналах страны скопилось громадное их количество, в т.ч. более 1,6 млн. тонн подлежат утилизации [1]. Если устаревшие боеприпасы оказались ненужными, то их компоненты, в частности высококачественные металлы, вполне пригодны для использования (рис. 1.). Разработана промышленная высокоэффективная технология производства режущего, разрушающего и формообразующего инструмента из вольфрамокобальтовых и вольфрамоникелевых сплавов путём прямой регенерации вторичного сырья без использования термохимических и металлургических методов [2].

Материаловедческие исследования сплавов карбида вольфрама с кобальтом, никелем и железом проводятся, начиная с 1926 г, когда появился этот класс материалов. Наиболее удачным оказалось применение кобальта как связующей фазы. Поэтому кобальтовой связке посвящено наибольшее количество работ по твердым сплавам [3,4,5] Повышенный интерес в последнее время вызывают твердые сплавы системы карбид  $WC+Ni$ . Это связано с необходимостью замены постоянно дорожающего кобальта более дешевым и менее дефицитным никелем [6]. Следует отметить, что, несмотря на относительно более низкие механические свойства твердых сплавов  $WC+Ni$  [5, 7], они нашли применение в областях техники, где необходима коррозионная стойкость [8] и в точном приборостроении благодаря своей немагнитности [9].



Рис. 1. Устаревшие боеприпасы

#### **Анализ исследований проблемы и публикации.**

Полученные порошки сплава ВН не имеют широкого товарного спроса, но они могут использоваться для изготовления новых конструкций сердечников снарядов. Для массового использования порошков типа  $WC+Ni$  для резцов породоразрушающего инструмента, оправок-заготовок, волок-заготовок и фильер для волочения проволоки и труб из чёрных и цветных металлов разработаны композиции с новыми свойствами.

#### **Цели и задачи статьи.**

С целью экономии кобальта и повышения физико-механических характеристик мелкодисперсных твердых сплавов получить новый вольфрамосодержащий твёрдый сплав, в качестве связки применить одновременно кобальт и никель в разных процентных содержаниях.

#### **Изложение основного материала.**

В качестве исходного сырья применяется конверсионный лом из сплавов ВН5, ВН8 и ВН10 (рис. 2). Химический состав лома приведен в таблице 1.

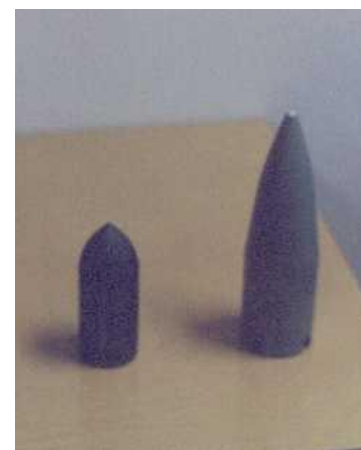


Рис.2. Лом из сплавов ВН

Размол крупки производился в шаровой мельнице ММР 70/110 ёмкостью 380 л и вибромельнице. Размер крупки был классифицирован по фракциям -1мм, -2+1мм, -3+2мм. Режимы размол крупки ВН10 в вибромельнице представлены в таблице 2.

Таблица 1

## Химический состав лома

Элемент	Содержание	Элемент	Содержание
C	4.5	Ni	8.9
O <sub>2</sub>	0.24	Mo	0.09
V	0.012	Sn	0.03
Fe	0.04	W	остальное

Таблица 2

## Режимы размола крупки ВН10 в вибромельнице

Наименование оборудования	Марка смеси	Масса шаров, кг	Масса шихты, кг		Кол-во спирта, л	Продолжительность размола, час	Выход смеси по массе, %
			ВН	Со			
Шаровая мельница V= 380 л	ВН8	1200	320	3	170	20	97
Вибромельница горизонтальная, V=1 л	ВН10	3	0,4		0,5	48	60
	ВН15	3	0,36	0,017	0,5	30	60
Вибромельница вертикальная, V=1 л	ВН8	5	0,5		0,5	1	75

Высушенную смесь просеивали через капроновое сито № 58-61 ГОСТ 4403-77. Отсевы представляли собой окатанные твёрдосплавные частицы фракции до 0,9мм.

Из полученных смесей прессовали штабики 35x5x5 мм для определения физико-механических свойств по ГОСТ 3882-74. Зернистость контролировали оптическим методом на микроскопе МИМ-8. Зернистость смеси приведена в таблице 3. Затем полученную смесь дошихтовывали кобальтом металлическим по ТИ 48-4203-01-11-86 из расчёта получения сплава с суммарным содержанием никеля и кобальта 14,5% по аналогу со сплавом ВК15 по ГОСТ 3882-74.

Таблица 3

## Зернистость смеси

Наименование оборудования	Марка смеси	Кобальт, %	Никель, %	Продолжительность размола, час	Размер зерна, мкм			Примечание
					Основная масса зёрен	1,5-2	более 2	
Шаровая мельница V= 380 л	ВКН8	5,54	2,25	20	0,5-1,0	до 3%	до 0.5%	основана ВК6
Вибромельница горизонтальная, V=1 л	ВНК15	5,6	8,9	30	0,3-0,8	до 5%	до 0.5%	
	ВН10		8,9	48	0,5-1,2	до 10%	до 3%	
Вибромельница вертикальная, V=1 л	ВН10		8,9	1	0,5-1,0	до 10%	до 2%	

Спрессованные изделия сушили в электрошкафу при температуре 120÷150°C в течении 12 часов. Высушенные изделия спекали в вакуумной печи СЭНВЭ 3.6/20И1 по режиму, указанному в таблице 4.

Таблица 4

## Режимы спекания в вакуумной печи

Наименование оборудования	Остаточное давление, мм.рт.ст	Скорость подъёма температуры, °С/мин	Температура спекания, °С	Продолжительность выдержки при температуре спекания, мин
Печь вакуумная СЭВЭ 3.6/20И1	$1 \times 10^{-2}$	3	1450	50

На спеченных изделиях определяли физико-механические свойства по параметрам, указанным в ГОСТ 3882-74. Результаты испытаний штабиков указаны в таблице 5.

Таблица 5

## Физико-механические свойства регенерированных сплавов

Марка сплава	Предел прочности при изгибе, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твёрдость, НРА	Вид виброизмельчения
ВН10	1519 (155)	14,02	85,0	горизонтальная
ВНК15	1627 (166)	13,45	87,5	
ВН10	1559 (159)	14,04	84,5	вертикальная

Металлографические исследования проведены по ГОСТ 9391-80.

Сплав двухфазный. Пористость по объёму составляет – 0,15-0,2%. Размер пор до 10 мкм. Фаза типа  $\eta_1$  (сложный карбид  $W_3Co_3C$ ) отсутствует. Связка никель +кобальт распределена равномерно. Толщина прослойки 0,5-1,5 мкм, встречается до 3 мкм. Зернистость равномерная, основная масса зёрен 1-3мкм, отдельные зёрна до 15 мкм. По ГОСТ 4872-75 присутствие крупных зёрен больше 20 мкм для сплавов группы ВК не допускается.

Металлографический анализ показывает, что хотя сплавы производились по разным технологическим режимам и отличаются по содержанию связки, они соответствуют требованиям, предъявляемым к твёрдым сплавам. Положительное влияние добавки кобальта в смесь подтверждается повышенными физико-механическими свойствами сплава ВНК, приведенными в таблице 5.

Полученная в результате 40-часового размола в шаровой мельнице в спиртовой среде смесь с содержанием кобальта 5,6% ( $d_{cp}=075$  мкм), была дошихтована порошком никеля (ПНК) до суммарного содержания связующей 8%. Это произведено для обеспечения возможности сравнения со стандартным сплавом ВК8. Результаты химического анализа полученной смеси даны в таблице 6.

Таблица 6

## Химический анализ регенерированной смеси

$C_{общ}$	$C_{св}$	Co	Ni	Fe
5,49	0,08	5,54	2,25	0,25

Спекание штабиков и режущих форм производилось по режиму: температура выдержки при максимальной температуре спекания - 1385°C,

длительность – 45 мин – серия 1, температура выдержки при максимальной температуре спекания - 1395°C, длительность – 40 мин – серия 2. Спекание производилось в печах ОКБ 8086.

Физико-механические свойства полученного сплава определялись согласно ГОСТов 3882-91, 20017 (определение твёрдости по Роквеллу), 20018 (определение плотности), 20019 (определение прочности при изгибе), 9391-80 (определение микроструктуры). Полученные результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7

Физико-механические свойства регенерированного сплава

Марка сплава	Предел прочности при изгибе, кгс/мм <sup>2</sup>	Твёрдость, HRA	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент резания	Примечание
ВК6Н2	145	96,5	14,7	2,6	серия 1
ВК6Н2	188 (max 200)	89	14,4-14,7	1,9	серия 2
ВК8	170	88	14,5-14,8	1	ГОСТ 3882-91

Макроструктура сплава удовлетворительная.

Следует отметить, что существенное влияние на свойства регенерированных твердых сплавов оказывают условия размола смесей. Так, после 20-х часового сухого размола твердость сплава увеличивается примерно на 1 ед. HRA, однако малокобальтовые сплавы имеют пористость до 0,4 % (по объему). Увеличение длительности сухого размола не способствует уменьшению пористости. Применение мокрого размола в течение 20 ч обеспечивает получение сплавов пористостью 0,1 - 0,2 %, что допускается ГОСТом, при этом не наблюдается повышения твердости по сравнению с сухим размолом.

В регенерированных смесях содержание кобальта соответствует его содержанию в исходном ломе, содержание связанного углерода - стехиометрическому содержанию для каждой марки сплава, содержание свободного углерода не превышает 0,1 %, а физико-механические свойства спеченных сплавов удовлетворяют требованиям ГОСТ 3882-74, предъявляемым к стандартным сплавам соответствующих марок.

С целью выбора оптимального соотношения кобальта к никелю были изготовлены вольфрам содержащие сплавы с различным содержанием связки.

Для нахождения оптимальных режимов был применен статистический метод планирования эксперимента. В качестве входных переменных были выбраны следующие:  $x_1$  – процентное содержание кобальта  $7,5 \pm 7,5$ ,  $x_2$  –

процентное содержание никеля  $6 \pm 4$ ;  $x_3$  – плотность сплава  $14,05 \text{ г/см}^3 \pm 0,81$ ;  $x_4$  – твёрдость HRA  $91,25 \pm 5,25$ .

Матрица планируемого эксперимента была составлена по полному факторному эксперименту  $2^4$ . В качестве критерия оптимизации выбран предел прочности при изгибе,  $\text{кг/мм}^2$  ( $Y$ ). Опыты проводили в вакуумной печи. Дисперсия воспроизводимости опытов составила  $s_y^2 = 7.41$ , среднеквадратичная ошибка опыта  $S_y = 2,72$ ; коэффициенты регрессии:  $B_0 = 66,68$ ,  $B_1 = 6,525$ ,  $B_2 = -12,85$ ;  $B_3 = -7,125$ ,  $B_4 = -6,7$ ,  $B_5 = -2,8$ ; доверительный интервал при  $\alpha = 0,05$ ,  $N = 8$ ,  $\Delta b_i = \pm 2.22$ . Линейная модель (кодовая):  $Y = 66.68 + 6.525 x_1 - 12.85 x_2 - 7.125 x_3 - 6.7 x_4 - 2,8 x_5$

Гипотеза об адекватности не отвергается, так как  $F_{\text{расч}} = 9.1 < F_{\text{табл}} = 19.0$ .

Натуральная модель:  $P = 318.52 + 3.263C_o - 0.257Ni - 0.2375\rho - 0.983HRA$ , где  $P$  — предел прочности при изгибе,  $\text{кг/мм}^2$ ;  $C_o$  — процентное содержание кобальта, %;  $Ni$  — процентное содержание никеля, %,  $\rho$  — плотность сплава,  $\text{г/см}^3$ ;  $HRA$  — твёрдость HRA.

Из этой модели видно, что для увеличения предела прочности при изгибе необходимо выбирать связку в отношении никель к кобальту 0,5-0,6.

### **Выводы и перспективы дальнейших исследований.**

Установлено, что в регенерированных смесях содержание кобальта соответствует его содержанию в исходном ломе, содержание связанного углерода - стехиометрическому содержанию для каждой марки сплава, содержание свободного углерода не превышает 0,1 %, а физико-механические свойства спеченных сплавов удовлетворяют требованиям ГОСТ 3882-74, предъявляемым к стандартным сплавам соответствующих марок. Для увеличения предела прочности при изгибе необходимо выбирать связку в отношении никель к кобальту 0,5-0,6. Разработаны твердые сплавы системы карбид вольфрама-никель-кобальт с различным содержанием компонентов по сравнению с традиционно применяемыми вольфра-мокобальтовыми сплавами при наличии одинакового процента связки обладают повышенной твёрдостью и пределом прочности при изгибе и благодаря этому повышенной износостойкостью.

### **Перечень ссылок**

1. Shikunov V. (1997) Novaya zhizn' korpusov snaryadov - Voennyu parad, Moskva. - 7, 37-39.
2. Iu. Savchenko, A. Gurenko, O. Naumenko. (2016) Cutting-edge industrial technology of mining tool manufacturing - Mining of Mineral Deposits. – 10(4), 105-110.  
<https://doi.org/10.15407/mining10.04.105>
3. Kreymer, G. (1971). Prochnost' tverdykh splavov. M: Metallurgiya, 247.
4. Chaporova I. N., Chernyavskiy K. S. (1975) Struktura spechennykh tverdykh splavov. M. Metallurgiya, 248.
5. Tret'yakov V. I. (1976). Osnovy metallovedeniya i tekhnologii proizvodstva spechennykh tverdykh splavov. M.: Metallurgiya. 528 r.
6. Tracey V. A. Hall N. (1980) //V. Short Note: Nickel Matrices in Cemented Carbides // Powder Metal. Int. 12(3), 132—133.

7. Suzuki H., Hayashi K. (1981) Takashima Y., Nakayama F. Mechanical Properties of Ni-Bonded WC Base Cemented Carbides at Elevated Temperatures//J. Jap. Soc. Powder and Powder Met. – 28(2), 61—66.
8. Ekemar S. Lindholm L, Hartzell T(1982). Nickel as a Binder in WC-Based Cemented Carbides//Int. Refractory & Hard Metals – 1(1), 37—40.
9. Agababova V. M., Chaporova I. N., Presnyakova A. F. i dr. (1976) Nemagnitnye korrozionno-stoykie tverdye splavy WC—Ni // Tverdye splavy i tugoplavkie metally: Sb. nauch. tr. VNIITS. - M.: Metallurgiya, - 16, 326—330.

#### **ABSTRACT**

**Purpose.** To make sintered alloys with different contents of cobalt and nickel cords. To find the optimal modes, apply the statistical method of experiment planning.

**The method.** As a research technique, tungsten-containing alloys with different binder contents were made in the present work. To find the optimal regimes, a statistical method of experiment planning was used.

**Findings.** The solid alloys of the tungsten-nickel-cobalt carbide system with a different content of components with increased hardness and bending strength and due to this increased wear resistance are developed.

**The originality.** Fundamental way of shock wave treatment to stimulate destruction of powder product of any configuration in order to obtain a high quality powder for further formation, sintering and tool manufacturing of multiple use is demonstrated; ecologically friendly technology of hard alloys and cermet components of outdated military hardware and ammunition recycling.

**Practical implications.** In the regenerated mixtures, the cobalt content corresponds to its content in the original scrap, the content of bound carbon is to the stoichiometric content for each alloy grade. To increase the flexural strength, it is necessary to choose a binder with respect to nickel to cobalt 0.5-0.6.

**Keywords:** *tungsten, cobalt, tool, hard alloy, metal ceramics, recycling, heterogeneous medium, defect formation*