

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №3
«Дослідження структури і властивостей твердих сплавів» з
дисципліни «Зносостійкі, фрикційні та антифрикційні матеріали» для
студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення
зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №3 «Дослідження структури і властивостей твердих сплавів» з дисципліни «Зносостійкі, фрикційні та антифрикційні матеріали» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання /Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. - 18 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент

О.Є. Капустян, старш. викл.;

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол № 1 від 22.08.2017

Рекомендовано до видання

НМК ІФФ

Протокол № 1 від 19.09.2017

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
2.1 Історія створення твердих сплавів і їх основні властивості	4
2.2 Класифікація сучасних твердих сплавів.....	5
2.2.1 Класифікація марок твердих сплавів за ISO.....	9
2.2.2 Класифікація сплавів за областями застосування	10
2.3 Структура, основні фізичні і механічні властивості твердих сплавів.....	11
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ.....	15
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ.....	16
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	16
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	16
7 ЗМІСТ ЗВІТУ	16
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	17

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчити механічні властивості твердих сплавів при кімнатних і підвищених температурах і дослідити їх зносостійкість при абразивному зношуванні в порівнянні з раніше вивченими інструментальними сталями.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Тверді сплави -це композиційні матеріали особливого класу, які мають високу твердість, зносостійкість і міцність, що зберігаються при порівняно високих температурах (600...800° С). Коротко можна визначити їх як композити з тугоплавкого з'єднання, як правило, карбіду і, порівняно "легкоплавкого" металу зв'язування.

2.1 Історія створення твердих сплавів і їх основні властивості

Розвиток і вдосконалення технологічних процесів у багатьох галузях промисловості нерозривно пов'язані із застосуванням твердих сплавів, що сприяє суттєвому підвищенню експлуатаційних характеристик інструменту і продуктивності праці.

Сучасні тверді сплави отримують з карбідів тугоплавких металів (> 50 % за обсягом) і металів залізної групи спіканням в присутності рідкої фази. Основою спечених твердих сплавів є тугоплавкі і тверді металоподібні речовини. Фази впровадження, хоча вони містять до 50...60 % неметалічних атомів, мають яскраво виражені металеві властивості: блищать, проводять електричний струм, їх електроопір падає з підвищенням температури. Карбіди металів IV-VI груп періодичної системи елементів, що відносяться до фаз впровадження, мають високі температури плавлення, досить тверді, їх модулі Юнга великі, а коефіцієнти термічного розширення малі. Вони характеризуються підвищеною крихкістю і низькими значеннями міцності і пластичності.

Добавка до цих сполук металу групи заліза дозволяє практично зберегти багато їх властивостей та істотно знизити крихкість [3].

Так, спечені тверді сплави WC-Co і WC - TiC-Co мають твердість 86-92 HRA, високий опір зношуванню при терті о метали і неметали, модуль пружності 500 ... 700 ГПа, межа міцності на стиск 4000...6000 Н/мм², межа міцності при вигині 1000 ... 2500 Н/мм². У хімічному відношенні тверді сплави досить стійкі проти впливу кислот і лугів, деякі марки практично не окислюються на повітрі до 600...800° С. Ці властивості і визначають широкі області застосування твердих сплавів. Основне їх призначення викладено в ГОСТ 3882-74.

Поява твердих сплавів у 1909 р. пов'язана з вимогами металообробної промисловості для обробки нових марок сталей і сплавів. На початку з'явилися, так звані, стеліти-сплави на основі кобальту (> 50 %), хрому (~ 30 %) з добавками вольфраму і вуглецю, одержувані литтем. Потім з'явилися литі карбіди вольфраму для наварювання на буровий інструмент і як зносостійке покриття. Перші литі карбіди були здебільшого пористими. Німецький фахівець Г. Ломан намагався поліпшити їх властивості за рахунок подрібнення в тонкий порошок, пресування і нагріву відформованих заготовок (волок) майже до температури плавлення. З цих виробів, виготовлених Ломаном у 1914 р. методом порошкової металургії, починається розвиток спечених твердих сплавів.

Подальшому розвитку твердих сплавів сприяли два прогресивних напрями в техніці: поява нового методу виготовлення виробів з тугоплавких металів - порошкової металургії і розробка способів отримання досить твердих "металоподібних" речовин - карбідів. Метод порошкової металургії залишається єдиною можливістю, коли потрібно створити сплави, що складаються з компонентів, які значно розрізняються за температурою плавлення.

2.2 Класифікація сучасних твердих сплавів

Сучасні спечені тверді сплави можна класифікувати за складом на чотири основні групи:

— сплави WC-Co (деякі марки сплавів цієї групи містять

невеликі добавки інших карбідів - ванадію, ніобію, танталу, хрому);

- сплави WC-TiC-Co;
- сплави WC-TiC-TaC (NbC) -Co;
- безвольфрамові (БВТС) тверді сплави TiC (TiN) -Ni-Mo.

Сплави WC-Co найбільш міцні з відомих спечених твердих сплавів, але недостатньо тверді і зносостійкі. Промислові марки сплавів цієї групи розрізняються за вмістом кобальту 3 ... 25 % (BK3-BK25). За розміром зерна фази карбіду всередині групи сплавів поділяються на особливодрібнозернисті (ОМ), дрібнозернисті (М), середньозернисті, грубозернисті (В), особливокрупнозернисті (К, КС, С). Так, є BK6-ОМ, BK6-М, BK6, BK6-В, BK6-КС, BK6-С. Залежно від вмісту кобальту сплави цієї групи можна умовно розділити на три підгрупи: малокобальтові (3 ... 8 % Co), середньокобальтові (10...15 % Co), висококобальтові (20 ... 25 % Co).

Сплави першої підгрупи, як найбільш тверді і недостатньо міцні, застосовуються головним чином для обробки різанням чавуну, неметалічних матеріалів, деяких видів сталей і жароміцних сплавів, для оснащення волочильного інструменту, деяких гірських інструментів для буріння м'яких порід, зубків врубних машин, коронок обертального буріння.

Сплави другої підгрупи застосовують в умовах помірного ударного навантаження, головним чином при чорновому точінні чавунів високої твердості і жароміцних сплавів, при перфораторному бурінні міцних порід, частково для оснащення інструменту по обробці металів висадкою і штампуванням, для оснащення інструментів при обробці різанням сталей. Ці сплави вигідно відрізняються від сплавів WC-Co своєю властивістю в значно більшому ступені опиратися при високій температурі (через велику швидкість різання) утворенню "лунки" на передній поверхні різця під впливом безперервно ковзаючої по ній «зливної» сталевої стружки, що і забезпечує велику стійкість різця від зношування, в порівнянні зі сплавами WC-Co. Разом з тим ці сплави менш міцні, але більш тверді і окалиностійкі, ніж сплави WC-Co. Температура знеміцнення цих сплавів істотно вище, ніж у WC-Co.

Сплави третьої підгрупи, як найбільш міцні і "пластичні", але недостатньо тверді (багато кобальту) застосовують для оснащення штампового інструменту, що працює в умовах ударного

навантаження.

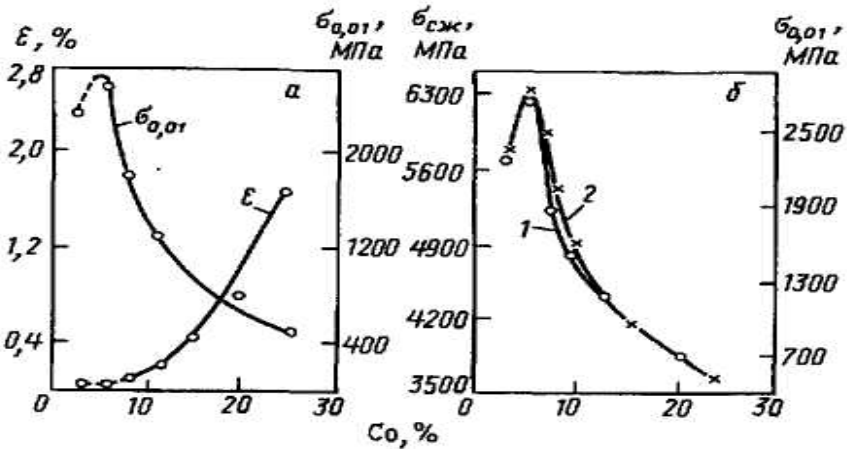


Рисунок 2.1 - Залежність умовної границі плинності при стисканні ($\sigma_{0,01}$), залишкової деформації (ϵ) при тиску 3000 МПа (а), межі міцності при стисканні (крива 1) і умовної межі плинності (крива 2) від вмісту кобальту для сплавів WC-Co (б)

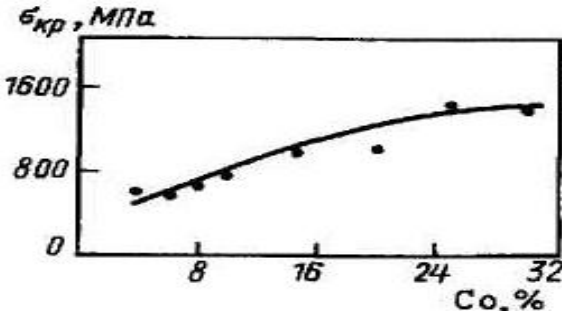


Рисунок 2.2 - Залежність межі міцності при крученні сплавів WC-Co від вмісту кобальту

За вмістом карбіду титану і умов експлуатації, сплави WC-TiC-Co умовно можна розділити на три підгрупи:

- малотитанові сплави (5 ... 10 % TiC, T5K10), найбільш міцні і менш тверді, використовуються при обробці різанням сталі у важких умовах з ударом (чорнове точіння, стругання);
- середнетитанові сплави (10 ... 20 % TiC, T15K6), застосовують у менш важких умовах експлуатації;

— багатотитанові сплави (25 ... 60 % TiC, T30K4, T60K6) - характеризуються високою твердістю і низькою міцністю, застосовуються при знятті стружки малих перетинів і при роботі без ударів при великих швидкостях різання (чистове точіння). Збільшення вмісту карбіду титану в цих сплавах (кобальт - const) призводить до підвищення зносостійкості сплаву і одночасно до падіння міцності.

Сплави групи WC-TiC-TaC (NbC)-Co застосовуються головним чином для обробки різанням. Промислові сплави цієї групи містять, як правило, 5 ... 15 % TiC, 2 ... 20 % TaC (NbC), 5 ... 15 % Co, інше WC. Умовно їх називають «універсальними», так як у багатьох випадках інструмент з них застосовують, як для обробки сталі, так і чавуну завдяки їх властивостям. По міцності вони наближаються до сплавів WC-Co, а по твердості до WC-TiC-Co [5].

Четверта група сплавів TiC (TiN)-Ni-Mo розроблялася як заміник сплавів першої і другої груп. Вони мають високу твердість і зносостійкість при різанні сталей, але внаслідок підвищеної крихкості застосовуються головним чином при чистових і напівчистових операціях (безударних). До цієї ж групи можна віднести і сплави на основі карбіду титану зі зв'язкою із заліза (сталі), кількість якої близько 50 % (об.), і за властивостями (зносостійкості і твердості) є проміжними між швидкорізальними сталями і спеченими твердими сплавами. Позначаються за кордоном вони як Ferro-TiC, а у нас - феротікар. Застосовують їх головним чином для оснащення штампів і виготовлення різних зносостійких деталей. Сплави цієї групи піддаються термічній обробці для збільшення твердості і завдяки своїм складам дешевші, ніж спечені тверді сплави WC-Co і WC-TiC-Co.

Сплави першої групи позначаються буквами ВК з додатком цифри, що вказує процентний вміст кобальту. Друга група сплавів позначається буквами ТК. Цифра, наступна за буквою Т означає приблизний вміст в сплаві карбіду титану, а цифра після букви К - вміст кобальту (Т15К6). У позначення третьої групи входять три букви - ТТК, позначення аналогічно сплавів ТК, але цифра після ТТ означає суму карбідів титану і танталу (ніобію). Наша промисловість випускає тільки дві марки безвольфрамових твердих сплавів, які позначаються ТН-20 (TiC-Ni-Mo) і КНТ-16 (Ti (C, N) -Ni-Mo), в яких цифри означають приблизний вміст нікелю і молібдену. Докладний перелік марок, що випускалися в СРСР, наведено в ГОСТ 3882-74 і

ГОСТ 26530-85. Докладний перелік марок сплавів, що випускаються основними фірмами усього світу, щорічно публікується [2].

2.2.1 Класифікація марок твердих сплавів за ISO

Розвиток виробництва твердих сплавів і подальше збільшення числа їх марок, а також різноманітність в їх позначеннях, змусило Міжнародну організацію зі стандартизації (ISO) виступити з пропозицією про введення єдиного позначення марок сплавів, що застосовуються при обробці різанням. Було запропоновано розділити всі сплави на групи в залежності від матеріалу, що оброблюється які, в свою чергу, діляться на підгрупи в залежності від конкретних умов використання.

Сплави для обробки різанням матеріалів, що дають зливну стружку (сталь, сталеве лиття, ковкий чавун), позначаються літерою Р (синій колір), для матеріалів, що дають дроблену стружку (сірий чавун, кольорові метали і їх сплави, неметалеві матеріали), буквою К (колір червоний) і так звані "універсальні" сплави, тобто придатні для обробки як чавуну, так і сталі, буквою М (жовтий колір). Підгрупи сплавів всередині кожної з таких груп, які призначаються для визначених умов експлуатації, позначають двозначною цифрою, яку додають до позначення (букви) основної групи, наприклад, Р01, М20, К30. Зростання цифр вказує на підвищення міцності і зниження твердості, зносостійкості і швидкостей різання для сплавів всередині даної підгрупи.

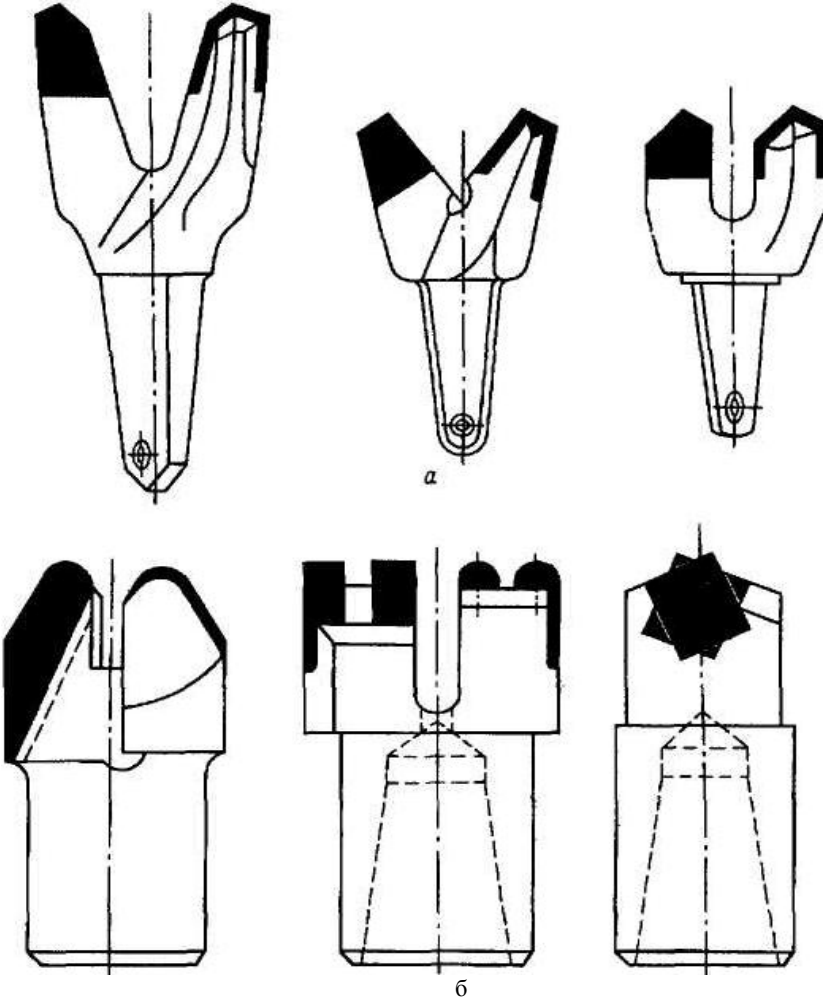
У свою чергу підгрупа може складатися з декількох марок. Так, підгрупа Р01, зважаючи на значну кількість марок сплавів, призначених для чистової обробки з малим перетином зрізу при високих швидкостях різання, підрозділяється на Р01,2; Р01,3; Р01,4.

В даний час класифікацією сплавів по ISO широко користуються у всіх країнах для характеристики областей застосування різних марок сплавів.

2.2.2 Класифікація сплавів за областями застосування

1 Різний ріжучий інструмент (різці, свердла, розгортки, фрези, зенкери і ін.) (~ 66 % від загального випуску).

2 Буровий інструмент (різці, шарошки, зубки і ін.) (рис. 2.3).



а - вугільні бурові і вуглецеві; б - бурові для міцних порід

Рисунок 2.3 - Твердосплавні різці для обертального буріння

Гірnodобувна і будівельна індустрія. (~ 27 % від загального випуску).

3 Спецпризначення (деревообробка, конструкційні деталі, обробка металів тиском) (5 ... 7 %):

- зносостійкий штамповий і конструкційний інструмент (волоки, матриці, пуансони, конструкційні деталі, електрод-інструмент та ін.);
- високотемпературні, корозійно- та окислювостійкі вироби;
- вироби оборонної промисловості (боєголовки, пояски та ін.);
- наплавочні сплави і ін.

2.3 Структура, основні фізичні і механічні властивості твердих сплавів

Серед металокерамічних твердих сплавів велику групу складають сплави на основі монокарбіду вольфраму і кобальту. Ці сплави, подібно до інших видів металокерамічних твердих сплавів, отримують спіканням (а не плавленням). Однак відносно високі температури та існування рідкої фази при спіканні дають можливість розглядати стан утворення сплавів як рівноважний або наближений до нього в системі з трьох компонентів - вольфрам, вуглець, кобальт, для яких характерні різні структури (рис. 2.4).

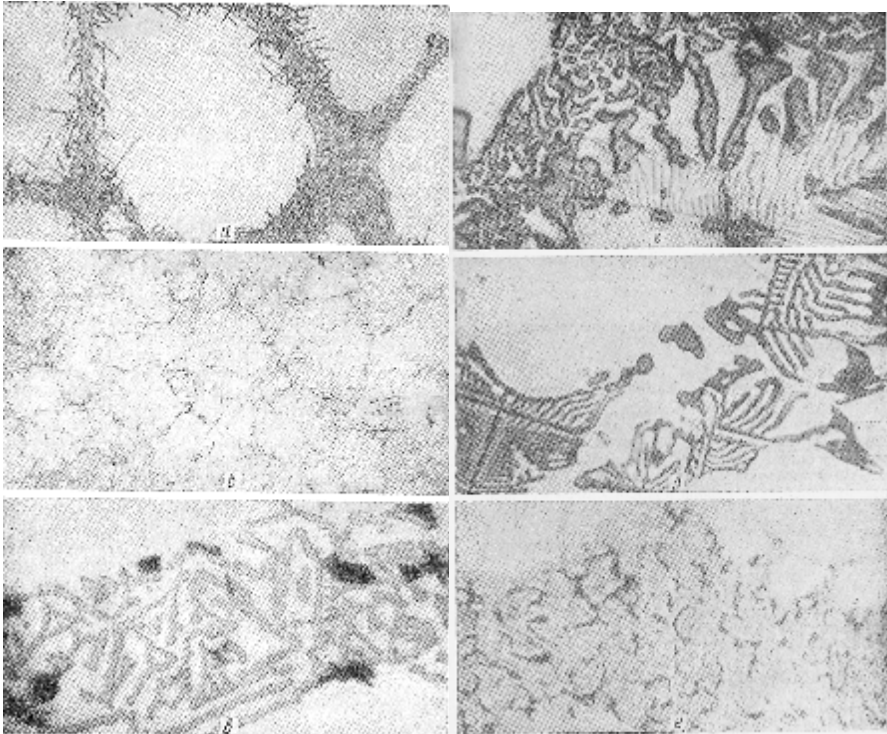
Питома вага сплавів адитивно складається з питомих вагів карбіду вольфраму і кобальту. Практично питома вага трохи нижче розрахункової, так як реальні сплави мають деяку залишкову пористість. Зниження питомої ваги може бути викликано також включеннями графіту або сторонніми домішками.

Для сплавів практично застосовуваних складів (до 30 % Со) теплопровідність мало змінюється в залежності від вмісту кобальту і коливається в межах 0,14-0,21 кал/см·с·град. Для порівняння з іншими матеріалами слід зазначити, що теплопровідність сплавів WC - Со в 2-3 рази вище, ніж у швидкорізальної сталі (табл. 2.1).

Електропровідність сплавів мало змінюється в залежності від вмісту кобальту. Значення питомого електроопору для сплавів з 3-15 % Со наведені в табл. 2.1.

Коефіцієнт лінійного розширення істотно залежить від вмісту кобальту в сплавах і зростає майже в два рази при зміні його від 3 до 30 %. При порівнянні з коефіцієнтами розширення інших металів і

сплавів можна відзначити, що коефіцієнт лінійного розширення сплавів WC - Co менше, ніж у швидкорізальної і вуглецевої сталі і міді.



а - стабільна подвійна евтектика WC + γ , навколишні поліедри фази γ . $\times 400$;

б - стабільна потрійна евтектика WC + γ + C. $\times 100$;

в - стабільна потрійна евтектика WC + γ + C. $\times 1500$;

г - стабільна потрійна евтектика WC + γ + η . $\times 1500$;

д - стабільна подвійна евтектика γ + η_1 , що розміщена між поліедрами фази γ . $\times 1500$;

е - метастабільна потрійна евтектика γ + η + C. $\times 1500$.

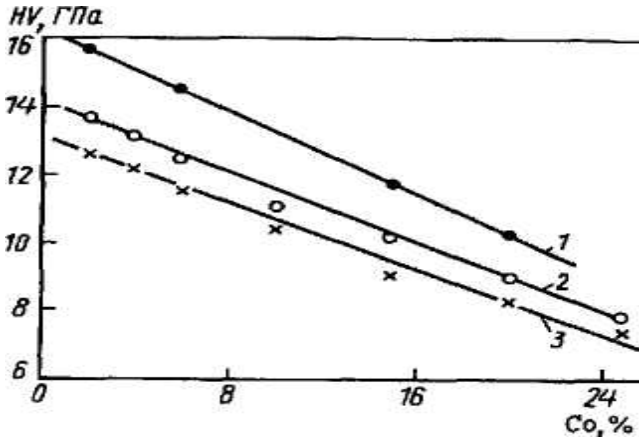
Рисунок 2.4 - Структури евтектичних утворень в системі W-C-Co. Травлення лужним розчином $K_3Fe(CN)_6$.

Згідно з існуючими експериментальними даними, твердість сплавів WC - Co змінюється в залежності від вмісту в них кобальту, а саме, підвищення вмісту його веде до зниження твердості. На рис. 2.5 графічно представлена залежність твердості по Вікерсу сплавів WC-Co від вмісту в них кобальту при кімнатній температурі. Відомо, що на твердість сплаву одного і того ж складу впливає розмір зерен фази

карбіду, з їх укрупненням твердість падає. Іноді на твердість впливає і технологія виготовлення сплаву. Тому найбільш правильним шляхом буде облік впливу зазначених факторів і встановлення меж можливих коливань твердості для даного складу.

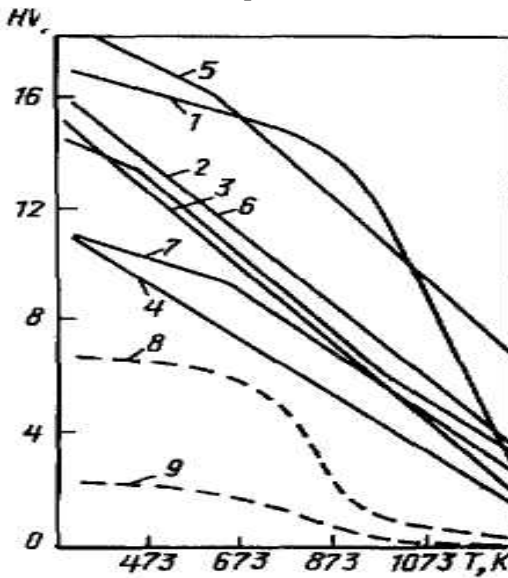
Таблиця 2.1 - Фізичні властивості сплавів WC - Co

Склад, % (ваг.)		Питома вага, г/см ³	Теплопровід ність, кал/см·с·град	Коефіці- єнт лінійного розширен ня, ×10 ⁶	Питомий електроопі р, мкОм·см при 100° С	Питома теплоємність , кал/г рад при 1000° С
WC	Co					
97	3	15,1-15,2	—	19,8	0,044	0,08—0,085
95, 5	4,5	15,0-15,1	3,4 4,1	—	—	—
94	6	14,8-15,0	3,6	—	—	—
			4,6	20,6	0,042	0,08—0,085
92	8	—	—	20,7	0,040	0,08—0,085
91	9	14,5-14,7	—	23,4	—	—
90	10	14,3-14,5	—	—	—	—
89	11	14,0-14,3	3,8	18	—	—
88	12	—	4,8	17,7	0,042	0,08—0,085
87	13	14,0-14,2	—	—	—	—
85	15	13,8-14,0	6	18,8	0,041	—
80	20	13,1-13,3	4,7	21,0	—	—
			6,2	—	—	—
75	25	12,8-13,0	6,7	—	—	—
70	30	12,3-12,5	—	23,4	—	—
50	50	—	—	—	—	—



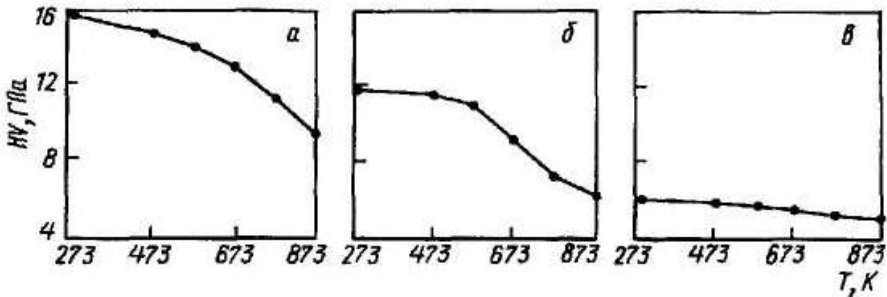
середній розмір карбідних зерен 1 - 1,64 мкм; 2 - 3,2 мкм; 3 - 4,95 мкм

Рисунок 2.5 - Залежність твердості сплавів WC-Co від вмісту Co



1 - 6 % (дрібнозернистий); 2 - 6 % (крупнозернистий); 3 - 8 % (крупнозернистий); 4 - 15 % (крупнозернистий); 5 - 2 %; 6 - 8 %; 7 - 15 % Co; 8 - сталь P18; 9 - сталь У10

Рисунок 2.6 - Залежність твердості сплавів WC-Co від температури.



а – 6 % Co; б – 15 % Co; в – Co (недеформований)

Рисунок 2.7 - Залежність твердості сплавів WC-Co і чистого кобальту від температури

З КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Класифікація твердих сплавів на основі карбідів (що містять вольфрам та безвольфраміві).
2. Склад твердих сплавів на основі карбідів (що містять вольфрам та безвольфраміві).
3. Структура твердих сплавів на основі карбідів (що містять вольфрам та безвольфраміві).
4. Механічні властивості твердих сплавів на основі карбідів (що містять вольфрам та безвольфраміві).
5. Опірність зношуванню твердих сплавів на основі карбідів (що містять вольфрам та безвольфраміві).
6. Області раціонального використання твердих сплавів на основі карбідів (що містять вольфрам та безвольфраміві).

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки зі сплавів типу ВК і ТК.
2. Абразивні маси на основі корунду, електрокорунду, шамоту.
3. Прилад для виміру твердості по Вікерсу.
4. Оптичний мікроскоп.
5. Стенд для випробувань на зношування.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

При виконанні роботи не допускати можливості нанесення травм при випадковому падінні зразків чи нанесенні подряпин їх гострими кромками.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Визначити твердість зразків (HV).
2. Визначити зносостійкість сплавів при зношуванні різними абразивами.
3. Побудувати залежності зносостійкості від складу в сплавах кобальту.
4. Описати і пояснити побудовані закономірності.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 7.1. Найменування і мета роботи.
- 7.2. Короткі теоретичні відомості про класифікацію твердих

сплавів. Області застосування.

7.3. Хімічний склад досліджених сплавів.

7.4. Методика випробувань.

7.5. Таблиця «Основні властивості сплавів».

7.6. Графіки залежності зносостійкості від складу в сплавах кобальту.

7.7. Аналіз результатів.

7.8. Висновки по роботі.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Самсонов Г.В., Упадхья Г.Ш., Нешпор В.С. Физическое материаловедение карбидов. – К.: Наукова думка. – 1974. – 454 с.

2. Конструкционные материалы: Справочник / под общей ред. Б.Н. Арзамасова. - М.: Машиностроение, 1990. – 686 с.

3. Панов В.С., Чувилин А.И. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. - М.: МИСИС, 2001. - 428 с.

4. Киффер Р., Бенезовский Ф. Твердые сплавы. - М.: Metallurgia, 1971. – 390 с.

5. Креймер Г.С. Прочность твердых сплавов. - М.: Metallurgia, 1971. – 200 с.

6. Туманов В.И. Свойства сплавов системы карбид вольфрама-карбид титана-карбид тантала (ниобия)-кобальт. - М.: Metallurgia, 1973. – 227 с.

7. ГОСТ 3882-74 Сплавы твердые спеченные. Марки. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 13 с.

8. ГОСТ 26530-85 Сплавы твердые спеченные безвольфрамовые. Марки.

9. ДСТУ EN ISO 3227:2014 Сплави тверді. Визначення визначення опору поперечному розриванню.

10. ДСТУ EN ISO 3312:2014 Матеріали металеві спечені та сплави тверді. Визначення модуля модуля Юнга.

11. ДСТУ EN ISO Матеріали спечені непроникні та сплави тверді. Визначення щільності.

12. ГОСТ 20017-74 Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Роквеллу.
13. ГОСТ 25172-82 Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Виккерсу.
14. ГОСТ 27034-86 Сплавы твердые спеченные. Метод определения предела прочности и предела текучести при сжатии.
15. ГОСТ 24916-81 Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэрцитивной силы
16. ГОСТ 25599.4-83 Сплавы твердые спеченные. Метод определения кобальта.