

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ЗАК ГЕНАДІЙ ГРИГОРОВИЧ

УДК 669.018.6:669.017

Розробка мідних сплавів з ефектом запам'ятовування
форми та технології їх отримання для термомеханічних
з'єднань різноманітного призначення.

Спеціальність 05.16.04 - Ливарне виробництво

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

КИЇВ - 1994

ДВ 31.464

Дисертацією є рукопис .

Робота виконана на кафедрі "Фізико-хімічні основи технології металів" Київського політехнічного інституту

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор
ЛАРИН Валерій Костянтинович,
кандидат технічних наук, с.н.с.
ЗАТУЛЬСЬКИЙ Григорій Зигмундович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
КОТЛЯРСЬКИЙ Франк Мар'янович,
кандидат фізико-математичних наук, с.н.с.
КОЛОМИЦЕВ Віктор Ілліч

Ведуча організація завод "Ленінська кузня" .

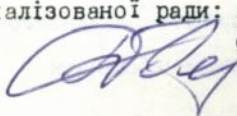
Захист дисертації відбудеться "12" травня 1994 року
о 15 годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.14.09
по присудженню вчених ступенів Київського політехнічного інсти-
туту за адресою: 252056, м.Київ-56, пр.Перемоги, 37, КПІ, ІФФ.

З дисертаційною роботою можна ознайомитись в бібліотеці інституту.

Ваш відгук, завірений гербовою печаткою, просимо надсилати за
вказаною адресою.

Автореферат розісланий "11" листопада 1994 року

Вчений секретар спеціалізованої ради: к.т.н., доцент
Федоров Г.Б.



ЛНБ України ім.В.Стефаника



00756117 (R)

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АНОТАЦІЯ

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є створення сплавів на основі міді для виготовлення муфт для термомеханічних з'єднань /ТМЗ/ різноманітного призначення та вирішення технологічних питань, пов'язаних з плавкою, литтям і термообробкою цих сплавів, а також складання та випробування ТМЗ.

Встановлена мета досягалась послідовним рішенням наступних задач:

1. Створення сплавів на основі системи мідь-алюміній-марганець, призначених для виготовлення ТМЗ.
2. Розробка технології плавки, лиття та термообробки муфт ТМЗ.
3. Дослідження особливостей структури створених бронз.
4. Розробка технології складання ТМЗ.
5. Визначення експлуатаційних характеристик ТМЗ на основі системи мідь-алюміній-марганець.

В ДИСЕРТАЦІЙНІЙ РОБОТІ ДО ЗАХИСТУ ВІНОСЯТЬСЯ:

1. Експериментально визначені залежності впливу легуючих елементів на температури мартенситного перетворення та термомеханічні характеристики /ТМХ/ сплавів, які пов'язані з ефектом запам'ятовування форми /ЕЗФ/.
2. Склад сплавів для муфт ТМЗ різноманітного призначення.
3. Режим термообробки сплавів.
4. Експериментально визначені експлуатаційні характеристики сплавів.

НАУКОВА НОВИЗНА

Експериментально визначені:

- спільний вплив алюмінію та марганцю на властивості, пов'язані з проявом ЕЗФ в алюмінієвих бронзах з високим вмістом марганцю;
- закономірності змін в структурі, фазовому складі та властивостях бронз при модифікуванні та термообробці;
- режим ініціювання зворотної пам'яті форми;

- коефіцієнти зміщення характеристичних температур по напруженню та залежності впливу величини деформації початку протидії на реактивне напруження;
- швидкість корозії сплавів та їх корозійна поведінка у напруженому стані та у контакті з різноманітними матеріалами.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ РОБОТИ

Практичне значення роботи полягає в тому, що на основі системи мідь-алюміній-марганець створена нова група сплавів з ЕЗФ, високий рівень ТМХ яких дозволяє застосувати їх для ТМЗ різноманітного призначення. Визначені оптимальні співвідношення вмісту алюмінію та марганцю в бронзах, при дотриманні яких внаслідок термообробки було досягнене значне /в 2 рази і більше/ підвищення ТМХ сплавів. Показана принципова можливість отримання заготовок муфт ТМЗ засобами ливарного виробництва /методами безперервного і відцентрового лиття/. Розроблена технологія була застосована при виготовленні муфт для ТМЗ діаметром від 8 до 168 мм.

Суттєве поліпшення термомеханічних властивостей, досягнене у сплавах з ЕЗФ системи мідь-алюміній-марганець, а також визначення найважливіших експлуатаційних характеристик нових з'єднань створили передумови для застосування ТМЗ цього класу в промисловості. Особливо перспективними напрямками для використання цих сплавів є ремонт трубопроводів великого діаметру за допомогою муфт з ЕЗФ, які застосовуються як інструмент багаторазової дії і виробництво термостабілізуючих шайб і вказівників перегріву, які монтуються в з'єднувальних вузлах електричних контактів. Економічний ефект від впровадження термостабілізуючих шайб та вказівників перегріву на підприємстві "Київські кабельні мережі" склав 60000 крб. на рік в цінах 1991 року.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ

Основні результати і положення дисертації доповідались та обговорювались на науково-технічних семінарах "Матеріали з ефектом пам'яті форми і їх застосування" /м.Новгород, 1989р./; "Поліпшення якості та інтенсифікація виробництва відливок на основі застосування ЕОМ" /м.Ленінград, 1989р./; У1-й науково-технічній конференції молодих вчених та спеціалістів "Прогресивні ливарні технології

та матеріали" /м.Київ, ІПЛ АН України, 1989/; Всесоюзній конференції з мартенситних перетворень у твердому тілі /м.Косів, Україна, 1991/; ХХІХ Міжреспубліканському семінарі "Актуальні проблеми міцності" /м.Псков, 1993р./; конференції "Сучасні технологічні процеси в ливарному виробництві" /м.Київ, 1993р./; конференції німецького товариства металознавців /м.Гьоттінген, 1994р./; конференції "Actuator 94" /м.Бремен, 1994р./.

ПУБЛІКАЦІЇ

По матеріалах роботи опубліковано 9 друкованих праць і одержано 2 авторських свідоцтва на винахід.

ОВ"ЄМ ТА СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертаційна робота викладена на 123 сторінках машинописного тексту. Складається із вступу, п'яти розділів, висновків по роботі та додатку. Робота включає 17 таблиць, 36 малюнків і бібліографію, що містить 123 джерела.

ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі наведені численні приклади застосування ТМЗ у різних галузях промисловості. Розглянуто конструкції з'єднань з використанням сплавів з ЕЗФ. Значна увага приділена методам інженерного розрахунку та технологіям отримання заготовок муфт ТМЗ.

Порушені проблеми, що виникають під час монтажу та експлуатації з'єднань. Наведені методи їх випробувань та контролю. Систематизація даних по експлуатації ТМЗ дозволила сформулювати основні вимоги до матеріалу муфт, найважливішими з яких є висока величина граничної відтвореної деформації в умовах вільного відтворення форми / ϵ_a^{100} /, реактивне напруження / σ_p /, температурні параметри мартенситного перетворення, технологічність і невелика ціна сплавів.

Проведено порівняння властивостей сплавів, які мають практичний інтерес з точки зору їх застосування в ТМЗ. Доведено, що алюмінієві бронзи, леговані марганцем, є найбільш перспективними з усіх матеріалів з ЕЗФ на основі міді. Вони здатні конкурувати у цій сфері з нікель-титановими сплавами, які, незважаючи на високу

ціну та складну технологію виробництва знаходять найбільш широке застосування. Розглянуті особливості отримання, рафінування, модифікування та термообробки алюмінієвих бронз з ЕЗФ. Показано, що розробка та дослідження сплавів системи мідь-алюміній-марганець для термомеханічних з'єднань економічно доцільні і технічно виправдані. У кінці розділу сформульовані основні завдання роботи.

У другому розділі обґрунтовано вибір хімічного складу сплавів та описані методики дослідження.

Область сплавів з ЕЗФ на концентраційному трикутнику системи мідь-алюміній-марганець обмежена координатами: $a / 87 \text{ Cu} ; 13 \text{ Al} /$, $b / 90 \text{ Cu} ; 10 \text{ Al} /$, $c / 74 \text{ Cu} ; 6,5 \text{ Al} ; 19,5 \text{ Mn} /$ та $/ 82,2 \text{ Cu} ; 9,8 \text{ Al} ; 18 \text{ Mn} /$. Вона являє собою чотирикутник з найширшою частиною, яка відповідає складу марганцю біля 5%. Більшість публікацій, відомих у цей час, відноситься до сплавів з вмістом марганцю 4-7% та алюмінію 12-14%. Цей факт обумовлений, певно, намаганням дослідників працювати зі сплавами, які допускають можливість значної зміни хімічного складу без побоювання вийти за межі існування β -фази, відповідальної за проявлення ЕЗФ. Одночасно практично не дослідженою залишилась ціла група сплавів з підвищеним вмістом марганцю. Додаткове, у порівнянні з звичайними бронзами з ЕЗФ, введення цього компонента дозволить зменшити кількість алюмінію в сплавах, підвищена концентрація якого в сплавах є причиною надзвичайно низької пластичності високотемпературної фази. Важливим є також, що найбільш відчутне підвищення ТМХ сплавів при термообробці було раніше отримане саме для бронзи з підвищеним вмістом марганцю. Однак відомо, що зменшення концентрації алюмінію веде до значного зниження силових можливостей бронз з ЕЗФ.

Тому при виборі хімічного складу сплавів для ТМЗ необхідно шукати оптимальне співвідношення між вмістом алюмінію та марганцю, яке буде забезпечувати достатній рівень силових та деформаційних властивостей бронз.

Сплави виплавляли з чистих металів: міді марки М0 та М1 /ГОСТ 859-78/, алюмінію марки А0 та А8 /ГОСТ 4784-74/, марганцю марок Мр0 та Мр1 /ГОСТ 6008-82/. Плавки вели з використанням графітових тиглів в індукційних печах. Захисним матеріалом було вугілля з деревини. Після розплавлення міді її розкислювали лігатурою мідь-фосфор марки МФ-10 /ГОСТ 4515-81/ у кількості 0,015-

0,035% від маси міді. Подальше додавання легуючих проводили у наступній послідовності: алюміній /50-70% від потрібної кількості/ - марганець-залишки алюмінію. Після засвоєння усіх компонентів сплав ретельно перемішували та розливали у металеві форми, нагріті до 425-475 К. Температура заливки досягала 1430-1460 К. Для введення модифікаторів в розплав використовували лігатури на основі міді, які містили 2,0-2,5% відповідного елементу.

Із отриманих зливок електроіскровим методом вирізали дослідні зразки, які піддавали термообробці у відповідності до плану досліджень.

Для визначення фазового складу рентгеноструктурним методом готували циліндричні зразки, поверхневий шар яких травили у реактиві /2 частини HNO_3 та 1 частина HCl /.

Параметри мартенситного перетворення досліджували методами вимірювання електричного опору сплавів та диференційної скануючої калориметрії із застосуванням калориметру DSC-7PC "PERKIN-ELMER".

При визначенні T_{MX} / ϵ_n^{100} та σ_p / сплавів зразки піддавали деформації розтягуванням на машині "INSTRON", яка була обладнана термостатом та камерою для випробувань, що дозволяло проводити експерименти в температурному інтервалі від 77 до 400 К. Додаткові дані отримували при деформації зразків вигином та крутінням.

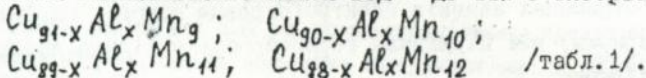
Металографічні дослідження проводили на оптичних мікроскопах "NEOFOT" та "VERSAMET".

Для проведення рентгеноструктурних досліджень використовували установку "УРС-50ИМ" з камерою обертання РКВ-86 в мідному $K_{\alpha 1,2}$ випромінюванні.

Оцінку схильності бронзи з ЕЗФ до корозійного розтріскування під навантаженням та пітінгів у 3% розчині $NaCl$ з додаванням 1% HCl проводили згідно з ГОСТ 9.019-74 та ГОСТ 9.912-89. Швидкість корозії визначали методом масометрії та поляризаційного опору, а розрахунки вели згідно з ГОСТ 9.908-85.

У третьому розділі наводяться результати досліджень, які стосуються технологічних питань, пов'язаних з плавкою, оптимізацією складу, а також з модифікуванням та термообробкою бронз з ЕПФ.

Для оцінки впливу легуючих елементів на характеристичні температури та властивості сплавів системи мідь-алюміній-марганець були проведені серії плавок таким чином, щоб у кожній з них кількість обраного для дослідження елементу змінювалась за рахунок основи сплаву, тобто міді, а концентрація іншого залишалась, наскільки це практично можливо, на постійному рівні. Зупинились на наступних чотирьох групах сплавів, у кожній з яких концентрація алюмінію змінювалась в межах від 8 до 11% з інтервалом 0,5%:



При проведенні досліджень встановлено, що залежність температури кінця зворотнього мартенситного перетворення алюмінієвих бронз з ЕЗФ від вмісту алюмінію та марганцю носить лінійний характер. Визначені концентраційні коефіцієнти A_K по цим елементам. З розрахунку на 0,1% /по масі/ легуючого елементу вони складають для алюмінію 2,5-3,5 град., а для марганцю 6,2-7,2 град. Спільний вплив алюмінію та марганцю на A_K дослідних сплавів дозволяє оцінити емпіричне рівняння:

$$A_K(K) = 1219 - 25,5(\text{Al} + 2,87\text{Mn}), \quad (1)$$

де символи Al та Mn відповідають концентраціям цих елементів в % по масі. Рівняння /1/ дає змогу розрахувати склад шихти по заданому значенню A_K таким чином, що після засвоєння усіх компонентів сплаву відхилення температури кінця зворотнього мартенситного перетворення від потрібної величини не перевищує 15-20 град., що помітно полегшує коректування складу по ходу плавки, знижує масу коректуючих присадок, зменшує час ведення плавки і, у кінцевому підсумку, сприяє підвищенню якості металу, що виплавляється.

Аналіз залежностей термомеханічних характеристик від хімічного складу сплавів /табл.1/ показує, що підвищення вмісту алюмінію та марганцю веде до лінійного зростання величин σ_p . Причому марганець має більш інтенсивний вплив на силові характеристики, ніж алюміній. Підвищення вмісту марганцю на 1% викликає зростання σ_p на 130-140 МПа, у той час як таке саме підвищення концентрації алюмінію сприяє підвищенню реактивного напруження лише на 60-90 МПа.

Таблиця 1.

Параметри мартенситного перетворення та ТМХ дослідних сплавів після загартування від 1173 К у воду.

Сплав	Вміст легуючих елементів % по масі		Температури перетворення К		Термомеханічні характеристики	
	Al	Mn	M _п	A _к	σ _p , МПа	ε _п ¹⁰⁰ , %
Br. 1	9,9	9,0	305	326	240	4,1
Br. 2	10,3	8,9	301	320	280	4,8
Br. 3	11,2	9,0	263	280	315	4,8
Br. 4	8,3	9,9	240	268	210	5,9
Br. 5	8,8	9,9	225	253	300	5,4
Br. 6	9,5	9,9	200	238	315	5,4
Br. 7	9,9	10,1	194	223	380	3,9
Br. 8	10,3	10,1	167	218	390	3,5
Br. 9	10,9	10,1	157	193	435	3,4
Br. 10	8,0	10,9	200	233	315	5,9
Br. 11	9,0	10,9	160	203	425	5,3
Br. 12	9,4	11,0	150	183	485	4,7
Br. 13	9,9	11,1	177	160	505	3,7
Br. 14	10,3	10,9	177	156	545	3,4
Br. 15	10,9	10,8	177	150	560	3,3
Br. 16	8,0	11,9	115	143	525	5,1
Br. 17	8,4	12,1	177	137	530	4,2
Br. 18	8,9	12,0	177	123	590	4,0
Br. 19	9,6	11,9	177	103	640	3,2
Br. 20	10,1	12,0	177	93	650	3,1

Більш складний характер носить залежність ϵ_p^{100} від вмісту легуючих елементів /рис. 1/. Для забезпечення деформаційних властивостей дослідних сплавів на рівні, який перевищує 4%, необхідно дотримувати знайдене емпіричним шляхом співвідношення між вмістом алюмінію та марганцю:

$$Al \leq 18,6 - 0,8Mn \quad (2)$$

Зниження вмісту марганцю та алюмінію в бронзах супроводжується зростанням величин ϵ_p^{100} та відповідним зменшенням σ_p . З урахуванням співвідношення /2/, а також більш помітного впливу марганцю на силові характеристики сплавів інтервали концентрацій легуючих елементів, в яких силові та деформаційні характеристики бронз сполучаються найбільш сприятливим чином, можуть бути позначені приблизно слідуєчими концентраціями легуючих елементів: марганець 11-12%, алюміній 9,8-8,0%. Для таких сплавів величина ϵ_p^{100} досягає 4-5%, а σ_p знаходиться на рівні 400-600 МПа.

Відомо, що одним з ефективних засобів управління ТМХ бронз з ЕЗФ є модифікування, позитивний вплив якого може викликати не тільки формування рівноосної дрібнозернистої структури та підвищення макроскопічної ізотропності відливки чи зливку, але й сприяє значному підвищенню реактивних напружень, що генеруються сплавами /табл. 2/.

Таблиця 2.
Характеристики сплавів після модифікування

№ пп	Вміст легуючих елементів, %			Модифікуюча присадка, %		Середній розмір зерна, мм		Термомеханічні характеристики	
	Al	Mn	Fe			у литому стані	після загарування	$\epsilon_n^{100\%}$	$\sigma_p, \text{МПа}$
1.	8,5	12,0	0,3	-		0,14	0,52	4,1	530
1.1	8,4	12,1	0,2	0,30	Zr	0,17	0,46	3,9	500
1.2	8,4	12,0	0,3	0,2	Zr	0,20	0,50	4,2	510
1.3	8,5	12,2	0,3	0,03	Ti	0,20	0,56	4,1	500
1.4	8,4	11,9	0,3	0,2	Ti	0,16	0,54	3,9	520
1.5	8,5	12,0	0,3	0,03	B	0,06	0,15	4,6	660
1.6	8,6	11,9	0,3	0,12	B	0,16	0,26	3,9	490
2.	8,4	12,1	1,0	-		0,2	0,56	3,8	500
2.1	8,5	12,0	0,9	0,03	Zr	0,09	0,18	4,0	580
2.2	8,5	11,9	1,0	0,2	Zr	0,10	0,15	4,1	590
2.3	8,4	12,0	0,9	0,03	Ti	0,10	0,16	4,0	600
2.4	8,5	12,1	1,0	0,2	Ti	0,09	0,20	4,0	610
2.5	8,4	12,0	1,0	0,03	B	0,04	0,14	4,2	700
2.6	8,6	11,9	1,0	0,12	B	0,16	0,22	4,0	560

Об'єктом досліджень був обраний сплав Бр.17, який за своїми ТМХ в найбільшій мірі придатний для виготовлення елементів ТМЗ найширшого класу. В подібних з'єднаннях деформацію муфти здійснюють при охолодженні у рідкому азоті. Тому близькість температури M_n цього сплаву до 77 К забезпечує сприятливі температурні умови для деформування муфти.

Згідно з даними літератури особливу роль в процесах модифікування алюмінієвих бронз з підвищеним вмістом марганцю добавками таких елементів як титан, цирконій та бор грає залізо, наявність якого в сплаві само по собі може викликати зменшення розміру зерна.

Для порівняння впливу заліза на властивості дослідних сплавів вони були розділені на дві групи /табл.2/.

Аналіз даних таблиці показує, що незалежно від вмісту заліза в сплавах, найбільш високий та стабільний модифікуючий ефект забезпечує присадка бору у кількості 0,03%. Отриманий результат добре узгоджується з даними робіт, в яких модифікуючу дію цього елемента на структуру алюмінієвих бронз пов'язують не тільки з низьким критерієм розподілу бору в міді та сплавах на її основі, але й з його поверхневою активністю та позитивною адсорбцією на поверхні розподілу фаз.

Хоч модифікування і дозволяє підвищити силові можливості бронз при збереженні величини ϵ_n^{100} на рівні 4,0-4,5% однак, отримані деформаційні властивості є недостатніми для сплавів для ТМЗ. Їх необхідно підвищувати. Серед різних методів впливу на ТМХ бронз з ЕЗФ перспективною є термообробка.

При проведенні термообробки дослідних сплавів в даній роботі використовували режим, який складався з двох етапів: нормалізації при 1073 К та послідуочого загартування від 1123 К у воду. Після її проведення для усіх бронз спостерігали підвищення характеристик температур на 20-30 градусів без зміни інтервалів прямого та зворотнього перетворень. Найбільш позитивний вплив обраний режим термообробки має на ті бронзи, хімічний склад яких відповідає співвідношенню /2/. Для таких сплавів величина ϵ_n^{100} досягає 7-8%, а σ_p складає 400-500 МПа.

Дослідження мікроструктури та фазового складу сплавів показали, що позитивні зміни в їх ТМХ можуть бути пов'язані з виникненням внаслідок термообробки дрібних когерентних з матрицею частинок інтерметаліду Cu_2MnAl , які зміцнюють сплави та сприяють зміні механізму їх руйнування.

У четвертому розділі досліджені експлуатаційні властивості сплавів для ТМЗ. Встановлено, що коефіцієнти зміщення M_p під навантаженням для бронз різних хімічних складів близькі між собою та лежать у межах 0,20-0,30 К/МПа. Виявлені залежності дозволили визначити температурний інтервал надійної експлуатації ТМЗ та дати рекомендації стосовно складу сплавів для виготовлення муфт в залежності від умов їх експлуатації. Наприклад, Бр.6, Бр.10 та Бр.11 можуть надійно працювати у ТМЗ, які експлуатуються

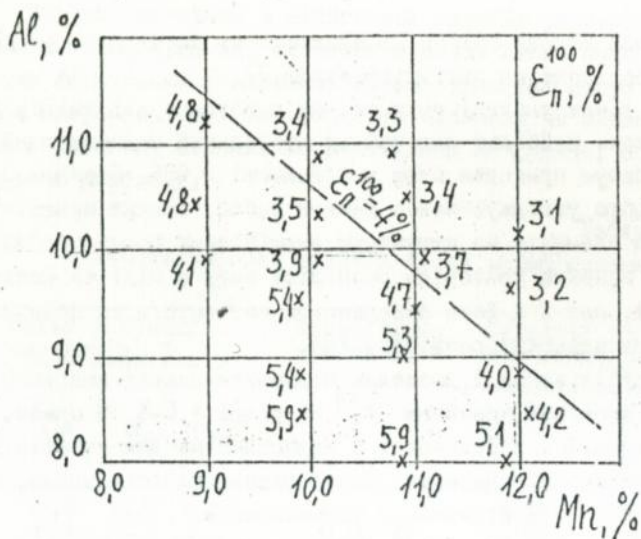


Рис. 1. Вплив хімічного складу сплавів на $\epsilon_{п}^{100}$.

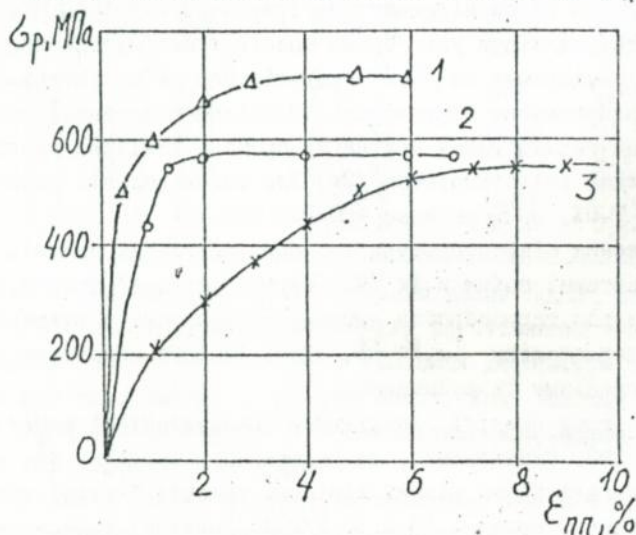


Рис. 2. Вплив виду деформації та величини деформації початку протидії на σ_p Бр. І7:І - вигин, 2 - розтягування, 3 - крутіння.

в області позитивних температур, наприклад, на дні моря, але не придатні до застосування у авіації та космічній техніці. У цих галузях найкращі перспективи у Бр.17.

На рис.2 наведені дані впливу виду деформації та величини деформації початку протидії на σ_p Бр.17. Особливістю отриманих кривих є наявність помітної платоподібної ділянки, відсутньої на аналогічних залежностях, побудованих раніше для крихких заав-тектоїдних алюмінієвих бронз, зруйнування яких при деформації відбувається при напруженнях істотно нижчих, ніж границя текучості сплавів.

У роботі з'ясовані режими впливу на Бр.17, які ініціюють виникнення в ній зворотної пам'яті форми. Встановлено, що наведення зворотної пам'яті можливо значним /у 5-6%/ деформуванням сплаву в інтервалі прямого мартенситного перетворення, а також шляхом термоциклювання зразків під навантаженням через повний інтервал перетворення /2 цикли/. У другому випадку наведений ефект відрізняється більшою стабільністю та стійкістю. Величина зворотної пам'яті, що була наведена в сплаві при $\sigma_n = 600$ МПа / σ_n - навантаження протидії/, дорівнювала 2%. При подальшому циклюванні без зовнішнього навантаження /10 циклів/ помітного зменшення зворотної пам'яті не відбувалось.

Однією з важливих експлуатаційних вимог до сплавів для ТМЗ є стійкість проти корозії. Проведеними дослідженнями встановлено, що отримані сплави відносяться до класу корозійно стійких матеріалів. Для елементів трубопроводів, однак, більш важливими з практичної точки зору є оцінка їх схильності до контактної корозії та пітінгу, а також корозійного руйнування під навантаженням. Одним з найнебезпечніших агресивних середовищ вважають розчини, які містять хлор-іони.

Визначено, що у таких розчинах, Бр. 17 схильна до локальних видів корозійного зруйнування: пітінгу та корозійного розтріскування під навантаженням. Підвищення навантаження з 0,5 $\sigma_{0,2}$ до 0,9 $\sigma_{0,2}$ зменшує час витримки зразків у напруженому стані до зруйнування з 1800 годин до 48 годин. Показано, що у розчинах з хлор-іонами Бр. 17 може надійно використовуватись у контакті зі сплавом Х18Н10Т та міддю М2.

П'ятий розділ присвячений вирішенню питань, пов'язаних з

отриманням та випробуванням реальних ТМЗ. На прикладі сплаву Ер.17 показана можливість виробництва заготовок муфт різного діаметру за допомогою звичайних ливарних технологій, що надає бронзам з ЕЗФ суттєву технологічну перевагу над сплавами системи нікель-титан, муфти з яких виробляються лише методами обробки металів тиском та порошкової металургії. Досліджені процеси отримання заготовок муфт для труб з зовнішнім діаметром до 20 мм на установці горизонтального безперервного лиття, а також заготовок муфт для труб великих діаметрів методами відцентрового лиття. В ході експериментів випробували як лиття в машину з обертанням форми навколо горизонтальної осі /отримана відливка висотою 160 мм, зовнішнім діаметром 120 та внутрішнім діаметром 90 мм/, так і лиття з вертикальною віссю обертання. Розміри заготовки склали відповідно 40, 40 та 26 мм.

Металографічні дослідження та аналіз хімічного складу зразків, вирізаних з різних частин відливок, а також близькість їх ТМХ підтвердили високий рівень однорідності відливок та їх високу якість.

В ході експериментів була запропонована та відпрацьована технологія складання ТМЗ різних діаметрів /від 8 до 108 мм/, а також проведені випробування отриманих з'єднань, які показали їх високу надійність та працездатність. Наприклад, ТМЗ труб діаметром 108 мм, здійснені за допомогою муфт з ЕЗФ, що застосовувались як інструмент багаторазової дії, витримували внутрішній тиск масла до 100 атм.

Підвищення ТМХ, досягнене у бронзах з ЕЗФ, дозволило використати ці матеріали у ТМЗ електричних контактів. Економічний ефект від впровадження цієї розробки на підприємстві "Київські кабельні мережі", склав 60000 крб. на рік в цінах 1991 року.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. На основі сплавів системи мідь-алюміній-марганець створена нова група матеріалів з ЕЗФ, високий рівень ТМХ яких дозволяє використовувати їх для виготовлення муфт ТМЗ різноманітного призначення.

2. Вивчено спільний вплив алюмінію та марганцю на структуру та властивості алюмінієвих бронз з ЕЗФ. Встановлено, що для бронз

оптимального складу, які містять 11-12% марганцю та 9,8-8,0% алюмінію, величина ϵ_n^{100} складає після загартування від 1173 К у воду 4-5%, а σ_p лежить у межах 450-600 МПа.

3. Досліджено вплив модифікування бором, цирконієм та титаном на властивості бронз, які придатні для виготовлення ТМЗ. Показано, що модифікування дозволяє підвищити силові можливості дослідних бронз на 100-200 МПа при збереженні величини ϵ_n^{100} на рівні 4,0-4,5%.

4. Встановлено, що термообробка сплавів, що включає в себе нормалізацію при 1073 К та подальше загартування від 1123 К у воду здатна принципово покращити ТМХ. При цьому для бронз з оптимальним хімічним складом ϵ_n^{100} досягає 7-8%, а σ_p складає 400-500 МПа.

5. Виявлені загальні закономірності у зміні структури та фазового складу сплавів, що відбуваються внаслідок термічної обробки та полягають у виникненні зміцнюючих матричну фазу включень інтерметаліду Cu_2MnAl .

6. Визначені режими термомеханічного впливу на сплав, які сприяють ініціюванню в ньому зворотної пам'яті форми, величина якої досягає 2%. Показана можливість використання цього ефекту в роз'ємних ТМЗ.

7. Встановлено, що сплави для ТМЗ відносяться до складу корозійностійких. Вони можуть надійно експлуатуватись в агресивних середовищах, які містять хлор-іони в контакті зі сталлю Х18Н10Т та міддю під напруженням, що не перебільшує 0,5 $\sigma_{0,2}$.

8. Показана принципова можливість отримання якісних заготовок муфт різних діаметрів методами безперервного та відцентрового лиття. Складені та випробувані ТМЗ різних типорозмірів з різних матеріалів трубопроводів.

9. Підвищення ТМХ, досягнене у сплавах системи мідь-алюміній-марганець, а також з'ясування найважливіших експлуатаційних характеристик нових з'єднань створили передумови для використання ТМЗ цього класу в промисловості. Особливо перспективними напрямками для використання цих сплавів є ремонт трубопроводів великого діаметру за допомогою муфт з ЕЗФ, які застосовуються як інструмент багаторазової дії та виробництво термостабілізуючих шайб і вказівників перегріву, які монтується у з'єднувальних вузлах електричних контактів. Економічний ефект від впровадження цих пристроїв на підприємстві "Київські кабельні мережі" склав 60000 крб.

на рік в цінах 1991 року.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ВИКЛАДЕНІ В НАСТУПНИХ ДРУКОВАНИХ ПРАЦЯХ:

1. Кравченко М.А., Зак Г.Г., Ларин В.К. Влияние термической обработки на свойства алюминиевых бронз с ЗЗФ // Тезисы докладов научно-технического семинара "Материалы с эффектом памяти формы и их применение", Новгород. 1989.-с. 76-78.
2. Зак Г.Г., Затульский Г.З., Кравченко М.А. Разработка и исследование термомеханических соединений труб с помощью муфт из сплава системы медь-алюминий-марганец. Там же - с.226-228.
3. Зак Г.Г., Нецадим В.Н. Оценка эффективности рафинирования алюминиевых бронз с ЗЗФ//Тезисы докладов VI научно-технической конференции "Прогрессивные литейные технологии и материалы", Киев: Ин-т проблем литья. 1989.-с.14-15.
4. Кравченко М.А., Григорян М.В., Зак Г.Г., Затульский Г.З. Мартенситные превращения и эффект запоминания формы в высокомарганцовистых алюминиевых бронзах // Тезисы докладов всесоюзной конференции по мартенситным превращениям в твердом теле, Косов. 1991.-с.99.
5. Ас. № 1731859, СССР, С22. Способ термообработки сплавов системы медь-алюминий-марганец с ЗЗФ. 1992.
6. А.с. № 1743222, СССР, С22. Сплав на основе меди с эффектом памяти формы, 1992.
7. Затульский Г.З., Зак Г.Г., Ларин В.К. Особенности получения, рафинирования и модифицирования алюминиевых бронз и латуней с эффектом запоминания формы // Процессы литья, № 3, 1991.-с.83-88.
8. Гордон В.Б., Зак Г.Г., Затульский Г.З. Эксплуатационные характеристики муфты с алюминиевой бронзы в термомеханическом соединении // Тезисы XXIX Межреспубликанского семинара "Актуальные проблемы прочности", Псков. -1993.-с.103.
9. Затульский Г.З., Григорян М.В., Зак Г.Г. Опыт получения медных сплавов с эффектом запоминания формы в промышленных условиях// Цветные металлы, № 2, Москва. 1993.-с.53-55.

10. G. Zak, G. Zatul'skij

Das Formerrinnerungsvermögen in Cu-Al-Mn-Legierungen // Hauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde EV. Göttingen 1994. - s. 161.

11. G. Zatul'skij, G. Zak

Thermomechanical behaviour of Cu-Al-Mn shape memory alloys. Conference proceeding: "Actuator 94". Bremen, 1994. - p. 354-356.

Зак Геннадий Григорьевич. Разработка медных сплавов с эффектом запоминания формы и технологии их получения для термомеханических соединений различного назначения.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 - Литейное производство, Киевский политехнический институт, Киев. 1994.

На основе сплавов медь-алюминий-марганец создана новая группа сплавов с ЭЗФ, высокий уровень ТМХ которых позволяет использовать их для изготовления соединительных элементов ТМС различного назначения. Изучено совместное влияние алюминия и марганца на свойства алюминиевых бронз с ЭЗФ. Исследованы процессы, происходящие в структуре и фазовом составе сплавов при их модифицировании и термобработке, способствующие улучшению ТМХ. Изучены важнейшие эксплуатационные свойства сплавов для ТМС. Показана принципиальная возможность получения качественных заготовок муфт разного диаметра методами непрерывного и центробежного литья. Собраны и испытаны ТМС различных типоразмеров и материалов. Показана их высокая эксплуатационная надежность.

Осуществлено промышленное внедрение изделий из разработанных сплавов на предприятии "Киевские кабельные сети".

Zak Genadij. Working out of Cu-based alloys with shape memory affect and technologies of their production for thermomechanical joints of various purposes.

The dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the speciality 05.16.04 - Casting Engineering, Kiev Polytechnical Institute. Kiev, 1994.

A new groups of shape memory alloys was created on the basis of Cu-Al-Mn alloys, the superior properties of which make it possible to use them for joint elements' manufacturing.

A close study has been made of the simultaneous effect of Al and Mn on Cu-Al-Mn alloys' properties. The changing of the alloys' structure as a result of their modification and heat treatment, as well as the processes of the alloys' casting have been also investigated.

The industrial improvement of the worked-out alloys is realized at the enterprise "Kievskie Kabelnye Seti".

Ключові слова: мартенситне перетворення, ефект запам'ятовування форми, термомеханічні властивості, термомеханічні з'єднання.



UNIVERSITY OF MICHIGAN
LIBRARY

455351

AB 31.464

AB 31.464

A bill to amend the Education Code, relating to the basis of...
of AI for... the... of... it... to...
This bill... the... of...

It also... has been... the... effect of AI and...
... the... of...
... of... and...
... the... have... the...

The... of the... will...
... the... of...

...
...
...

AB 31.464

FILED IN A...
...
...