



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 89139

(13) C2

(51) МПК (2009)

C22C 21/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ЛИВАРНИЙ СПЛАВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ

1

2

(21) а200813137

(22) 12.11.2008

(24) 25.12.2009

(46) 25.12.2009, Бюл.№ 24, 2009 р.

(72) КУЦОВА ВАЛЕНТИНА ЗІНОВІЇВНА, НОСКО
ОЛЬГА АНАТОЛІЇВНА, КОТОВА ТЕТЯНА ВОЛО-
ДИМИРІВНА, ШЕРСТОБИТОВА АЛЬОНА СЕРГІЙ-
ВНА(73) НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ
УКРАЇНИ

(56) UA 21906 C2, 30.04.1998

SU 185489 A1, 25.04.1969

SU 346370 A1, 28.07.1972

JP 1104741 A, 21.04.1989

JP 2149630 A, 08.06.1990

JP 2004225121 A, 12.08.2004

(57) Ливарний сплав на основі алюмінію, що міс-
тить кремній, залізо, магній, марганець, мідь, цинк,
який **відрізняється** тим, що додатково містить бор
і олово в співвідношенні 1:1, але в сумі не більше
0,4 мас. %, при наступному співвідношенні компо-
нентів сплаву, мас. %:

кремній	18-20
мідь	0,5-0,6
магній	0,1-0,2
марганець	0,5-0,6
цинк	0,25-0,3
залізо	0,7-0,8
бор і олово	в сумі не більше 0,4 при співвідношенні 1:1.
алюміній	основа

Винахід відноситься до кольорової металургії,
зокрема до сплавів на основі алюмінію, і може
бути використаний в сільськогосподарському ма-
шинобудуванні при виробництві спеціальних пор-
шнів у разі потреби підвищення потужності двигу-
на внутрішнього згоряння.

Відомий ливарний сплав на основі алюмінію
(ГОСТ 1583-93), який містить, мас. %:

Кремній	20,0 - 22,0
Мідь	2,2-3,0
Магній	0,2-0,5
Марганець	0,2-0,4
Нікель	2,2-2,8
Титан	0,1-0,3
Алюміній	основа

Сплав має гарну корозійну стійкість, жароміц-
ність, але високий коефіцієнт лінійного розширен-
ня, низьку зносостійкість.

Найбільш близьким по технічній суті до спла-
ву, що заявляється, і результату, що досягається,
є сплав на основі алюмінію [Хохлев В.М. Произ-
водство литейных алюминиевых сплавов. М.: Ме-
талургия, 1980, с. 14-15. табл. 7-8, марка Mahle
138] який містить, мас. %

Кремній	17,0-19,0
Мідь	0,8-1,3
Магній	0,8-1,3
Марганець	до 0,2

Титан	до 0,2
Нікель	0,8-1,3
Цинк	до 0,2
Залізо	до 0,7
Алюміній	основа

Відомий сплав має менший коефіцієнт тепло-
вого лінійного розширення, низькі зносостійкість,
рідкотекучість, формозаповнюваність, механічні
властивості при кімнатній і підвищеній температу-
рах, знижену корозійну стійкість.

До основи винаходу поставлено задачу удо-
сконалення складу ливарного сплаву на основі
алюмінію шляхом зміни кількісного складу основ-
них компонентів: кремнію, міді, магнію, марганцю,
цинку, заліза і додаткового легування бором і оло-
вом, що забезпечить більш високі промислові по-
казники, а саме: високі зносостійкість, корозійну
стійкість, механічні властивості при кімнатній тем-
пературі, при близьких коефіцієнті теплового лі-
нійного розширення, лінійній усадці. Технічний
результат полягає в підвищенні рідкотекучості
сплаву, що заявляється, і формозаповнюваності.

Вказана задача вирішується тим, що відомий
ливарний сплав на основі алюмінію містить крем-
ній, мідь, магній, марганець цинк, залізо, а також
додатково бор і олово при наступному співвідно-
шенні, мас. %:

(13) C2

(11) 89139

(19) UA

Кремній	18-20
Мідь	0,5-0,6
Магній	0,1-0,2
Марганець	0,5-0,6
Цинк	0,25-0,3
Залізо	0,7-0,8
Бор і олово	в сумі не більше 0,4 при співвідношенні 1:1

Алюміній основа

Істотними ознаками, спільними для сплаву, що заявляється, та прототипу є наявність кремнію, міді, магнію, марганцю, цинку, заліза.

Ознакою, що відрізняє сплав, який заявляється, є наявність в сплаві бору і олова у кількості не більше 0,4% при співвідношенні компонентів 1:1.

Необхідність вмісту в сплаві компонентів у вищезгаданих співвідношеннях обумовлена наступними обставинами.

Кремній підвищує рідкотекучість, формозаповнюваність і механічні властивості. Тверді частки кремнію забезпечують низький коефіцієнт лінійного розширення і високий опір зносу, що є важливим для поршневих сплавів. В інтервалі концентрацій 18-20% змінюється структура алюмінієвокремнієвого розплаву. Своєрідність структури розплаву при цьому вмісті кремнію визначає при твердінні високий комплекс властивостей, що включають корозійну стійкість, міцність, лінійне подовження при кімнатній температурі, зносостійкість, рідкотекучість. При вмісті кремнію нижче 18,0% підвищується коефіцієнт теплового розширення, знижується твердість, зносостійкість, рідкотекучість, формозаповнюваність. Збільшення вмісту кремнію вище 20,0% призводить до зниження пластичності, жароміцності.

Мідь забезпечує приріст міцності при високому рівні відносного подовження, забезпечуючи зміцнення твердого розчину і підвищуючи жароміцність. Мідь є одним з компонентів поршневих сплавів. При концентрації міді в сплаві на рівні 0,6% спостерігається найбільш вдале поєднання міцності і пластичності.

Магній істотно зміцнює ливарні алюмінієві сплави за рахунок виділення фаз Mg_2Si і $W(CuSi_4MgAl)$, що містять магній, при старінні. Здійснює нейтралізуючий вплив на добавки заліза, утворюючи фазу $\pi(FeMg_3Si_6Al_8)$ кристалізаційного походження, що має розгалужену морфологію. Для зв'язування заліза в розгалужену фазу π вміст магнію в сплаві повинен бути до 1,5%. При концентрації магнію вище 1,5% підвищується коефіцієнт теплового лінійного розширення, зменшується відносне подовження, рідкотекучість.

Марганець підвищує зносостійкість, жароміцність. Облагороджується форма виділень залізої складової, що сприятливо позначається на міцносних характеристиках і пластичності сплаву при кімнатній температурі. Марганець - найбільш ефективний елемент - компенсатор заліза. Він змінює морфологію фаз, що містять залізо, сприяє формуванню розгалуженої фази, яка у присутності міді має склад $\alpha-(Fe, Mn, Cu)_3Si_2Al_{15}$. Найбільш ефективне зв'язування заліза в α -фазу при вмісті заліза в сплаві 0,7-0,8% відбувається при концентрації марганцю 0,5-0,6%. При цьому зменшується об'ємна частка фази $\beta-FeSiAl_5$, яка знижує корозій-

ну стійкість, пластичність, міцність. Частина марганцю при литті в кокіль, рідкому штампуванню, литті під тиском, як і мідь, залишається в твердому розчині алюмінію понад рівноважну концентрацію, підвищуючи ступінь викривленості кристалічної ґратки, а отже, і механічних властивостей сплаву. При концентрації марганцю меншій, ніж 0,5%, знижуються жароміцність, корозійні властивості, зносостійкість, а при вмісті марганцю вище 0,6%, збільшується коефіцієнт теплового лінійного розширення, зменшується міцність, рідкотекучість.

Цинк підвищує міцності властивості за рахунок підвищення ступеня легованості твердого розчину, оскільки яких-небудь інтерметалідів з іншими легуючими елементами він не утворює, і в процесах дисперсійного зміцнення при старінні участі не приймає. У деякій кількості цинк розчиняється у фазі $\alpha\alpha-(Fe, Mn, Cu)_3Si_2Al_{15}$ при отриманні виливок кокільним литвом, литвом під тиском, підвищує рідкотекучість, формозаповнюваність. При вмісті цинку більше 0Д% знижується жароміцність, збільшується коефіцієнт теплового лінійного розширення.

Залізо - зменшує коефіцієнт теплового лінійного розширення, підвищує жароміцність, запобігає пригару виливок до стінок прес-форм, підвищує твердість алюмінієвих сплавів. Вплив заліза на структуру і властивості залежить не тільки від його вмісту в сплаві, але і від якісного складу і кількісного співвідношення інших компонентів. Залежно від цього залізо утворює фази: $\beta-FeSiAl_5$, $\alpha-(Fe, Mn, Cu)_3Si_2Al_{15}$, $\pi-FeMg_3Si_6Al_8$. Перша має голкоподібну форму, є концентратором напруги, погіршуючи механічні і корозійні властивості сплаву. Підвищення зносостійкості і жароміцності відбувається в результаті утворення розгалужених фаз, що містять залізо: $\alpha-(Fe, Mn, Cu)_3Si_2Al_{15}$, $\pi-FeMg_3Si_6Al_8$, які сприяють армуванню твердого розчину алюмінію, блокуванню меж його зерен. При вмісті заліза в сплаві 0,7-0,8% знижується коефіцієнт теплового розширення. Вміст елементів-компенсаторів (Mg, Mn, Cr) підібраний так, щоб максимально зв'язати залізо в інтерметалідні фази α і π . При збільшенні вмісту заліза вище 0,8% при литві в кокіль і 1,6% - при рідкому штампуванні знижується корозійна стійкість, міцність, відносне подовження. При концентрації заліза менше 0,7% зменшуються твердість, жароміцність, зносостійкість, рідкотекучість, збільшується коефіцієнт теплового лінійного розширення.

Бор та олово - сприяють підвищенню рідкотекучості, формозаповнюваності і пластичності при кімнатній температурі, покращують оброблюваність різанням. Їх вплив на комплекс властивостей обумовлений модифікуючою дією на первинні кристали кремнію і алюмінієво-кремнієву евтектику одночасно.

Хімічний склад сплаву, що заявляється, і відомого сплаву приведений в таблиці 1.

Для приготування сплавів використовували наступні матеріали: алюміній марки А7 (ГОСТ 11069), кремній марки Кр1 (ГОСТ 2169), мідь марки М1 (ГОСТ 859), цинк марки Ц1 (ГОСТ 3640), магній марки Мг90 (ГОСТ 804), залізо карбонільне, марганець марки Мр1 (ГОСТ 6008).

Таблиця 1

Хімічний склад (мас. %)	Відомий сплав Mahle 138	Приклади сплаву, що заявляється						
		1	2	3	4	5	6	7
Si	17,0-19,0	18,9	18,2	18,0	18,8	18,5	19,4	19,9
Cu	0,8-1,3	0,53	0,55	0,57	0,56	0,6	0,51	0,56
Mg	0,8-1,3	0,15	0,15	0,19	0,2	0,18	0,19	0,18
Mn	до 0,2	0,54	0,5	0,52	0,56	0,55	0,53	0,52
Zn	до 0,2	0,29	0,30	0,31	0,27	0,24	0,25	0,28
Fe	до 0,7	0,8	0,76	0,8	0,7	0,73	0,71	0,75
Ti	до 0,2	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0,8-1,3	-	-	-	-	-	-	-
B	-	0,1	0,12	0,15	0,17	0,2	0,17	0,11
Sn	-	0,1	0,12	0,15	0,17	0,2	0,17	0,11
Al	основа	основа	основа	основа	основа	основа	основа	основа

З металів виплавляли лігатури: Al - 16,3%Fe, Al - 24,3%Mn, Al - 45,8%Cu, Al - 0,5%B. Цинк, магній, кремній, олово вводили в чистому вигляді. Сплави виплавляли в печі СШОЛ - 1.1.6.12-МЗ-У4.2, яку розігрівали до температури 900°C. Виготовлені лігатури, використані у відповідних пропорціях, а також алюміній марки А7 завантажували в графітовий тигель і розплавляли. Після зниження температури до 800°C вводили цинк і магній. Плавки проводили під покривно-рафінуючим флюсом (50% NaCl, 34% KCl, 12% NaF, 4% NaAlF₆). Після витримки в печі протягом 15-20 хв. розплав ретельно перемішували і провадили розливу.

Визначення всіх властивостей було продубльоване в електротермічному цеху БАТ «Втортех» на сплавах, які виплавлені на основі складнолегованого силуміну, наступного хімічного складу, мас. %: Si - 18,0-20,0; Cu - 0,6; Mg - 0,1; Mn - 0,5; Zn - 0,3; Fe - 0,8; B - 0,2; Sn - 0,2. Расшировку до необхідного вмісту компонентів здійснювали з використанням вище вказаних металів і лігатур.

Механічні властивості: тимчасовий опір розриву при кімнатній температурі $\sigma_{\text{в}}^{20^\circ\text{C}}$ (МПа) і відносне подовження (%) визначали за ГОСТ 1497. Випробування проводили на розривній машині Р-5 на зразках діаметром 10 мм, відлитих в металевий кокіл, який підігрітий до температури 250°C. Швидкість охолодження сплавів складала 2 К/с.

Тимчасовий опір розриву при 250°C - $\sigma_{\text{в}}^{250^\circ\text{C}}$ (МПа) і відносне подовження (%) при тій же температурі - визначали за ГОСТ 9651 на машині 1231-У10 на зразках, отриманих за тією ж методикою.

Твердість сплаву (НВ) вимірювали за ГОСТ 9012-59 на твердомірі Бріннелл моделі ТШ- 2М при кімнатній температурі втискуванням кулі ді-

аметром 10 мм при навантаженні 1000 кгс впродовж 30 секунд.

Випробування на знос проводили на машині СМЦ-2 без мастила (сухе тертя) за схемою диск-колодка при терті ковзання в парі з чавуном СЧ21-42 (И.В. Крагельский. Трение и износ. - М.: Mashiz, 1982, 232 с). Величину зносу визначали по втраті маси зразка в процесі випробувань. Точність зважування складала 0,0001 г.

Рідкотекучість оцінювали по прутковій пробі (Курдюмов А.В., Пикунов М.В., Чурсин В.М., Бибиков Э.М. Производстволивок из цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1986. - 416 с). Похибка вимірювань - 5%. Формозаповнюваність сплавів визначали по пробі Енглера-Еллерброка (Engler S., Ellerbrock R. Uber das Formfullungsvermogen von Aluminium-silizium-Legierungen bei Kokillenguss.-Aluminium, 1975, 51 № 4, S. 281-284). Похибка вимірювань - 3-5 %.

Лінійну усадку визначали по комплексній пробі на приладі Большакова (Колобнев И.Ф., Крымов В.В., Мельников А.В. Справочник литейщика. Цветное литье из легких сплавов. - М.: Машиностроение. 1974. - 416 с). Похибка вимірювань - 3%.

Коефіцієнт лінійного термічного розширення (а) визначали калориметричним методом. Експерименти проводили на повітрі, в температурному інтервалі 20 - 400°C. Швидкість нагріву складала 6 К/хв. Похибка вимірювань - 2%.

Випробування показали, що межа міцності сплаву прототипу (сплав марки Mahle 138) має більш широкий діапазон зміни межі міцності залежно від варіацій його хімічного складу ($\sigma_{\text{в}}^{20^\circ\text{C}} = 153 - 229 \text{ МПа}$), ніж наведений в джерелі інформації про сплав - прототип [Хохлев В.М. Производство литейных алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1980, с. 14-15. табл. 7-8], а саме 180-220 МПа.

Як впливає з таблиці 2, сплав, що заявляється, має високу міцність, пластичність, твердість, жаростійкість, зносостійкість, рідкотекучість,

формозаповнюваність, при близьких значеннях коефіцієнту теплового лінійного розширення, лінійної усадки.

Таблиця 2

Найменування технічних і експлуатаційних властивостей і їх одиниці вимірювання	Відомий сплав Mahle 138	Приклади сплаву, що заявляється							
1. Межа міцності σ_B при 20°C, МПа	180-220	220	245	240	259	290	207	210	
2. Відносне подовження при 20°C, %	0,2-0,8	1,35	1,1	1,1	1,4	1,2	1,3	0,87	
3. Твердість (НВ) при 20°C	90-125	100	116,5	120	134	140	122,5	131	
4. Жаростійкість при 250°C, $\sigma_B^{250^\circ C}$, МПа	98-103	98	110	115	124	131	109	110	
5. Відносне подовження при 250°C, %	0,4-1,0	1,6	1,5	1,3	1,7	1,5	1,15	1,15	
6. Знос в парі з чавуном J, мг/(1000 м*см ²)	63,7-70,6	54,0	60,0	54,2	65,2	56	52,0	44,0	
7. Рідкотекучість, пруткова проба, мм	645-660	650	750	730	770	760	740	705	
8. Лінійна усадка %	0,9-0,95	1,0	0,9	0,9	0,91	0,9	0,9	1,0	
9. Формозаповнюваність (h=100мм), мм-1	0,61-0,79	0,7	0,75	0,85	0,89	0,95	0,98	0,9	
10. Коефіцієнт теплового лінійного розширення в інтервалі температур (20-250)°C, $\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹	20,3-22,2	22,0	23,0	22,2	21,0	20,9	20,4	21,9	

Досягнення вищого технічного результату при використанні запропонованого сплаву в порівнянні із сплавом - прототипом підтверджується підвищенням межі міцності при кімнатній температурі в 1,45 разів; відносного подовження при тій же температурі в 1,5-6 разів; твердості (НВ) в 1,2-1,3 рази; жаростійкості при 250°C в 1,2-1,3 рази; відносного подовження при 250°C в 1,2-1,4 рази; зносостійкості (J) в 1,1-1,2 рази; рідкотекучості у 1,2 рази, формозаповнюваності у 1,2-1,3 рази.

Запропонований сплав був розроблений авторами в лабораторії ливарних конструкційних спла-

вів кафедри матеріалознавства Національної металургійної академії і апробований в електротермічному цеху ВАТ «Втортех».

Сплав рекомендується для отримання методом литва поршнів двигунів внутрішнього згорання високої питомої потужності замість сплаву АК22. Передбачуваний значний економічний ефект пов'язаний з усуненням операції термообробки, оскільки рівень механічних властивостей запропонованого сплаву в литому стані знаходиться на рівні механічних властивостей сплаву АК22 після термічної обробки.