

3. Смирнов О. М., Портной В. К., Пустовалова И. В., Шматков М. В. Реологическое поведение объемно-аморфных сплавов на основе циркония // Цветные металлы. – 2005. – № 1. – С. 78-80.

4. Wang S. H., Kuo P. H., Tsang H. T., Jeng R. R., Lin Y.L. The influence of Sc addition on the welding microstructure of Zr-based bulk metallic glass: The stability of the amorphous phase // Applied physics letters. – 2007. – 91. – P. 171902.

5. Fu X. L., Li Y., Schuh C. A. Temperature, strain rate and reinforcement volume fraction dependence of plastic deformation in metallic glass matrix composites // Acta Materialia. – 2007. – 55. – P. 3059-3071.

6. Iqbal M., Sun W. S., Zhang H. F., Akhter J. I., Hu Z. Q. Effect of additional elements on mechanical properties of a specially constituted Zr-based alloy // Materials Science and Engineering. – 2007. – A 447. – P. 167-173.

7. Weirong C., Zhou W., Guang H. Разработка и оптимизация составов массивных аморфных сплавов Zr-Al-Ni-Fe // Rare Metal Mater and Eng. – 2006. – 35. – № 7. – P. 1017-1020.

8. Jang J. S. C., Chang L. J., Hung T. H., Huang J. C., Liu C. T. Thermal stability and crystallization of Zr-Al-Cu-Ni based amorphous alloy added with boron and silicon // Intermetals. – 2006. – Vol. 14. – № 8-9. – P. 951-956.

9. Inoue A. Stabilization and high strain-rate superplasticity of metallic supercooled liquid // Mater. Sci. Eng. – 1999. – A267. – P. 171 – 183.

10. Abe T., Onodera H., Shimono M., Ode M. Thermodynamic Modeling of the Undercooled Liquid in the Ni-Zr System. Materials Transactions. – 2005. – Vol. 46. – №. 12. – P. 2838 – 2843.

Сиропоршнєв Л.М.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

СТАБІЛІЗАЦІЯ ВУГЛЕЦЕВОГО ЕКВІВАЛЕНТА В ПРОЦЕСІ ВИПЛАВЛЕННЯ ЧАВУНУ В ДУГОВІЙ ПЕЧІ З КИСЛОЮ ФУТЕРІВКОЮ

Під час плавлення й витримування чавуну в дуговій печі з кислою футерівкою відбуваються складні фізико-металургійні процеси. Для зручності аналізу цих процесів весь період плавлення і витримування металу можна розділити на три періоди.

У першому періоді відбуваються нагрівання та розплавлення металеві шихти. Зниження вуглецевого еквівалента у цьому періоді залежить в основному від вмісту в ши-

хті оксидів заліза, від електричної потужності та розмірів печі й становить, за літературними даними, 0,2...0,1%.

У другому періоді, який звичайно триває 1,0...1,5 год, відбувається перегрівання металу до 1480...1520 °С. За температури 1350...1370 °С утворюється кислий шлак, який знижує швидкість нагрівання рідкого металу. Для прискорення підігрівання металу шлак, як правило, скочують.

Вплив високої температури й атмосферного кисню, який утворюється в зоні горіння електричної дуги, призводить до значного угару вуглецю у верхніх шарах ванни печі. З нижніх шарів ванни, де концентрація вуглецю вища, відбувається дифузія у верхні, більш нагріті шари, де він піддається інтенсивному угару. Таким чином, зниження вмісту вуглецю відбувається в усьому об'ємі.

Перегрівання металу через шар кислого шлаку також призводить до угару вуглецю, оскільки в зоні дії дуги температура значно вища рівноважної для реакції відновлення кремнезему вуглецем. При перегріванні розплаву вище 1450 °С вуглець окислюється не тільки внаслідок відновлення кремнію із кислого шлаку, але і внаслідок відновлення кремнію з футерівки. Таким чином, кислий шлак, що знаходиться на дзеркалі ванни рідкого чавуну в печі, не перешкоджає його зневуглецюванню.

Під час плавлення в печі з основною футерівкою спостерігається інша картина. Прогрівання здійснюється через шар карбідного шлаку, активність якого вища за активність вуглецю, тому угар останнього практично відсутній.

На третьому етапі здійснюється витримування та періодичне підігрівання рідкого чавуну за порційного відбору його для модифікування й розливання.

Таким чином, дугові печі з кислою футерівкою при подібному технологічному процесі не є оптимальним плавильним агрегатом, тому що кожен цикл підігрівання призводить до додаткового зневуглецювання.

Для визначення можливості стабілізації вуглецевого еквівалента чавуну проведено дослідження динаміки зміни вмісту вуглецю по ходу плавлення його в кислій дуговій печі моделі ДСП-1,5.

Вуглецевий еквівалент визначали термографічним методом. Методика дослідження полягала в періодичному zalиванні зразків для термографічного аналізу вуглецевого еквівалента чавуну, обробленого нікель-магнієвою лігатурою марки НМг15 (ТУ-14-2р-338-2000) перед вторинним графітувальним модифікуванням.

Для визначення впливу кількості металу на динаміку угару вуглецю в дуговій печі з кислою футерівкою маса шихти трьох плавок відповідно становила 3,5; 3,0; 2,5 тонни.

Результати дослідження наведено в табл. 1. Складові шихти в усіх плавках були ідентичні, вуглецевий еквівалент металозавалки становив 4,7%.

Таблиця 1. Зміна вуглецевого еквівалента при витримуванні чавуну у дуговій печі з кислотою футерівкою ДСП-1,5

Маса шихти, кг	Час виміру, хв.	Вуглецевий еквівалент, Сe, %
3500	280	4,30
	310	4,30
	362	4,22
	370	4,20
	390	4,16
	435	4,07
	480	3,98
3000	288	4,25
	310	4,23
	348	4,17
	374	4,07
	410	3,98
	440	3,92
2500	282	4,25
	308	4,20
	330	4,08
	358	3,98

Як видно із табл. 1, у перших ковшах рідкий метал, який розливається, мав вуглецевий еквівалент близько 4,2...4,3%. Отже, в процесі розплавлення та перегрівання металу угорає 8,7...10,0% вуглецю, що цілком узгоджується з даними інших дослідників.

У процесі витримування та періодичного підігрівання металу в печі в процесі його розливання вуглецевий еквівалент чавуну знижувався внаслідок угару вуглецю і становив до кінця плавлення 3,9...4,0%. Ця величина на 0,4...0,5% нижча оптимальної, що є причиною підвищеної усадкової пористості у виливках і низької ефективності вторинного графітизувального модифікування, яке застосовується для усунення вибілення в тонких перерізах виливка.

Швидкість угару вуглецю за металозавалки масою 3500 кг становить біля 0,1% за годину, а при 2000 кг – 0,2% за годину. Очікуваного зниження загального угару вуглецю внаслідок скорочення тривалості витримки за меншої початкової маси шихти не відбувалося, а вуглецевий еквівалент чавуну до кінця розливання всіх трьох плавкок залишався приблизно однаковим 3,9...4,0%. Здавалось, що скорочення витримки розплаву за високих температур має знижувати втрати вуглецю, однак це положення, яке справедливе для

індукційних печей, мабуть не можливо застосовувати для дугових печей з кислою футерівкою.

Окислення вуглецю атомарним киснем, який утворюється при горінні електричної дуги, за дуже високих температур відбувається з поверхні ванни печі. Кислий шлак, як відомо, не перешкоджає цьому процесу. До того ж, він знижує швидкість нагрівання металу й тому періодично скачується. У результаті нагрівання й зневуглецьовування верхніх шарів електричною дугою по перерізу ванни протягом усього плавлення підтримується градієнт концентрації вуглецю та температури, що є причиною постійного дифузійного підведення вуглецю з нижніх шарів розплаву в зону окислення.

Зниження маси металозавалки зменшує в основному глибину ванни печі, практично не змінюючи площу її поверхні, з якої відбувається угар вуглецю. Отже, за однакової концентрації вуглецю у верхніх шарах, час його дифузії в зону окислювання з нижніх шарів ванни при зменшенні металозавалки також зменшується. А швидкість спливання, яка пропорційна швидкості угару, збільшується. Крім того, в разі малої глибини ванни, електрична дуга прогріває розплав значно інтенсивніше, при цьому коефіцієнт дифузії, як відомо, збільшується пропорційно температурі.

Також, під час витримування і періодичного підігріванні рідкого чавуну в дуговій печі мають місце значні коливання температури.

Отже, метал, що виплавляється в дугових печах з кислою футеровкою не задовольняє вимогам, які пред'являються до базового розплаву під час виробництва гідропротних виливків з чавуну з кулястим графітом без відбілення. Такий метал має знижений вміст вуглецю й великі коливання температури модифікування. Це є причиною підвищеної схильності чавуну до відбілення й нестабільного засвоєння магнію з модифікатора. Наслідком цього є підвищена схильність до усадкової пористості та зниження міцності й пластичності чавуну.

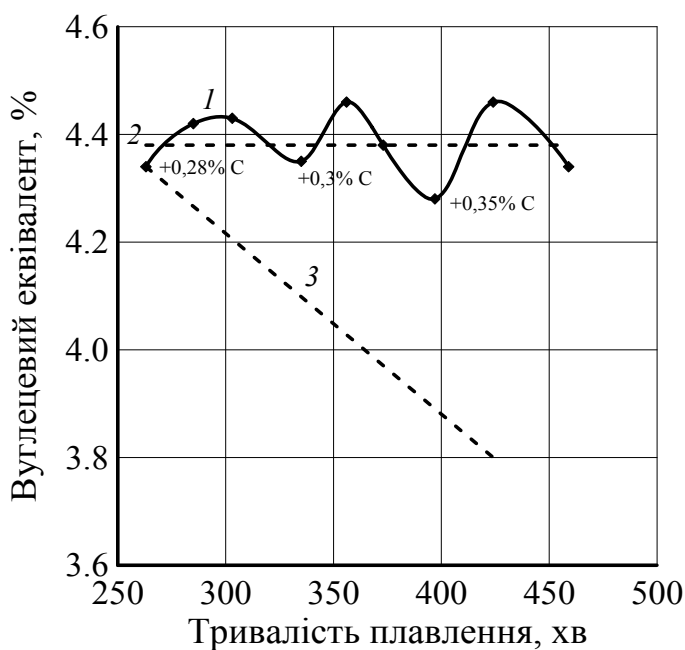
Для відпрацювання методики стабілізації вуглецевого еквівалента в заводських умовах проведено дослідну плавку в дуговій печі ДСП-1,5 з кислою футеровкою. Суть плавки полягав в періодичному контролі вуглецевого еквівалента та в навуглецьовуванні розплаву графітовим порошком (ТУ1916-109-71-2000) до вуглецевого еквівалента, рівного 4,4%. Кремній, що додається під час вторинного модифікування феросиліцієм, піднімав цю величину до 4,6...4,7%. при якій відзначається мінімальна схильність високоміцного чавуну до відбілення й мінімальна усадкова пористість. Результати плавки наведено в табл. 2 та показано на рис. 1.

Після розплавлення шихти і скочування шлаку, вуглецевий еквівалент металу складав 4,3%. На дзеркало металу додавали розсіпом 0,28% графітового порошку. Масу науглецьовувача, який вводили, визначали виходячи з таких вимог:

- підвищити вуглецевий еквівалент до 4,4% на 0,1%;
- компенсувати очікуваний годинний угар вуглецю – 0,1%;
- з огляду на низький ступінь засвоєння графіту чавуном у дуговій печі з кислою футерівкою (~ 60...70%), мати коефіцієнт запасу науглецьовувача біля 1,4...1,5.

Таблиця 2. Навуглецьовування чавуну в дуговій печі з кислою футерівкою

Час виміру, хв.	Се, % за показами приладу	Хімічний аналіз, %			Присадка графіту, %
		C	Si	Се	
263	4,34	3,57	2,20	4,30	
270	-	-	-	-	0,28
285	4,42	3,72	2,20	4,45	
303	4,43	3,75	2,20	4,48	
335	4,35	3,60	2,20	4,33	
338	-	-	-	-	0,3
356	4,46	3,70	2,22	4,43	
373	4,38	3,66	2,22	4,40	
397	4,28	3,55	2,22	4,28	
400	-	-	-	-	0,35
424	4,46	3,71	2,23	4,45	
459	4,34	3,58	2,23	4,32	



1 – зміна вуглецевого еквівалента в процесі плавлення; 2 – середнє значення Се в рідкому чавуні; 3 – зниження Се без науглецьовування

Рис. 1. Стабілізація вуглецевого еквівалента (Се) періодичним введенням графітового порошку в дугову піч

Наближена формула для визначення кількості введеного графіту, необхідного для стабілізації вуглецевого еквівалента:

$$m = 0,015 (4,4 - C_e + 0,15\tau) P,$$

де C_e – показання приладу (%);

P – маса металу в печі (кг);

τ – проміжок між двома послідовними циклами науглецювання (год).

У результаті науглецювання, як видно з табл. 2 та рис. 1, вуглецевий еквівалент металу підвищився до 4,45...4,48%, проте через годину знизився до 4,33%. Слід зазначити, що виробничі умови не дозволили продовжити час спільного витримування графіту з рідким металом у печі, оскільки це порушувало прийняту на заводі циклічність ковшового модифікування та розливання високоміцного чавуну. Тому, частина графіту, який не завоювався, з печі потрапляла в розливний ківш і скачувалося разом зі шлаком, тим самим знижуючи ефективність науглецювання.

Через годину після першої присадки графіту в піч додавали 0,3% графітового порошку. У результаті цього вуглецевий еквівалент чавуну підвищився до 4,43%, ще через годину він знову впав до 4,28%. Третім додаванням 0,35% порошку графіту вдалося стабілізувати вуглецевий еквівалент на оптимальному рівні практично до закінчення плавки.

Як видно з рис. 1, усереднена величина вуглецевого еквівалента рідкого металу при науглецюванні в дуговій печі є близькою до оптимальної – 4,4% (крива 2), у той час, як без науглецювання базовий метал в процесі плавки весь час знеуглецювався (крива 3).

Таким чином, періодичною присадкою графіту на дзеркало ванни дугової печі можна підтримувати вуглецевий еквівалент чавуну на рівні, близькому до оптимального. Безперервний аналіз даного параметра, який необхідний для визначення кількості та часу додавання у метал науглецювача, слід здійснювати термографічним контролем.

Смірнова Я.О., Гурія І.М.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

ПЕРСПЕКТИВИ ВИГОТОВЛЕННЯ ШАРУВАТИХ МЕТАЛ-ІНТЕРМЕТАЛІЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ РІДКОФАЗНИМИ МЕТОДАМИ

E-mail: yana.luschay@gmail.com

Огляд ринку від Grand View Research [1] за 2014 рік показує, що алюміній є лідером серед матеріалів матриць металевих композитів, а його використання продовжуватиме рости до 2022 року. Такий прогноз пов'язаний з постійним збільшенням попиту на легкі високоміцні деталі. Наступними за об'ємом, завдяки своїм багатофункціональним властивостям, ста-