

4. Emelyushin, A. N. (2000). Vliyanie titana i bora na iznosostoykost' chuguna prednaznachennogo dlya mehanicheskoy obrabotki nemetallicheskih materialov instrumenta iz hromistyh chugunov. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Chernaya metallurgiya, 2, 28–29.

5. Mohanad, M. K., Kostyk, V., Domin, D., & Kostyk, K. (2016). Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(5(80)), 45–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65454>

6. Kostyk, K. O. Development of the high-speed boriding technology of alloy steel [Text] / K. O. Kostyk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*. – 2015. – Vol. 6, Issue 11 (78). – P. 8–15. doi: 10.15587/1729-4061.2015.55015

УДК 669.715:536.46:539.24/.27;669.788

В. І. Белік, А. Г. Пригунова, М. В. Кошелєв, А. Г. Вернідуб

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: belikv@ukr.net

ВПЛИВ ВОДНЕВОГО ОБРОБЛЕННЯ АЛЮМІНІЙ-КРЕМНІЄВОГО СПЛАВУ НА ФОРМОУТВОРЕННЯ ТА РОЗМІР ПЕРВИННИХ КРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ

Згідно з сучасними уявленнями водень може позитивно впливати на властивості алюмінієвих сплавів. Так, багатьма дослідженнями встановлено, що водневе оброблення (ВО) сприяє подрібненню кристалів первинного кремнію в силумінах заевтектичного складу [1,2,3]. Такий ефект спостерігався при різних методах ВО, у тому числі - зануренні вологого азбесту в розплав [1], витримці розплаву в атмосфері водяної пари [2], введенні водню разом з електролітично наводненою шихтою [3]. Вплив водню посилюється при збільшенні його вмісту в розплаві, що твердне. Цьому сприяють більш тривалий термін газонасичення [4] та швидкісне охолодження розплаву в формі. В роботах [2,3,4,] останнє змінювалося в діапазоні від 0,04 °C/c до 70 °C/c. Проте, аналізуючи дію ВО на розмір первинних кристалів кремнію, поза увагою дослідників залишився такий важливий чинник, як форми їх росту. Тому метою даної роботи є визначення дії водневого оброблення та швидкості тверднення розплаву на розмір і морфологію кристалів первинного кремнію в заевтектичних силумінах.

Дослідження проведено на бінарному сплаві Al - 19 % Si. Водневе оброблення розплаву здійснювали продуванням паром. Для цього у заливний ківш з розплавом

занурювали ливарний дзвіночок з вологою мінеральною ватою: вага вати - 25 г, води - 20 г. Для запобігання зниження температури в ході газонасичення ківш розташовували в тиглі з розплавом, який знаходився в печі. ВО починали при температурі 760°C, за 60 секунд оброблення температура знижувалася на 25 - 30 °С. Тривалість витримки після газонасичення складала 40 – 45 с. Швидкості охолодження в рідко-твердому стані змінювали від 0,35 °С/с до 45,8 °С/с. Це забезпечувалося використанням кокілів, виготовлених із чавуну, сталі та графіту з різною товщиною стінок. Рівень газонасичення оцінювали порівнянням щільності зразків з вихідного та газонасиченого розплаву. Пористість виливків після ВО підвищувалася на 0,4...0,7 %.

З отриманих зразків виготовляли шліфи для металографічних досліджень центральної, середньої та периферійної зон по радіусу вилівка. За фотографіям мікроструктур визначали довжину та ширину кристала, за якими здійснювали розрахунок його розмірного параметру, як відношення довжини до ширини. Аналіз різновидів форм первинних кристалів кремнію дозволив виділити три основні типи: «зірка», «гранник» та «трикутник», приклади яких наведено на рис 1.

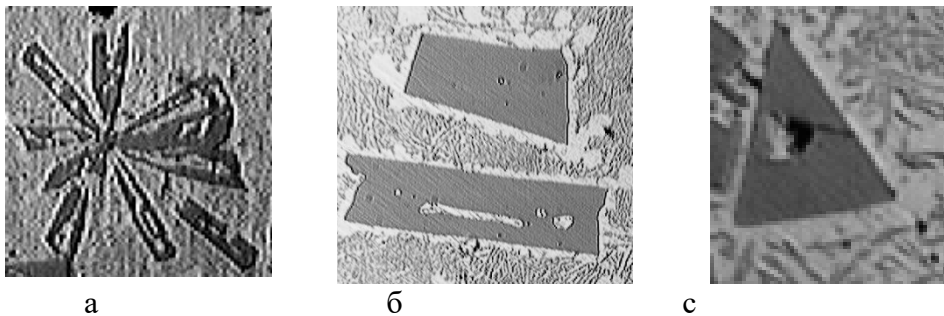


Рис. 1 – Типові форми первинних кристалів кремнію: а - «зірка»; б - «гранник»;
с - «трикутник»

Встановлено, що незалежно від швидкості охолодження, кількість кристалів типу "трикутник" не перевищує 10 % від загальної кількості первинних кристалів кремнію. Тому подальші дослідження проведено на кристалах типу "зірка" та "гранник", чисельність яких при мінімальній для даного дослідження швидкості охолодження (0,35 °С/с) становить відповідно 45 і 55 %. Зі зростанням швидкості охолодження до 45,8 °С/с кількість кристалів типу «зірка» збільшується до 65 % за рахунок зменшення числа "гранників" до 25 %. Водневе оброблення розплаву не змінило співвідношення кристалів різних типів форм. Усереднені значення довжини кристалів (тобто його максимального розміру) в центральній, середній та периферійній зонах по радіусу виливків і розмірного параметру кристалів типу «зірка» і «гранник» наведено на рис. 2.

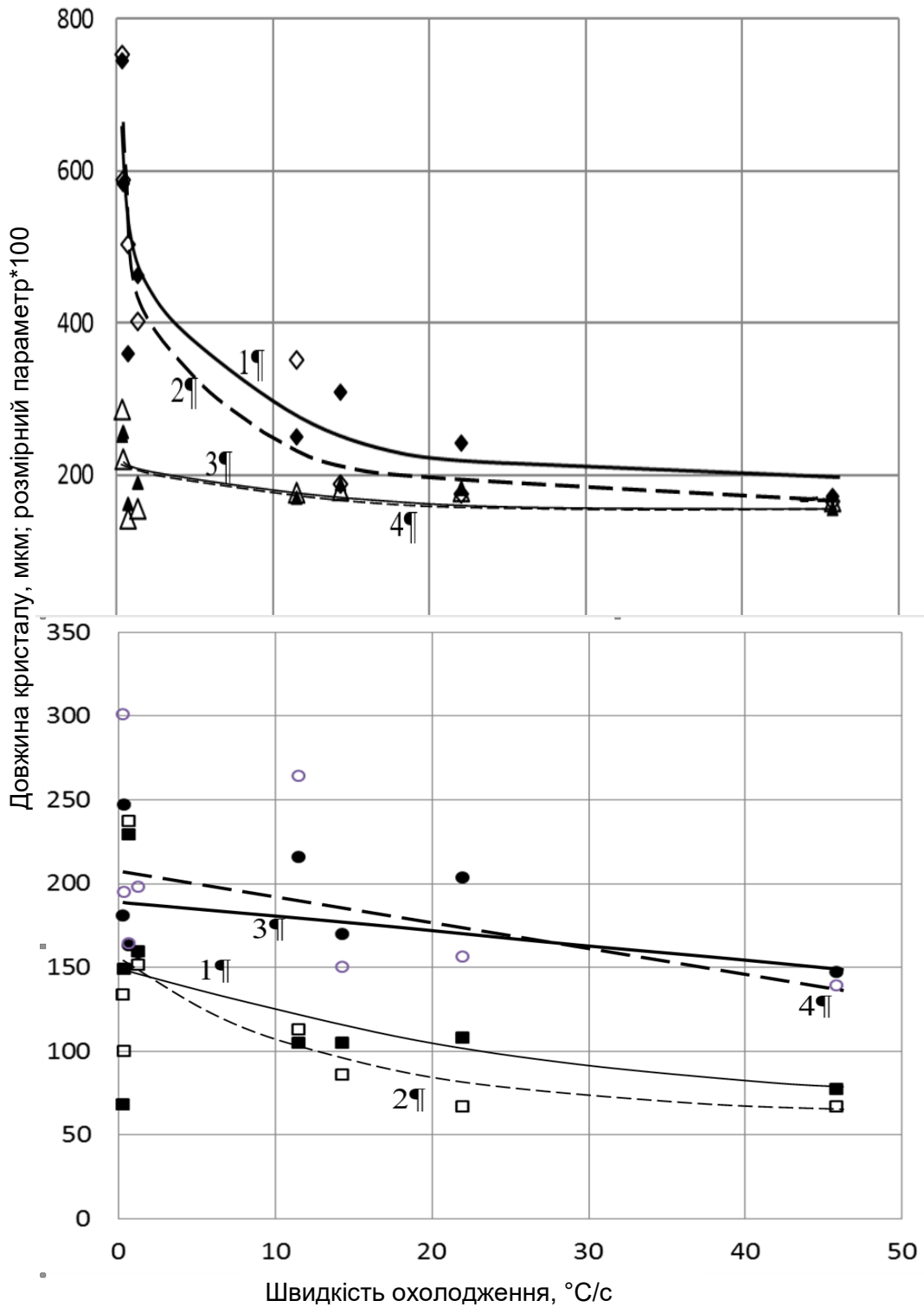


Рис. 2 – Довжина кристалів первинного кремнію типу «зірка» і «гранік» та їх розмірний параметр в залежності від швидкості охолодження і водневої обробки: 1, 3 – без водневої обробки; 2, 4 – після водневої обробки; 1 (◆), 2 (◇) – довжина кристала типу «зірка» (верх); 3 (▲), 4 (Δ) – розмірний параметр кристала типу «зірка» (верх);

1(■), 2 (□) – довжина кристала типу «гранник» (низ); 3 (●); 4. (○) – розмірний параметр кристала типу «гранник» (низ)

Як видно з взаєморозташування кривих 3 і 4, на величині розмірного параметра кристалів типу «зірка» (рис. 2, верх, криві 3 і 4) вплив ВО не позначився. На кристалах «гранник» (рис. 2, низ, криві 3 і 4) водневе оброблення сприяло зменшенню їх компактності при малих швидкостях охолодження і збільшенню при великих.

Можна відзначити, що ВО приводить до подрібнення кристалів первинного кремнію обох типів (криві 1 і 2, рис 2), причому такий ефект проявляється при швидкості охолодження, що дорівнює або перевищує 3 °С/с, і більш істотний для кристалів типу «зірка».

Для використання ефекту подрібнення в результаті ВО у промислових умовах необхідно провести додаткові дослідження: вивчити вплив обох типів кристалів на властивості сплаву та визначити оптимальну швидкість охолодження вилівка з урахуванням описаного вище збільшення співвідношення кількості кристалів типу «гранник» та «зірка» на користь останнього при збільшенні швидкості охолодження та більш виражений ефект подрібнення кристалів первинного кремнію у разі їх формування за типом «зірка», який має місце при застосуванні ВО.

Список літератури

1. Попова М.В. Влияние обработки расплава на параметры микроструктуры и тепловое расширение силуминов с различным содержанием кремния /М.В. Попова, Н.В. Кибко // Обработка металлов. – 2014. – № 2 (63). – С. 107–116.

2. Кибко Н.В. Формирование структуры и физико-механических свойств силуминов при обработке расплава водородсодержащими веществами: дис. ... канд. техн. наук, Сибирский государственный индустриальный университет Новокузнецк, 2015.

3. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 01.05.2013, Новосибирск, 2013.

4. Купчинська А. О. Структуроутворення в заевтектичних силумінах при комплексному обробленні в рідкому та твердому стані для підвищення механічних властивостей і зносостійкості: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Міністерство освіти і науки України Національна Металургійна Академія України, Дніпро, 2016.

В. І. Бєлік, Т. Г. Цир, В. М. Дука

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

e-mail: belikv@ukr.net

ПЕРЕМІШУВАННЯ РОЗПЛАВУ ЯК НЕОБХІДНИЙ ЕЛЕМЕНТ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОГО ТЕРМІЧНОГО МЕТОДУ (DTM)

У даний час у ливарному виробництві широко використовується метод реолиття, що забезпечує високі властивості виробів. Він заснований на ефекті зниження зусиль пресування розплаву в твердо-рідкому стані у разі формування в ньому глобулярної форми кристалів твердого розчину алюмінію (α -фази). Найбільш технологічним простим методом отримання такої структури є так званий прямий термічний метод, DTM [1]. Він полягає в тому, що розплав з малим перегрівом виливають у форму з великою теплопровідністю та малою теплоємністю. При цьому розплав швидко охолоджується до температури початку формування двофазної зони. Потім за умов, близьких до ізотермічних, витримується до утворення необхідного об'єму твердої фази, після чого проводять загартування заготовки. Отримання глобулів із середнім розміром менше 100 мкм вважається хорошим результатом.

Згідно з [1] механізм отримання глобулярної структури полягає в тому, що висока швидкість охолодження при знятті перегріву сприяє масовому зародженню кристалів, а зниження температури розплаву - їх «виживанню», тобто кристали, що зародилися, не розплавляються під дією тепла розплаву. Дендритний розвиток кристала може бути пригнічений (формується глобулярна структура), якщо кількість зерен в одиниці об'єму досить висока для даної швидкості охолодження [2]. Тобто формуванню дендритної структури сприяє збільшення кількості зародків і зниження швидкості їх зростання.

Вирішальною умовою формування глобулярної структури у виливку при здійсненні прямого термічного методу є двоетапне затвердіння: з великою інтенсивністю охолодження на першому етапі і з малою на другому. Інтенсивне охолодження розплаву на першому етапі досягається його низьким перегрівом. Це сприяє як процесу масового зародження кристалів внаслідок високого переохолодження, так і їх подальшому «виживанню», оскільки температура розплаву після заливання знижується до