

Імпульсна МГД обробка алюмінієвих розплавів з використанням керованого пінч-ефекту

М. А. Слажнєв, кандидат технічних наук

Ю. П. Скоробагатько, кандидат технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Наведені результати дослідження ефективності застосування вдосконаленого способу теплового та імпульсного МГД впливу на рідкий алюмінієвий сплав А356.0 в каналах магнітодинамічної установки, обумовленого комплексною дією факторів пінч-ефекту і розрідження, зокрема дугових розрядів та імпульсів тиску, внаслідок імпульсного характеру протікання струмів. Показано, що тепла та імпульсна МГД обробка розплаву інтенсифікує процес дегазації, сприяє покращенню структури та підвищенню фізико-механічних властивостей сплаву у литому стані.

Один із перспективних напрямків підвищення ефективності ливарних технологій пов'язаний із використанням фізичних явищ в процесах позапічної обробки металевих розплавів з метою управління структурою та властивостями литих виробів.

При цьому значна увага приділяється дослідженню імпульсних процесів теплосилової дії на розплави алюмомідних сплавів [1]. У ряді випадків це з енергетичної точки зору більш ощадливо, ніж вплив на металеві розплави зовнішніми силами, що не змінюються у часі.

Розвиток досліджень [2, 3], що раніше проводили, дозволив розробити нову, більш досконалу схему імпульсних процесів теплосилової дії (рис. 1). Її особливістю є те, що імпульсному впливу піддається розплав не тільки в локальній зоні 6 (рис. 1) центрального каналу, але і у всьому об'ємі Ш-подібного каналу та донній частині тигля МДУ.

Це забезпечується за рахунок проходження через рідкометалевий провідник (в даному випадку алюмінієвий розплав) у порожнині Ш-подібного каналу 4 (рис. 1) пакетів імпульсів електричного струму підвищеної густини (від 10 до 25 А/мм²) (I_1 та I_2), які зумовлюють знакозмінну силову і теплову дію на розплав. Вона зумовлена циклічним виникненням лінійного пінч-ефекту 7 із повним розривом рідкометалевого провідника у локальній зоні 6 в центральній гілці Ш-подібного каналу із припиненням протікання індукованих струмів у всіх гілках індукційного каналу (бічних і центральній). При подальшому відновленні цілісності рідкометалевого провідника, який працює у режимі короткого замикання, у центральній гілці Ш-подібного каналу електричний ланцюг знову замикається і протікання струмів в бічних каналах поновлюється.

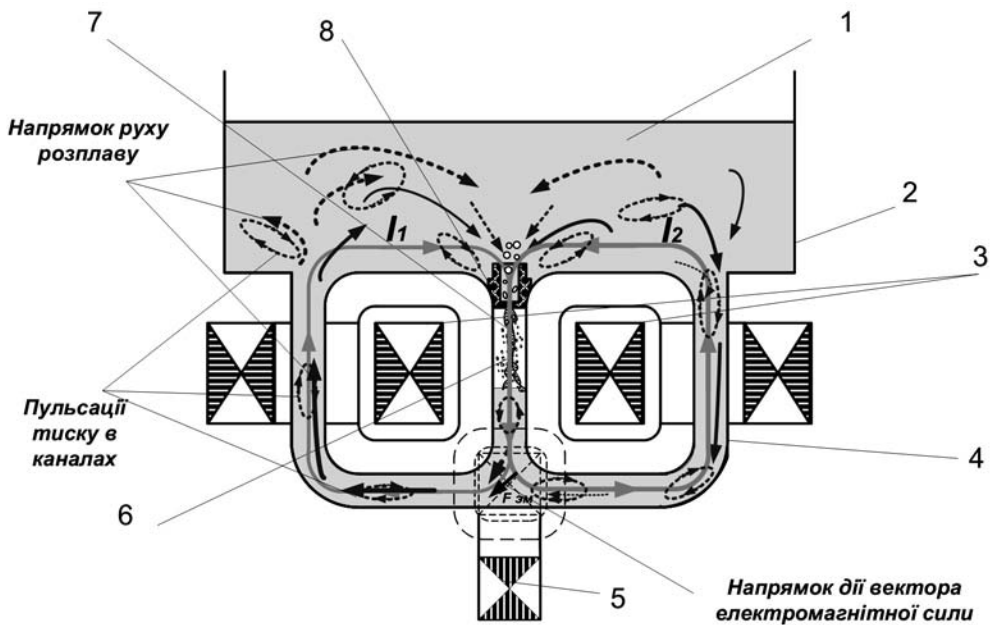


Рис. 1. Схема створення пульсацій тиску в Ш-подібному каналі магнітодинамічної установки. 1 – алюмінієвий розплав (А356.0), 2 – тигель, 3 – індуктори, 4 – Ш-подібний канал, 5 – електромагніт, 6 – локальна зона, 7 – зона виникнення пінч-ефекту, 8 – дроселюючий насадок.

Для ініціювання такого режиму роботи індуктори 3 МДУ (рис. 1) вмикали у протифазний режим роботи (фази АВ-ВА). У цьому випадку в центральній гілці Ш-подібного каналу індуковані в бічних каналах електричні струми (I_1 і I_2) додаються і у центральній гілці має місце суперпозиція струмів подвоєної густини ($> 25 \text{ А/мм}^2$).

При цьому, через металевий розплав в отворі дроселюючого насадку 8 (діаметр 10 мм), встановленого на усті центральної гілки каналу, проходить сумарний електричний струм (I_1 і I_2) густиною від 60 до 180 А/мм^2 , і далі по струменю рідкого металу, що вільно витікає з насадка та з'єднується з рідкометалевим провідником (розплавом) в робочій зоні.

Густина електричного струму у струмені розплаву, що вільно витікає із отвору насадка (швидкість від 1,0 до 1,5 м/с), істотно перевищувала критичне значення (25 А/мм^2), при цьому гідростатичний тиск на нього не діяв. В результаті в локальній зоні 6 нижче насадка 8 мало місце повне перетискання струменю металу під дією сил лінійного пінч-ефекту ($p \approx 0,1 - 0,3 \times 10^3 \text{ Па}$) із руйнуванням його цілісності 7. Після цього відбувалася стабілізація поверхні і форми струменю розплаву, електричне коло замикалося, і процес знову повторювався. Таким чином, мало місце ініціювання циклічного керованого лінійного пінч-ефекту в локальній зоні каналу МДУ.

В результаті у гілках Ш-подібного каналу МДУ мав місце процес, який періодично повторювався. Він супроводжувався виникненням електричної дуги, підвищенням температури і пульсаціями тиску та складався з періодів

протікання струмів підвищеної густини в розплаві (сила струму – від 5 до 25 кА) тривалістю від 0,1 до 0,5 с і їх відсутності.

З метою якісної експериментальної оцінки ефективності вдосконаленого способу позапічної обробки рідкого алюмінієвого сплаву було проведено ряд експериментів, де у якості дослідного використовували доевтектичний силумін марки А356.0. Час та режим обробки вибирали, виходячи із наявності 50 кг маси розплаву, що перебував у тиглі МДУ, реалізації параметрів роботи електромагнітних систем, при яких забезпечувалось циркуляційне багатократне (до 8 разів) переміщення вказаного об'єму розплаву через локальну зону обробки з масовою витратою від 0,4 до 0,6 кг/с та створювались умови для виникнення стійкого лінійного пінч-ефекту, що періодично повторювався із повним розривання рідкометалевого провідника з утворенням електричної дуги та імпульсу тиску. Температуру розплаву в тиглі МДУ в процесі обробки підтримували у межах 720 – 740 °С, тривалість обробки – 15 хв.

В процесі комплексної обробки алюмінієвого сплаву марки А356.0, розплавленого заздалегідь в печі опору і залитого в МДУ, проводили відбір технологічних проб для дослідження фізико-механічних властивостей (до обробки і після, відповідно протягом 15, 30, 45 та 60 хв). Одночасно проводили відбір проб для визначення вмісту водню (вакуум-проби).

Аналіз отриманих даних фізико-механічних властивостей зразків в литому стані показав (рис. 2), що порівняно з вихідним станом, після 15 хв обробки тимчасовий опір розриву сплаву А356.0 в литому стані збільшився в 1,22 рази (із 173,8 до 211,04 МПа), а відносне видовження – у 2 рази (від 2,75 % до 5,5 %). В разі проведення обробки впродовж 30 хв відбувалось зниження тимчасового опору розриву зразків сплаву майже до початкового значення і помірне (при обробці тривалістю від 15 до 45 хв) зменшення їх пластичних властивостей. Подовження обробки від 30 до 60 хв призводило до стабілізації співвідношення пластичних і міцносних властивостей сплаву.

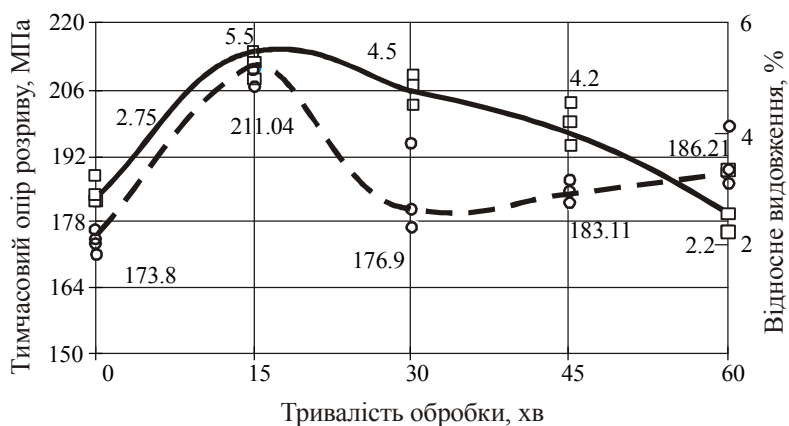


Рис. 2. Залежність механічних властивостей алюмінієвого сплаву марки А356.0 (в литому стані) при імпульсній обробці керованим пінч-ефектом від часу обробки. ○○○ – тимчасовий опір розриву, МПа, □□□ – відносне видовження, %.

Аналіз вмісту водню в алюмінієвому сплаві проводили методом гідростатичного зважування вакуум-проб, відібраних в процесі обробки силуміну А356.0. Встановлено, що комплексна імпульсна обробка вихідного розплаву із початковим вмістом водню $0,5 - 0,7 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металу (густиною від $2,55 \text{ г/см}^3$) по закінченню безперервної обробки протягом 15 хв, забезпечила зниження вмісту водню до значення не більше $0,1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металу (густина не нижче $2,615 \text{ г/см}^3$) (рис. 3). Подовження часу обробки до 20 – 25 хв приводить до ще більш глибокого видалення розчинених в розплаві газів до рівня нижче $0,05 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металу (густина $2,68 \text{ г/см}^3$ і вище).

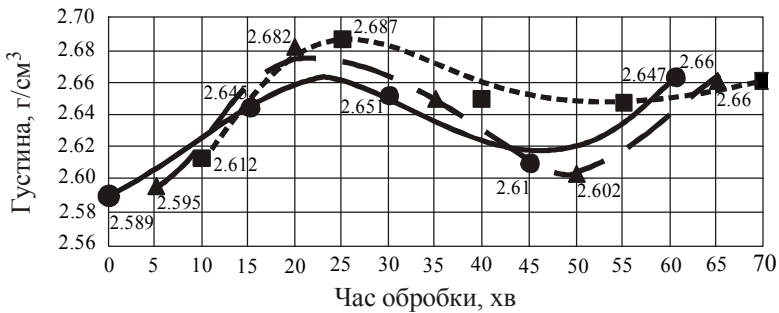


Рис. 3. Зміна густини зразків сплаву А356.0 в процесі його обробки. ●—● – партія 1, ▲—▲ – партія 2, ■—■ – партія 3.

З метою уточнення уявлень стосовно механізмів зміни механічних властивостей литих зразків алюмінієвого сплаву, обробленого під дією факторів ініційованого в МДУ пінч-ефекту, зокрема, високої температури дуги і імпульсної силової дії, було проведено дослідження мікроструктури зразків досліджуваного алюмінієвого сплаву марки А356.0 (рис. 4).

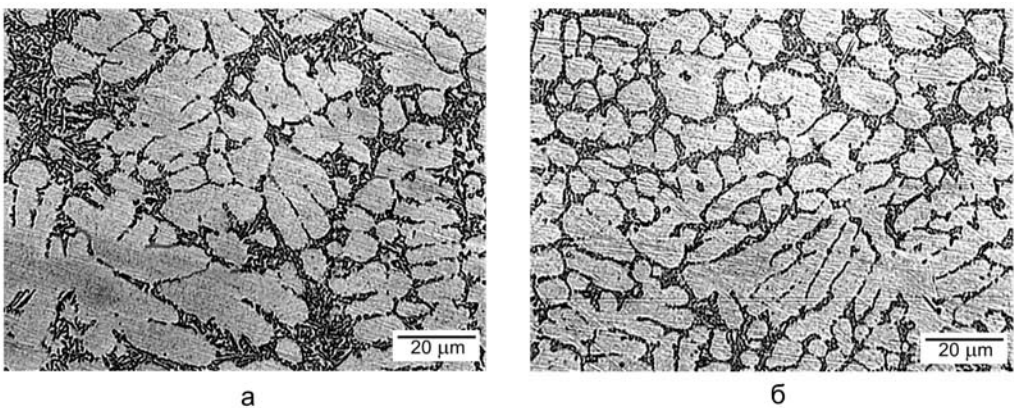


Рис. 4. Мікроструктура зразків алюмінієвого сплаву марки А356.0. а – вихідний метал (до обробки), б – метал після імпульсної обробки протягом 15 хв.

Встановлено, що після 15 хвилинної обробки відбулося подрібнення зерен α -твердого розчину алюмінію до $7 - 10 \text{ мкм}$, при цьому розміри скупчень

кремнію, що знаходяться у вихідному металі, зменшилися від 20 – 28 до 10 – 15 мкм і були рівномірно розподілені, хоча і зберегли гострі кути. В α -твердому розчині виділилася вторинна фаза, що складається з темно-сірих включень, рівномірно розподілених в структурі у кількості 1,5 %. Розмір цих включень – від 16 до 30 мкм. Включення, що утворилися, відповідають фазі $Al_8Si_6Mg_3Fe$ та мають вигляд світлих скелетів у вигляді ієрогліфів.

Якісне поліпшення структури зразків сплаву, що пройшов комплексну обробку, в даному випадку інтерпретується як наслідок багатofакторного впливу на сплав у рідкому стані. Слід відзначити позитивний вплив імпульсів тиску, зумовлених пінч-ефектом на дегазацію розплаву на стадії його обробки. Зокрема, при цьому забезпечується глибоке очищення сплаву від водню (до $0,05 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металу) без застосування спеціальних реагентів чи широко вживаних на сьогодні в ливарному виробництві способів дегазації алюмінієвих сплавів шляхом їх продування інертним газом (аргоном). Запропонований новий спосіб дозволяє також відкрити нові можливості поліпшення якості сплавів на стадії їх приготування або ж перед безпосередньою заливкою в ливарну форму, особливо якщо для цієї мети використовується один електротехнологічний агрегат.

Іншим чинником позитивного впливу на показники фізико-механічних властивостей таких сплавів є теплова (циклічне підвищення температури в зоні дугового розряду) та імпульсна силова дія на рідкий стан сплаву, яка впливає на розподіл та диспергування наявних мікронеонорідностей, неметалевих включень та морфологію алюмінієвого сплаву, що відповідає сучасним уявленням стосовно механізму таких процесів [4].

Досвід попередніх досліджень і отриманих результатів підтверджує доцільність подальшого розвитку способів і методів комплексної електрофізичної дії на рідкий розплав шляхом організації керованих імпульсних процесів, розробки спеціального електротехнологічного обладнання, систем управління та джерел живлення. В якості базового обладнання для реалізації таких процесів перспективним є застосування магнітодинамічних установок. Загалом такі підходи є невід'ємною частиною стратегії розвитку функціональних і прикладних технологічних аспектів застосування магнітодинамічного ливарного устаткування у промисловості.

Література

1. Дубоделов В.И., Середенко В.А., Фикссен В.Н. Оценка технологической эффективности режимов комплексной магнитодинамической и электрогидроимпульсной обработки алюминиевых сплавов. // Процессы литья. – 2006. – № 3. – С. 81 – 86.
2. Дубоделов В.И., Фикссен В.Н., Погорский В.К. Применение модулированных колебаний электромагнитной силы для обработки алюминиевых сплавов в магнитодинамических установках. Металловедение и технология легких сплавов. – М.: ВИЛС, 2001. – С. 264 – 270.

3. Дубоделов В.И., Слажнев Н.А., Фикссен В.Н. Обработка алюминиевого расплава в магнитодинамической установке с использованием “пинч-эффекта”. // Процессы литья. – 2006. – № 4. – С. 58 – 65.
4. Скоробагатько Ю.П. Фізичне модифікування заевтектичних алюмінієвих сплавів з використанням електромагнітної дії. // Металознавство та обробка металів. – 2011. – № 4. – С. 44 – 50.

Одержано 12.09.12

Н. А. Слажнев, Ю. П. Скоробагатько

**Импульсная МГД обработка алюминиевых расплавов
управляемым пинч-эффектом**

Резюме

Приведены результаты исследования эффективности применения усовершенствованного способа теплового и импульсного МГД воздействия на жидкий алюминиевый сплав А356.0 в каналах магнитодинамической установки, обусловленного комплексным действием факторов пинч-эффекта и разрежения, в частности дуговых разрядов и импульсами давления, вследствие импульсного характера протекания токов. Показано, что тепловая и импульсная МГД обработка расплава интенсифицирует процесс дегазации, способствует улучшению структуры и повышению физико-механических свойств сплава в литом состоянии.

М. А. Slazhniev, Yu. P. Scorobagatko

Pulsing MHD processing of aluminium melts by controlled pinch-effect

Summary

The results of research on the efficiency application of the improved method of thermal and pulsing MHD action on aluminium melts А356.0 in the channels of the magnetodynamic installation, which conditioned by complex action of pinch-effect and low pressure factors, especially voltaic arc and pressure impulses, as a result of current pulsation. It is shown, that pulsing MHD processing intensifies the degassing of melt, and promotes the improvement of structure and increases of physical and mechanical properties of alloy in cast state.