

Структура та властивості виливків, одержаних при розливці металу магнітодинамічним міксером-дозатором

М.С.Горюк, кандидат технічних наук

В.М.Ломакін, кандидат технічних наук*

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*Кіровоградський державний технічний університет МОН України, Кіровоград

*Досліджено вплив режимів витримування і розливки залізовуглецевих сплавів за допомогою магнітодинамічного міксер-дозатора на структуру та властивості виливків. Показано, що застосування такого міксер-дозатора дозволяє стабілізувати умови приготування, розливки і кристалізації розплаву, що позитивно впливає на якість кінцевої продукції.**

Зростаючі вимоги до якості литих металевих заготовок, зокрема, із залізовуглецевих сплавів як основних матеріалів для виготовлення виробів у машинобудуванні, зумовлюють, з одного боку, необхідність проведення комплексу заходів по приготуванню вихідного розплаву та його розливці, а з іншого - чіткого додержання технологічних параметрів процесу для одержання кінцевого продукту із наперед заданими структурою та властивостями. Крім того, слід також забезпечити матеріало- та енергозбереження процесу.

Для успішної реалізації цих вимог найбільш доцільно використовувати автономні багатофункціональні агрегати ливарного та металургійного призначення. Саме до таких пристроїв належать магнітодинамічні міксери-дозатори для перегрівання та розливки чавуну конструкції ФТІМС НАН України [1].

Вказані міксери вже тривалий час експлуатуються в ливарних цехах при одержанні широкої номенклатури виливків. Останнім часом проведено успішні дослідно-промислові випробування такого обладнання при роботі зі сталлю [2, 3]. Безперечною та головною перевагою ливарних магнітодинамічних міксерів-дозаторів перед іншими пристроями аналогічного призначення є наявність в їх конструкції двох незалежних електромагнітних систем, що дозволяє незалежно та оперативно керувати нагрівом та рухом металу. Крім того, принцип дії такого міксер-дозатора дозволяє безконтактно та безінерційно вводити до розплаву теплову потужність і здійснювати силовий вплив на метал [1, 4].

Однак слід зазначити, що до цього часу обсяг проведених досліджень впливу витримування металу в магнітодинамічних міксерах-дозаторах та його розливки під дією електромагнітних сил є вкрай недостатнім для формулювання однозначних наукових висновків та практичних рекомендацій.

В представлений роботі наведено результати вивчення структури та властивос-

* Роботу викопано під керівництвом член-кор. НАН України В.І.Дубодєлова та кандидата технічних наук В.К.Погорського (Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України).

тей виливків з чавуну і сталі, одержаних шляхом електромагнітної розливки металу з магнітодинамічного міксера-дозатора.

Стосовно чавуну дослідження проводилися у ливарному цеху підприємства при виготовленні виливків гільз циліндрів тракторних двигунів за технологією відцентрового лиття. Виливки виготовляли на карусельній машині відцентрового лиття. Хімічний склад використовуваного для виробництва виливків чавуну такий (% мас. частка): С - 3,1 - 3,3, Si - 2,2 - 2,8, Mn - 0,6 - 0,8, Cr - 0,5 - 0,7, Cu - 0,3 - 0,5, Ni - 0,1 - 0,2, S ≤ 0,1, P ≤ 0,15.

Для виключення впливу хімічного складу чавуну на результати дослідження експерименти проводили з металу однієї й тієї ж плавки з печі ІЧТ-30 за двома технологіями: 1) існуюча - з ручною розливкою чавуну; 2) нова - з електромагнітною розливкою чавуну в ливарні форми за допомогою магнітодинамічного міксера-дозатора.

Враховуючи, що процес розливки металу з міксера має періодичний характер та іноді супроводжується тривалими перервами, дослідження структури, механічних властивостей та хімічного складу чавуну здійснювали в режимах розливки та витримування. Витримування розплаву в міксері-дозаторі складало від 1 - 2 годин до 2 - 3 діб (вихідні та святкові дні). В режимі витримування металу для проведення необхідних досліджень в пісчано-глинисту форму відливали зразки у вигляді штирів діаметром 30 мм та довжиною 300 мм, а в режимі розливки чавуну дослідні зразки вирізали безпосередньо з тіла виливків.

Випробування механічних властивостей здійснювали на зразках згідно з ГОСТ 1407-70. Твердість визначали на внутрішній поверхні заготовки гільзи. Макроструктуру вивчали по зламу клинів, а також по відбиткам на сірку за Бауманом. Темплети для цього вирізали з виливків уздовж та уперек вісі обертання ливарної форми. Дослідження мікроструктури здійснювали на шліфах, вирізаних з тіла вилівка. До травлення шліфа вивчали форму, розмір та кількість включень графіту, а після травлення - структуру металевої основи.

Встановлено, що при електромагнітній розливці макроструктура зразків більш щільна, у ній відсутні пористість та шаруватість. Мікроструктура по перерізу гільзи однорідна, з незначним збільшенням розмірів графітових включень в центральній частині вилівка (рис. 1). В цілому ж при електромагнітній розливці має місце зменшення розмірів графітових включень. Металічна основа складається з перліту, структура якого при електромагнітній розливці дрібніша, ніж при ручній (рис. 2).

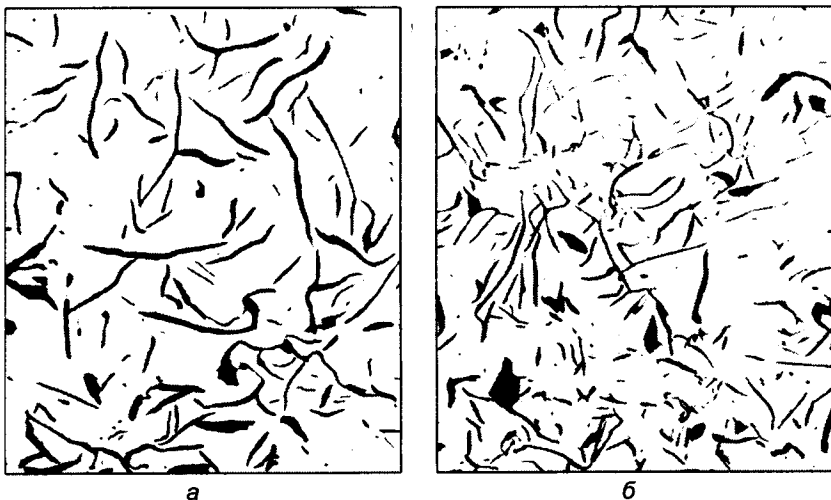


Рис.1. Форма графіту за умов ручної (а) та електромагнітної розливки чавуну (б). × 1000.

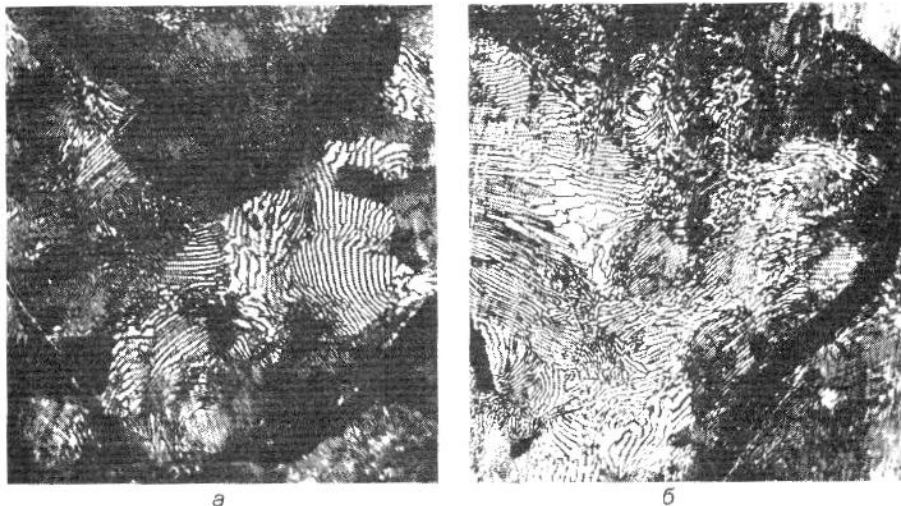


Рис. 2. Форма перліту за умов ручної (а) та електромагнітної розливки чавуну (б). $\times 1000$.

Результати експериментальних досліджень механічних властивостей чавунних виливків наведено в табл. 1. Порівняння даних для зразків, одержаних ручною розливкою, з даними для зразків, розлитих магнітодинамічним міксером-дозатором, показує, що при електромагнітній розливці має місце збільшення властивостей на 2,5 - 7%. Крім того, розподіл твердості по перерізу виливка при електромагнітній розливці більш рівномірний (рис. 3).

Таблиця 1

Середні значення механічних властивостей для партій чавунних виливків

Параметр	Спосіб розливки	
	Вручну	Під дією електромагнітних сил
Порог міцності на розрив, МПа	220	230
Порог міцності на згин, МПа	410	430
Твердість, НВ	210	225

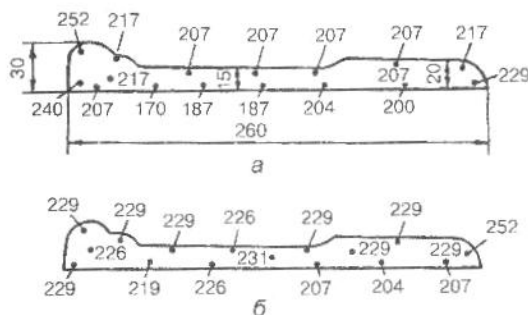


Рис. 3. Схема вимірювання та розподіл твердості по перерізу чавунного виливка гільзи. а - при розливці чавуну вручну, б - при розливці чавуну під дією електромагнітних сил за допомогою магнітодинамічного міксер-дозатора

Режим розливки металу за допомогою магнітодинамічного міксер-дозатора передбачає безперервну роботу міксеру при періодичному поповненні його тигля. За умов великої кратності обміну метал у тиглі буде завжди усереднюватися як за хімічним складом, так і за температурою. Тому з точки зору додержання заданого хімічного складу і температури режим розливки є найбільш прийнятним (табл. 2).

У цьому варіанті головною причиною зростання механічних властивостей виливків слід вважати зміну умов тер-

Таблиця 2

Зміна хімічного складу чавуну у магнітодинамічному міксері-дозаторі у режимі розливки протягом робочих змін

Порядковий номер експерименту	Час доби	Вміст елементів, % (мас. частка)							
		C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	S	P
1	7.00	3,20	2,38	0,63	0,51	0,38	0,16	0,06	0,10
2	9.00	3,24	2,52	0,71	0,54	0,40	0,17	0,05	0,11
3	10.00	3,23	2,41	0,75	0,54	0,41	0,17	0,07	0,11
4	12.00	3,20	2,77	0,73	0,57	0,42	0,17	0,06	0,11
5	13.00	3,21	2,71	0,74	0,56	0,38	0,16	0,06	0,10
6	14.30	3,25	2,85	0,72	0,64	0,41	0,17	0,08	0,11
7	16.00	3,22	2,64	0,70	0,59	0,39	0,17	0,07	0,11
8	17.30	3,16	2,80	0,71	0,58	0,40	0,17	0,05	0,11
9	19.00	3,20	2,23	0,68	0,55	0,40	0,17	0,05	0,10
10	21.00	3,26	2,40	0,65	0,57	0,39	0,16	0,06	0,10

мочасової обробки (власне, її можна вважати короткочасним (не більше кількох годин) витримуванням металу). Витримування чавуну в магнітодинамічному міксері-дозаторі під час виробничих пауз та в інтервалах між розливками порцій металу відбувається при досить високій температурі, наближеній до температури розливки, причому ця температура є практично сталою. Крім того, витримування супроводжується безперервним перемішуванням розплаву під дією електромагнітних сил, що спричиняє високу гомогенізацію металу за хімічним складом, температурою та структурою у рідкому стані. Ці фактори забезпечують ідентичні умови кристалізації виливків і зазвичай сприяють подібненню структури литого чавуну [5].

Як показав досвід застосування магнітодинамічного міксера-дозатора, механічні властивості (перш за все – міцність та пластичність) виливків залежать від тривалості витримування вихідного розплаву (рис. 4). Видно, що в перші години спостерігається незначне зростання усіх основних механічних властивостей, проте через деякий час відбувається зниження показників міцності та пластичності.

Такий характер зміни властивостей чавуну можна пояснити самою природою його рідкого стану [6, 7]. Відомо, що за тривалого витримування чавуну відбувається зменшення кількості центрів кристалізації, причинами чого є, по-перше, розчинення вільного вуглецю у перегрітому розплаві, по-друге, коагуляція та спливання неметалевих включень. Це призводить до кристалізації чавуну з відбілюванням. Виливки, розлиті з такого металу, відзначаються підвищеною твердістю.

Виходячи з вищеведеного, тривале витримування чавуну за високої температури у магнітодинамічному міксері-дозаторі не рекомендується. Загалом період витримування чавуну між розливками в міксері має не перевищувати 2 год. В разі перевищення цього часу слід проводити обробку чавуну модифікаторами (наприклад, фе-

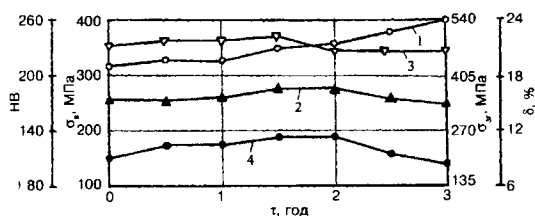


Рис. 4. Зміна механічних властивостей чавунних виливків залежно від часу витримування τ вихідного розплаву у магнітодинамічному міксері-дозаторі: 1 (○) – твердість, 2 (▽) – тимчасовий опір розриву σ_v , 3 (▲) – тимчасовий опір згину σ_z , 4 (●) – відносне видовження δ .

росиліцієм), що сприяє утворенню в металі додаткових центрів кристалізації та усуненню відбілювання у виливках.

Крім того, при тривалому витримуванні чавуну спостерігалось також вигорання вуглецю, марганцю та кремнію. Величина такого вигорання залежить від часу та температури витримування чавуну, тому в разі тривалих перерв між розливками, тобто при виникненні нештатних ситуацій, пов'язаних з непередбачуваністю до розливки ливарних форм, а також у неробочі зміни, на вихідні та святкові дні доцільно зменшувати електричну потужність електромагнітних систем магнітодинамічного міксер-дозатора. Це дозволить знизити температуру розплаву, завдяки чому не лише зменшиться вигорання компонентів сплаву, а й скоротяться енерговитрати та збільшиться термін служби вогнетривкої футеровки.

Стосовно сталі експериментальні дослідження проводили на сталі 20ГТЛ при виготовленні виливків букс залізничних вагонів шляхом відцентрової розливки металу з використанням дослідного зразка магнітодинамічного міксер-дозатора, виготовленого спеціально для роботи зі сталлю [2, 3]. Це зумовило значно менший обсяг експериментальних досліджень структури та властивостей металу порівняно з експериментами на чавуні, оскільки більша частина часу була присвячена визначенню раціональних електричних, теплових та гідродинамічних параметрів процесу, а також відпрацюванню основних режимів роботи дослідного зразка міксер. Однак навіть за таких умов одержані результати дозволяють констатувати доцільність застосування магнітодинамічного міксер-дозатора в процесах виготовлення сталевих виливків.

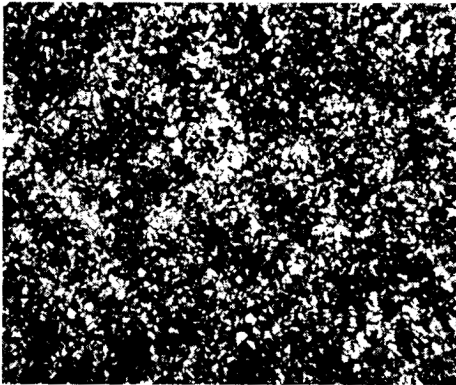


Рис. 5. Мікроструктура одержаного за допомогою магнітодинамічного міксер-дозатора вилівка букси залізничного вагона з низьовуглецевої сталі 20 ГТЛ після термічної обробки (нормалізація з відпуском). $\times 100$.

Вивчення структури та визначення механічних властивостей проводили на зразках, вирізаних з виливків, після кінцевої термічної обробки (нормалізації або нормалізації з відпуском).

Мікроструктура всіх дослідних зразків - ферито-перлітна із задовільною перекристалізацією при термообробці (рис. 5), розмір зерна - 7 - 9 бал. Перліт розташований у вигляді кілець. Наявна також незначна кількість неметалевих включень, які розташовані хаотично та мають округлу і видовжену форму.

Механічні властивості в основному (у восьми партіях дослідних зразків з дев'яти) відповідають вимогам технічних умов на виробництві (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння механічних властивостей виливків зі сталі 20ГТЛ, одержаних шляхом електромагнітної розливки, з вимогами ТУ

Показник	Механічні властивості					
	Тимчасовий опір розриву σ_r , МПа	Порог плинності σ_s , МПа	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість КСУ, МДж/м ²	
					+ 20 °С	- 60 °С
Одержана величина	520 - 660	280 - 420	20 - 26	30 - 58	0,6 - 1,4	0,42 - 0,65
Технічні умови	500	180	18	25	0,5	0,4

Плавлення і кристалізація

Проведені дослідження підтвердили можливість та ефективність застосування магнітодинамічного міксер-дозатора для одержання виливків з чавуну та сталі з точки зору забезпечення заданої структури та необхідного комплексу властивостей кінцевих виробів. Так, в ході експериментальних досліджень відзначено покращення макро- та мікроструктури і зростання механічних властивостей виливків, одержаних шляхом електромагнітної розливки металу з магнітодинамічного міксер, порівняно з традиційною технологією, що передбачає ручну розливку розплаву у ливарні форми. Досягнуте покращення показників однозначно пов'язане з особливостями роботи міксер-дозатора, зокрема, з можливістю чіткого додержання теплових та витратних параметрів розливки і перемішування розплаву, що сприяє стабілізації технологічного процесу, забезпечує однакові умови кристалізації виливків, збільшує ступінь відтворюваності результатів.

Література

1. Погорский В. К. // Процессы литья. - 1994. - № 3. - С. 81 - 88.
2. Дубоделов В.И., Погорский В.К., Горюк М.С. // Процессы литья. - 2002. - № 3. - С. 16 - 19.
3. Погорский В.К., Дубоделов В.И., Горюк М.С. // Металл и литьё Украины. - 2002. - № 9 - 10. - С. 3 - 6.
4. Полищук В.П., Цин М.Р., Гори Р.К. Магнитодинамические насосы для жидких металлов. - Киев: Наук. думка, 1989. - 256 с.
5. Иванов В.Г, Двоскин П.М., Двоскин С.М. Производство чугуновых труб. - М.: Металлургия, 1975. - 240 с.
6. Справочник по чугуному литью / Под ред. Н.Г.Гиршовича. - М. - Ленинград: Машиностроение, 1978. - 758 с.
7. Ващенко К. И., Шумихин В. С. Плавка и выпечная обработка чугуна для отливок. - Киев: Вища школа, 1992. - 246 с.