

УДК 621.9.047

О.М. КИЩЕНКО^{*}, аспірант, В.В. ТКАЧ канд. техн.наук, доц.
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

СУЧАСНІ МЕТОДИ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ

На основі представлених у статті експериментальних даних, щодо впливу електрообробки на процес формування структури металу при кристалізації, зроблено висновок щодо підвищення механічних властивостей виливків.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У даний час у промислових технологіях литва приділяється увага розробці і дослідженню способів зовнішніх впливів на розплави (таких як ультразвук, високотемпературний перегрів, електричний струм, магнітне поле та інш.). Важливість проблеми затвердіння і кристалізації металів визначається тим, що процес росту кристалів і виникаюча в його результаті структура роблять значний вплив на властивості металу і якість виливків. Крім того, безпосередньо з процесом кристалізації пов'язані такі сторони якості виливки, як виникнення неметалевих фаз (сульфіди, газові бульбашки, тощо), гарячі тріщини, пористість.

У зв'язку з постійним підвищенням вимоги до якості виливків з боку машинобудівників, підприємств, які експлуатують важку техніку у тяжких умовах гірничого виробництва актуальною є задача розробки фізичних методів, які дозволять впливати на метал у найвідповідальніший момент формування структури виливка – кристалізація сплаву, управляти цим, тим самим гарантовано отримувати високоякісні заготовки.

Аналіз досліджень і публікацій. Важливість проблеми затвердіння і кристалізації металів визначається тим, що процес росту кристалів і виникаюча в його результаті структура роблять значний вплив на властивості металу і якість виливків. Крім того, безпосередньо з процесом кристалізації пов'язані такі сторони формування процесу якості виливки, як механізм виникнення неметалевих фаз (сульфіди, газові бульбашки, і пр.), гарячих тріщини, пористості і інш.

Метод ультразвукового впливу (вібрації) - це один із досліджених методів впливу на структуру виливка [1,2]. Досліди показали що обробка ультразвуком під час кристалізації злитка металу, який має грубозернисту структуру, приводить до дрібнозернистої структури. Механічні властивості металу покращуються. Метод ультразвукового рафінування заснований на тому, що при проходженні пружних коливань через рідке середовище (розплав) спостерігається явище кавітації, що приводить до розриву суцільності в рідкій фазі і утворення пустот, в які спрямовується розчинений в рідині (розплаві) газ. Унаслідок цього пружні коливання звукової та особливо ультразвукової частоти сприяють формуванню зародків газових бульбашок і стимулюють їх подальше зростання в рідкій фазі і коагуляцію до розмірів, які спричиняють активне виділення газу з рідини.

Застосування ультразвукової дії супроводжується зменшенням опору тертя, глибина поверхневих складок зменшується, кількість поверхневих пустот також зменшується в кілька разів, якість поверхні поліпшується. Також ультразвук за певної частоти та інтенсивності звуку застосовується в якості ультразвукової дегазації розплаву. Дегазація розплавленого металу супроводжується його рафінуванням. При підвищенні інтенсивності ультразвуку загальне число бульбашок - зародків різко зростає [3].

Крім ефекту рафінування, при ультразвукової обробки розплавленого металу підвищується також його рідкотекучість, що особливо важливо в ливарному виробництві при заповненні форми. Відносне збільшення рідкотекучести під час наведення ультразвукових коливань характерно для всіх рідин і становить приблизно 25-30 %. Для кожної рідини необхідно проводити підбір частоти та інтенсивності коливань, щоб максимально знизити в'язкість при впливу ультразвуком.

Дослідження ефективних технологій обробки розплавів ультразвуком при заливці в ливарну форму дає можливість одержувати виливки будь-якої конфігурації і не обмежувати матеріал форми. Обробка розплавів при заливці в ливарну форму дозволяє одержувати сплави з дрібнозернистою структурою і заданими властивостями. При цьому не потрібно використання модифікуючих добавок.

^{*} © Кищенко О.М., Ткач В.В., 2012

З аналізу літературних даних випливає, що ультразвукова і звукова вібрації сприятливо впливають на рідкотекучість, зменшують усадку і вміст газу, підвищують однорідність розплаву і подрібнюють кристали. Все це призводить до поліпшення властивостей. Проте є дані про укрупнення кристалів, особливо в модифікованих сплавах, і посиленні сегрегації первинного елементів сплавів, що потребує додаткових досліджень для окремих сплавів, особливо легуваних.

Метод високотемпературного перегріву розплаву, який добре зарекомендував себе в якості ефективного прийому, дозволяє усунути спадковість низькосортних шихтових матеріалів і стабілізувати властивості кольорових сплавів. У загальному випадку під високотемпературним перегрівом рідкого металу розуміється перегрів розплаву вище температури ліквідус або вище критичних температур, у результаті яких відбуваються структурні перебудови елементів розплаву, і певна витримка при цих температурах. Цей метод обробки розплаву застосовується з метою знищення негативних структурних ознак шихти є ефективним і доступним, що не вимагає додаткового обладнання.

Перші досліді показали [4], що вилівок, наприклад, з кольорового сплаву набуває дрібнозернисту структуру, а значить, його механічні властивості стають кращими. Автори статті наголошують, що вплив зовнішньої обробки на структуру кольорових металів призводить до підвищення механічних властивостей сплавів, які є наслідком подрібнення складових мікроструктури. Але всі ці досліді пов'язані з методом регулювання процесу кристалізації кольорових металів. Проведених дослідів недостатнього для того щоб знати як само буде позначатися зовнішній вплив на структурні властивості сталі.

Вплив магнітного поля практично повністю пригнічує конвективне перемішування металу, знижує інтенсивність тепломасопереносу в рідкій фазі твердіння виливка, що в умовах інтенсивного спрямованого тепловідведення сприяє зменшенню ліквідації [5] і розвитку транскристалізації (аж до затвердіння виливків у вигляді монокристала). Отже, магнітне поле створює сили, достатні для уповільнення руху розплаву на межі розділу фаз, що при зводить до дрібнозернистої структури виливка. У той же час спостерігається і зворотний ефект - подрібнення макро- і мікроструктур, що пояснюється зміною енергії переходу металу з твердого стану в рідкий, а також зміною температури плавлення металу, швидкості утворення і зростання зародишів (при індукції магнітного поля понад 1 Тл) і взаємодією поля з виникаючими в двухфазній зоні термоелектричними струмами, щільність яких залежить від градієнта температур та хімічного складу фаз. У результаті зростання зерен ускладнюється через неможливість злиття більш тугоплавких домішок та легуючих елементів. Результати досліджень [6] показали, що структура виливки, отриманої за допомогою електромагнітного литва, характеризується однорідністю хімічного складу, тонким і рівномірним кристалічним будовою, високими механічними властивостями, особливо пластичними. Для застосування методу впливу гальмується необхідністю розробки та виготовлення складних приладів для створення електромагнітного поля великої індукції.

Найбільш технологічним способом впливу на структуроутворення виливка в процесі кристалізації може стати електричний струм. Враховуючи те, що процеси, які відбуваються в металевому розплаві та шлаку характеризуються іонною взаємодією простих і складних іонів, то одним з перспективних методів впливу на структуру і властивості ливарних сплавів є обробка розплаву електричним струмом в процесі кристалізації, що представляє собою створення нової технології. Як показав аналіз літературних даних вплив *електричного струму* полягає в подрібненні і зменшенні скупчень залізозмісних фаз і кристалізації їх у більш компактній формі, що в свою чергу призводить до підвищення механічних властивостей виливків. На даний момент існує декілька теорій кристалізації сплавів, кожна з яких має свої недоліки, переваги і обмеження. Пропускання постійного електричного струму через вилівок при кристалізації викликає перерозподіл неметалічних включень. Як показують досліді [1] впливу електричному струму на сплав алюмінію: зміст газів знижується при накладенні струму через зняття електричного заряду, коагуляції включень і виходу їх з розплаву. Оброблення рідкого алюмінієвого розплаву електричним струмом створює спрямовану кристалізацію від анода до катода, що дозволяє управляти процесом кристалізації виливків.

Відомо [4], що енергія електричного струму, що проходить через провідник першого роду (наприклад, через металевий розплав), витрачається на теплові втрати. Виділення теплоти в локальній області розплаву викликає посилення конвективних потоків, що покращує умови розчинення модифікатора і призводить до збільшення кількості евтектичних зерен, що позитивно

впливає на підвищення механічних властивостей виливка. Струм, будучи внутрішнім джерелом енергії, додатково прогріває вилівок, стабілізуючи температурне поле за часом. Тому використання струму в процесі формування виливки зменшує ймовірність виникнення недоливів металу у формі, що особливо важливо при отриманні тонкостінних литих виробів. Вплив струму високої щільності на кристалізацію дозволяє змінювати кількість твердої і рідкої фаз. Струм, розігріваючи локальні області і мікрооб'єми матеріалу, забезпечує тим самим переведення його з твердого стану в рідкий. Що дає можливість регулювати час переходу з рідкого стану в тверде, тобто підтримувати існування агрегатного стану матеріалу.

Постановка завдання. Підприємства Кривого Рогу здійснюють обробку металу у твердому стані такими методами як термічні, механічні, хіміко-термічні, газотермічне напилення та наплавлення, але для цього потрібно додаткове обладнання і великі витрати. Доцільніше і економічне використовувати магнітні, ультразвукові, електродинамічні та інші способи обробки металу в рідкому стані.

Численні експериментальні та теоретичні дослідження показують, що вплив на розплави в процесі кристалізації і в період плавки дозволяють подрібнити структурні складові сплавів і підвищити їх технологічні і механічні властивості. Зараз виникає необхідність проведення дослідів впливу зовнішньої обробки на марганцеві сталі.

Викладення матеріалу і результати дослідження. Одним з перспективних методів впливу на структуру і властивості ливарних сплавів є обробка розплаву електричним струмом у процесі кристалізації, що представляє собою створення нової технології. Проте механізм впливу на розплав примусових коливань і перемішування під час затвердіння вивчений недостатньо. Пояснення існування явищ, що відбуваються, а також практичні дані та рекомендації часто не узгоджуються між собою, а іноді і суперечать один одному, тому актуальним є вивчення впливу зовнішньої дії на процес затвердіння виливки. Механізм фізико-хімічного впливу на процес кристалізації електричного струму досліджений недостатньо як в експериментальному, так і теоретичному плані. Найвні дані носять уривчастий характер і часто суперечать один одному. Практично відсутні дані з комплексного дослідження процесу кристалізації різних сталей та чавунів.

Обробка електричним струмом, таких сталей як 110Г13Л і 120Г18Л при кристалізації дозволить отримати компактні включення залізовмісних фаз без зміни хімічного складу сплаву і застосування дорогих лігатур, тим самим буде відбуватися поліпшення фізичних властивостей сталі.

В лабораторних умовах була випробувана технологія отримання виливків з металевого сплаву, яка включала обробку електричним струмом в процесі кристалізації. Механічні властивості сплаву підвищилися: тимчасовий опір розриву на 10 ... 20%. Оброблені марганцеві сталі матимуть більш високі технологічні властивості, кристалізуватимуться з меншою усадкою, що дозволяє отримувати більш якісні вироби, а це особливо важливо для Криворізького регіону, так як марганцеві сталі користуються великим попитом в гірничо-металургійній промисловості.

Висновки та напрями подальших досліджень. Щоб забезпечити конкурентоспроможність сплавів, необхідна комплексна обробка сплаву при його кристалізації із застосуванням прогресивних і наукомістких технологій. Для цього можливе перспективне застосування обробки електричним струмом. Обробка електричним струмом сприятливо впливає на процес кристалізації розплавів металів при литті, що істотно покращує структуру виливка та його механічні властивості. Підвищення механічних властивостей є наслідком подрібнення складових мікроструктури.

Список літератури

1. Гуляев Б.Б. Исследование влияния состава сплава на кинетику затвердевания отливок / Б.Б. Гуляев, О.Н. Магницкий // Затвердевание металлов: Сб. научн. тр. -М.: Машгиз, 1998. - 332 с.
2. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки / Вейник А.И. - М.: Машгиз, 1990.-436 с.
3. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. Ч. 1. Тепловые основы теории литья. Затвердевание и охлаждение отливки: Учеб. пособие / Г.Ф. Баландин - М.: Машиностроение, 1976 - 328 с.
4. Пржибыл И. Затвердевание и питание отливок. Пер. с чешск. / И. Пржибыл. - М.: Машгиз, 1987. - 230 с.
5. Френкель Г.И. Введение в теорию металлов, «Наука», 1972.
6. Казаков Ю.В. Кристаллизация металла в постоянном электрическом поле. "Физика и химия обработки материалов". - П, 1975. - 77-79.

Рукопис подано до редакції 23.01.12