

М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛИТИХ ЖАРОСТІЙКИХ ДЕТАЛЕЙ

Вступ

Підвищення якості литих жаростійких деталей залишається основним завданням виробничників при виготовленні виливків для теплоенергетичного, металургійного і хімічного устаткування.

Основними проблемами є: визначення оптимального хімічного складу сталі в залежності від умов і тривалості експлуатації жаростійких виробів; оптимізація технології виплавлення сталі з використанням різних шихтових матеріалів, у тому числі і некондиційних; визначення температурних режимів розливання сталі у ливарні форми; вивчення факторів, які впливають на одержання однорідної гомогенної структури у виробі; покращання якості рідкого металу мікролегуванням і модифікуванням та ін. [1, 2].

Аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури показує, що найбільш перспективним і дешевим ливарним матеріалом для виготовлення корозійно-стійких і жаростійких виробів будь-якого призначення (теплоенергетика, металургія, хімічна галузь та ін) можуть бути сплави на основі заліза, леговані хромом, алюмінієм, кремнієм, титаном та іншими елементами [3, 4].

Такі сплави у повній мірі відповідають основним вимогам, які пред'являються до жаростійких матеріалів. Вони мають високі температури плавлення, корозійну стійкість в умовах звичайних температур та жаростійкість при високих (до 1250°C) температурах, задовільні ливарні властивості, є дешевими і недефіцитними. Серед множини цих матеріалів провідне місце належить хромоалюмінієвим сталям. Проте своєрідність технологічних властивостей цих сталей є значним гальмом до широкого впровадження їх у виробництво незважаючи на високі експлуатаційні характеристики [5, 6].

На жаль, в Україні над даною проблемою не працює ні одна дослідна організація, окрім кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів НТУУ „КП”.

Постановка задачі

На підставі аналізу літератури і власних попередніх досліджень у роботі поставлені такі задачі:

– вивчити технологічні фактори, що впливають на якість виробів: вплив послідовності введення легувальних елементів у розплав та температури металу перед заливанням його у ливарну форму на ливарні властивості і структуру металу;

– визначити доцільність використання рідко земельних металів під час виготовлення виливків відповідального і особливо відповідального призначення.

Експериментальні дані

Попередніми дослідженнями авторів [1, 2] підтверджена доцільність використання хромоалюмінієвих сталей для виготовлення жаростійких литих деталей, які працюють в умовах агресивних середовищ при температурах до 1250°C. Високі експлуатаційні та технологічні властивості мають сталі з вмістом 25...30%Cr; 1.2...3.0% Al; 0,25...0,35% C та 0,25...0,60% титану.

Технологічність таких сталей визначають поведінкою металу в умовах виготовлення із нього виробів. В комплексі технологічних властивостей провідне місце посідають ливарні: рідкотекучість, усадка тріщиностійкість, а також щільність, плівкоутворення, поверхневий натяг та ін.

Ливарні властивості сталей залежать від фізико-хімічних особливостей металу і технологічних характеристик ливарної форми. Вони проявляються в області рідкого стану, під час кристалізації і в твердому стані металу.

Хромоалюмінієві сталі вмістять у своєму складі значну кількість хрому та алюмінію, тобто таких елементів, які суттєво знижують теплопровідність металу і сприяють утворенню крупного первинного зерна. Таку структуру не можна виправити ніякими режимами термічного оброблення.

Дослідами встановлено і практикою підтверджено, що експлуатаційні характеристики цих сталей залежать, перш за все, від стану меж зерен і різнозернистої структури, тобто від наявності в мікро- і макрооб'ємах металу одночасно крупних і дрібних зерен. Аналіз експлуатації виробів з такою структурою при високих температурах показав, що в них існує велика вірогідність появи на стиках крупних зерен мікротріщин, які під дією теплових і накопичення значних напружень переростають у макротріщини. Встановлено, що чим менша різниця в розмірах зерен, тим довше працює виріб, тобто підтверджується факт: найкращі механічні і службові властивості мають високолеговані сталі з однорідною, максимально гомогенною структурою.

Добитися дрібного зерна у виробках із хромоалюмінієвої сталі пониженням температури рідкого металу перед заливанням його у ливарні форми практично неможливо, оскільки уповільнюється швидкість спливання плівок, неметалевих краплин, часточок шлаку, утруднюється видалення газів із металу, погіршуються умови живлення виливків. Це призводить до утворення незлитин, недоливів, спаїв, раковин різного походження, які часто є причиною остаточного браку.

Отже важливою задачею при виготовленні якісних виливків із хромоалюмінієвих сталей є вибір оптимального співвідношення основних компонентів та використання таких технологій, які забезпечували б одержання високоякісного металу з однорідною структурою [3, 4].

Вивчено вплив послідовності введення у хромисту сталь алюмінію та титану на ливарні властивості та структуру. Відомо, що алюміній і титан мають високу спорідненість до кисню, тому значна їх кількість витрачається, перш за все, на розкислення металу. Але оксиди титану, на відміну від оксидів алюмінію, мають відносно невисоку температуру плавлення (1367°C) і не можуть здійснювати модифікувальної дії на структуру металу, сприяти створенню додаткових центрів кристалізації та подрібненню первинного зерна.

Навпаки, оксиди титану негативно впливають на ливарні і механічні властивості хромоалюмінієвих сталей.

Досліджено три варіанти послідовності введення титану і алюмінію у хромисту сталь (титан вводили у вигляді феротитану ФТi35):

- перший – у розплав, нагрітий до необхідної температури, вводили титан, потім алюміній;
- другий – здійснювали попереднє (після феромарганцю і феросиліцію) розкислення сталі алюмінієм у кількості 0,2% від маси металу, потім вводили титан та залишок алюмінію;
- третій – вводили весь алюміній, а потім титан.

Введення феротитану та алюмінію в хромисту сталь здійснювали приблизно при однаковій температурі – $1600 \pm 10^\circ\text{C}$. Інтервал між введенням компонентів, а також між введенням останнього компонента і випусканням металу із печі складав 3 хв.

Дослідженнями встановлено (рис.1), що найкращий комплекс ливарних і механічних властивостей має сталь, глибоко розкислена алюмінієм перед введенням в неї титану.

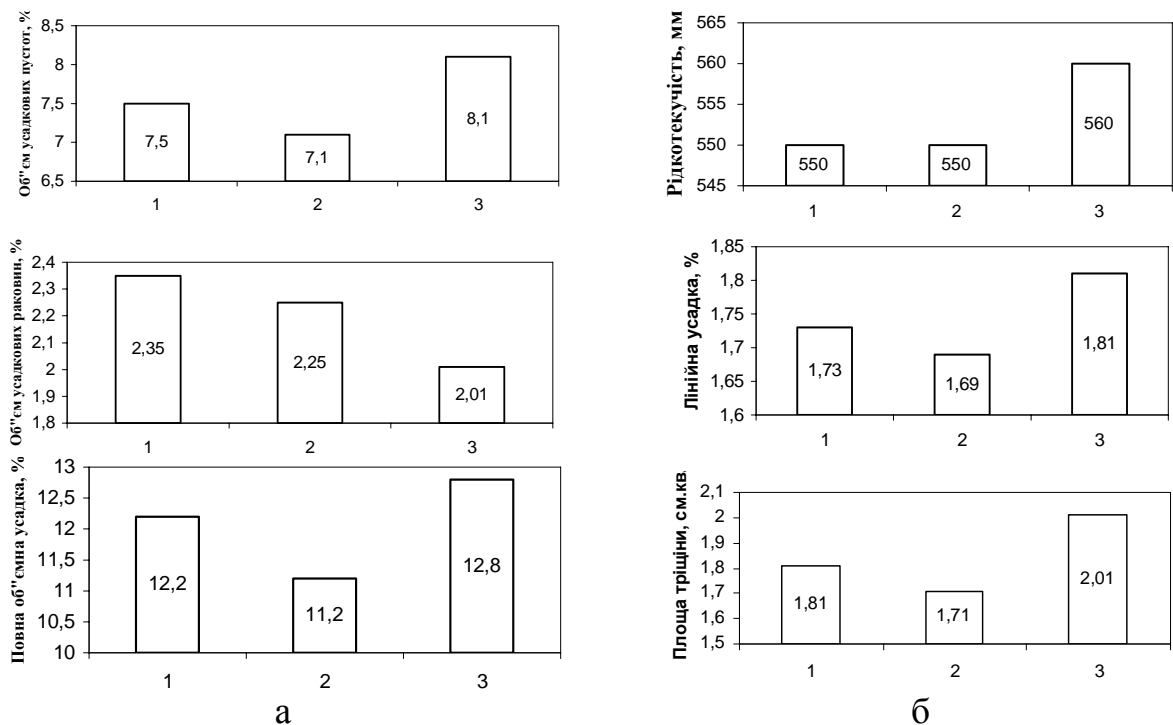


Рис.1. Вплив послідовності введення титану та алюмінію на ливарні (а) та механічні (б) властивості хромоалюмінієвої сталі: 1 – Ti + Al; 2 – 0,2% Al + Ti + Al; 3 – Al + Ti

Така послідовність введення у хромисту сталь термодинамічно активних титану і алюмінію зберігає на високому рівні практичну рідко текучість (не менше 550 мм), знижує до 1,68% лінійну усадку, покращує тріщиностійкість сталі (рис.1, а). На об'ємну усадку і дефекти усадкового характеру така послідовність введення легувальних елементів у хромисту сталь суттєвого впливу не справляє.

Найбільш гомогенну структуру має сталь, попередньо розкислена алюмінієм (рис.2). така структура забезпечує високі механічні (рис. 1, б) і особливо, експлуатаційні властивості виробів. Алюміній сприяє очищенню меж зерен, покращанню властивостей легованого хромом фериту, а титан справляє зміцнювальну дію внаслідок утворення великої кількості карбонітридів, які є додатковими центрами кристалізації і подрібнюють первинне зерно (рис.2).

Введення цих елементів за першим варіантом призводить до утворення надмірної кількості оксидних плівок оксидів титану, а за третім – до утворення значної кількості дрібнодисперсних часточок, накопичення яких у певних мікрооб'ємах металу призводить до погіршення як механічних так і експлуатаційних властивостей хромоалюмінієвих сталей.

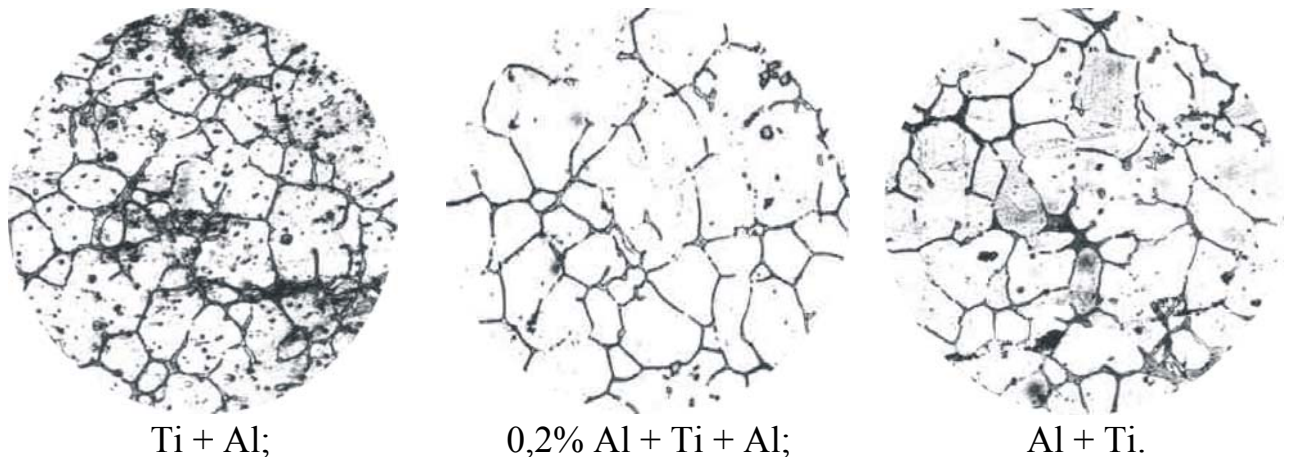


Рис. 2 . Структура хромоалюмінієвої сталі в залежності від послідовності введення титану та алюмінію (X 100)

Температура рідкого металу перед заливанням його у ливарну форму є одним із основних заходів управління технологічним процесом виготовлення якісних виливків з високими службовими характеристиками.

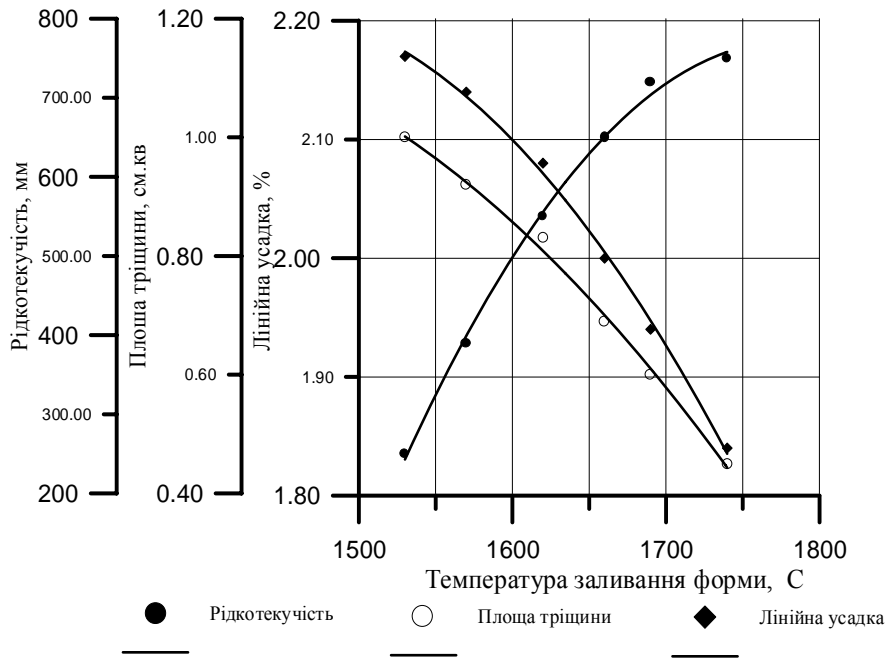
Рідкотекучість хромоалюмінієвої сталі підвищується майже пропорційно росту температури аж до критичної температури рідкотекучості і може бути описана рівнянням першого порядку $\lambda = f(t^{\circ}\text{C})$, рис. 3.

Вище критичної температури зростання рідкотекучості сталі проходить повільно, оскільки залежить від складу металу, в якому при досягненні критичної температури рідкотекучості здійснюється структурні перетворення рідини [5]. Для сталі 35Х30ЮТЛ критичною температурою можна вважати 1680°C.

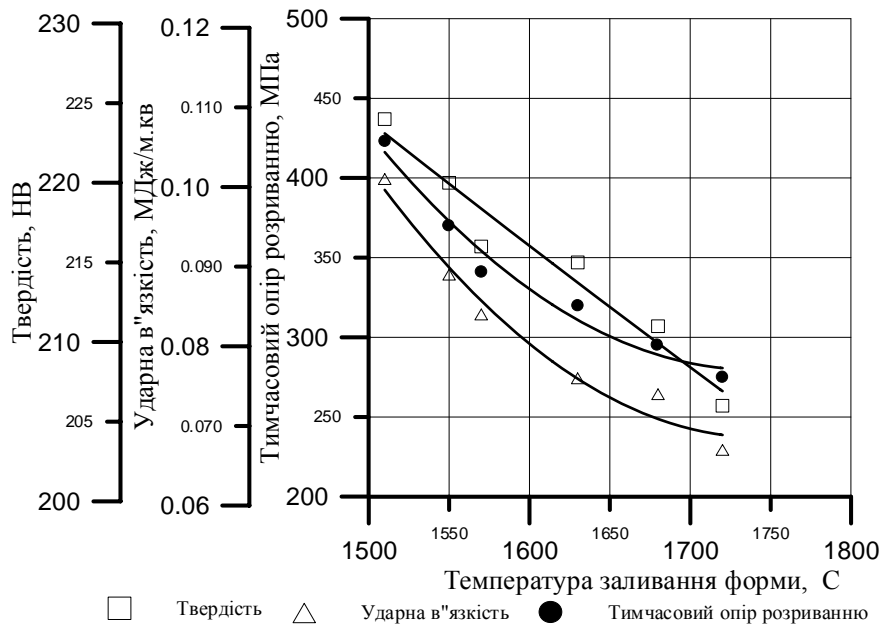
Лінійна усадка сталі з зростанням температури від 1530 до 1740°C зменшується з 2,17 до 1,84%, а тріщиностійкість покращується більш, ніж в 2 рази. Це можна, очевидно, пояснити подовженням передкристалізаційного періоду, під час якого метал очищається від газів, неметалевих вкраплин та інших чужорідних домішок.

Слід зазначити, що підвищення температури сприяє росту об'ємної усадки, особливо у рідкому стані та під час кристалізації, і дефектів усадкового характеру, тому виготовлення виливків, які мають товщину стінки більше 25 мм, необхідно здійснювати з обов'язковим використанням надливів.

Виготовлення якісних великогабаритних виливків з товщиною стінки до 20 мм може бути досягнуто тільки при перегріванні металу до 1650...1680°C.



а



б

Рис. 3. Вплив температури сталі 35X30ЮТЛ перед заливанням її у форми на ливарні (а) і механічні (б) властивості

З підвищенням температури перегрівання металу погіршуються механічні властивості (рис.3, б) внаслідок утворення крупнозернистої будови. Незважаючи на легування сталі титаном, перегрівання металу призводить до зменшення кількості активних зародків і утворення крупних зерен, рис. 4, між якими можуть виникати міжкристалеві тріщини.

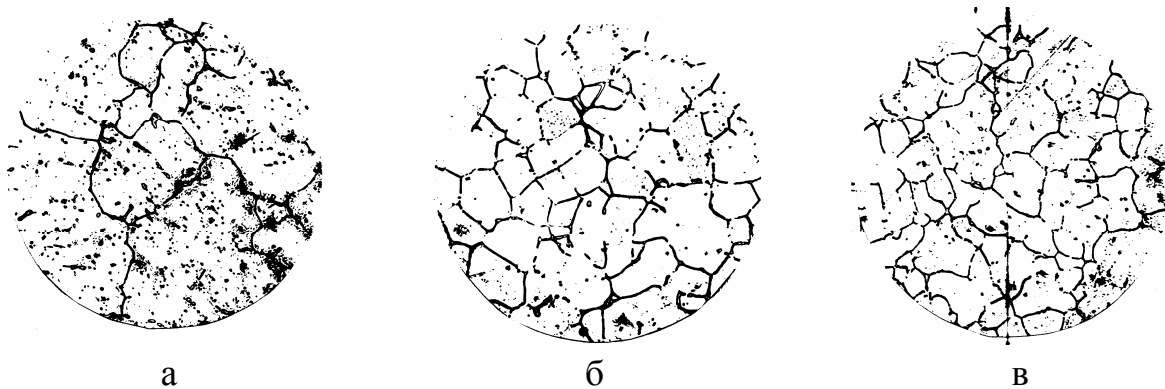


Рис. 4. Вплив температури металу на структуру хромоалюмінієвої сталі
а – 1740°C; б – 1620°C; в – 1560°C (X 100)

Із зниженням температури металу перед заливанням його у форми розміри зерна зменшуються (рис.4, в) і механічні властивості покращуються.

В тих випадках, коли із жаростійких сталей виготовляють виливки відповідального і особливо відповідального призначення, треба розплав додатково опрацьовувати рідкоземельними металами (РЗМ), які є сильними дегазаторами, десульфураторами, дефосфораторами і модифікаторами.

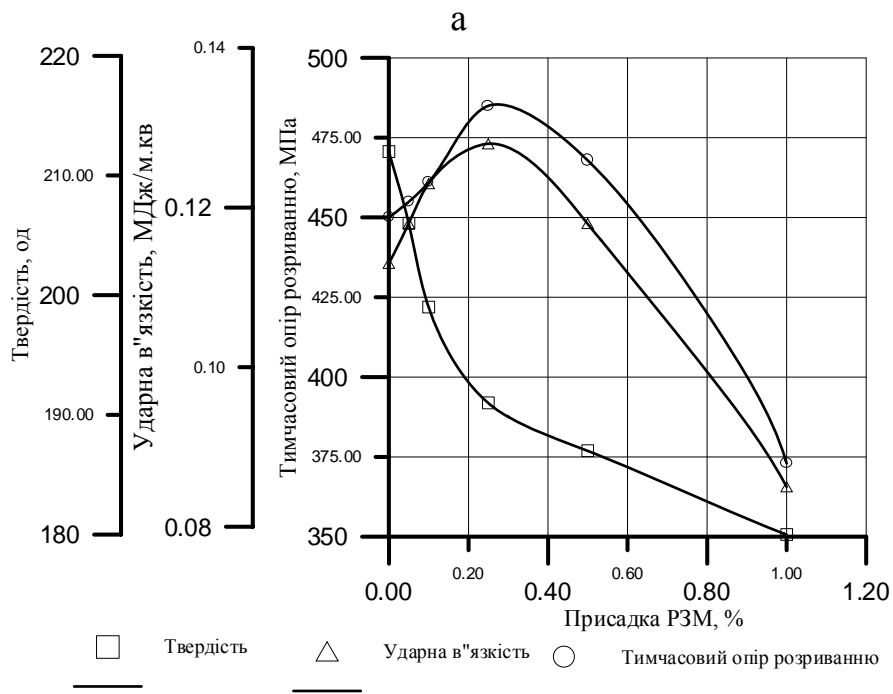
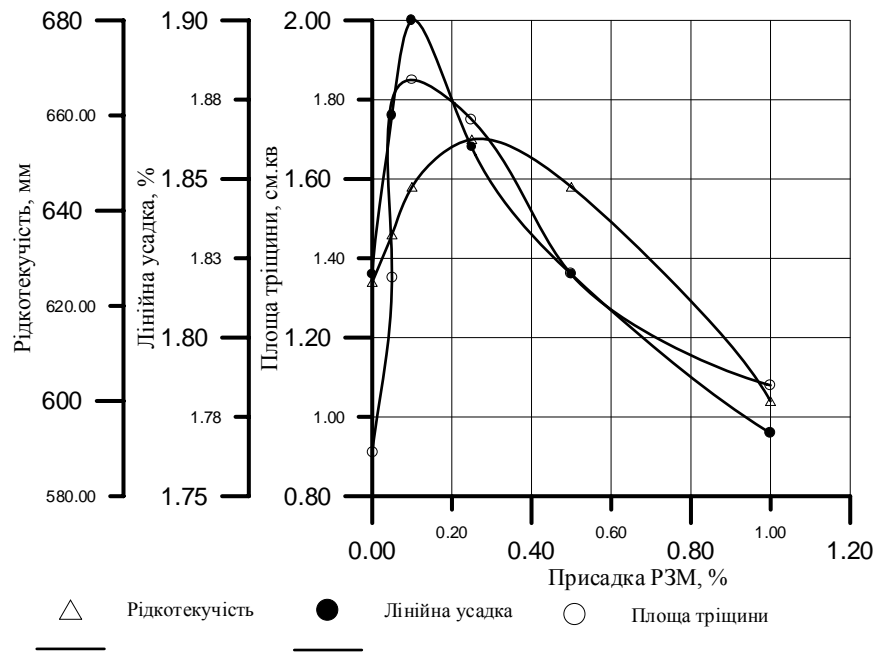
Незважаючи на дороговизну цих елементів, їх використання доцільне навіть з економічного боку, оскільки вони значно покращують не тільки технологічні, але суттєво підвищують і експлуатаційні властивості жаростійких сталей [6].

Присадка до 0,3% РЗМ у хромоалюмінієву сталь помітно підвищує її рідкотекучість, рис. 5, внаслідок дегазації і десульфурзації розплаву. Крім того, РЗМ змінюють мінералогічний склад, розміри та щільність неметалевих краплин, при цьому переводять їх із гострокутної форми в глобулярну. РЗМ утворюють незмочувані сталю сполуки, які швидко спливають у шлак та знижують температуру пливкоутворення рідкого металу. Це значить, що пливкоутворення перестає негативно впливати як на технологічні властивості сталі так і на якість виливків.

Присадка понад 0,15% РЗМ позитивно впливає на лінійну усадку і тріщиностійкість. Оскільки оксиди РЗМ мають температуру плавлення вище 2300°C, вони можуть бути додатковими центрами кристалізації і подрібнювати первинне зерно, внаслідок чого покращуються механічні властивості хромоалюмінієвої сталі (рис. 5, б).

Отже для покращання ливарних, механічних і експлуатаційних характеристик хромоалюмінієвих сталей їх необхідно в період випускання із плавильного агрегату опрацьовувати 0,25...0,50% РЗМ.

Практичний інтерес для експлуатації виливків із хромоалюмінієвих сталей має розподілення таких елементів, як хром та алюміній по перерізу стінки вилівка.



б

Рис. 5. Вплив РЗМ на ливарні (а) та механічні (б) властивості хромо-алюмінієвої сталі

Спектральний аналіз зразків діаметром 20 мм показав (рис. 6), що найбільше схильний до лікваційних процесів хром та вуглець. Це добре узгоджується з літературними даними. Алюміній залишається практично на однаковому рівні, а це свідчить, що в умовах високих температур та агресивних середовищ він активно захищатиме метал виробу від окислення.

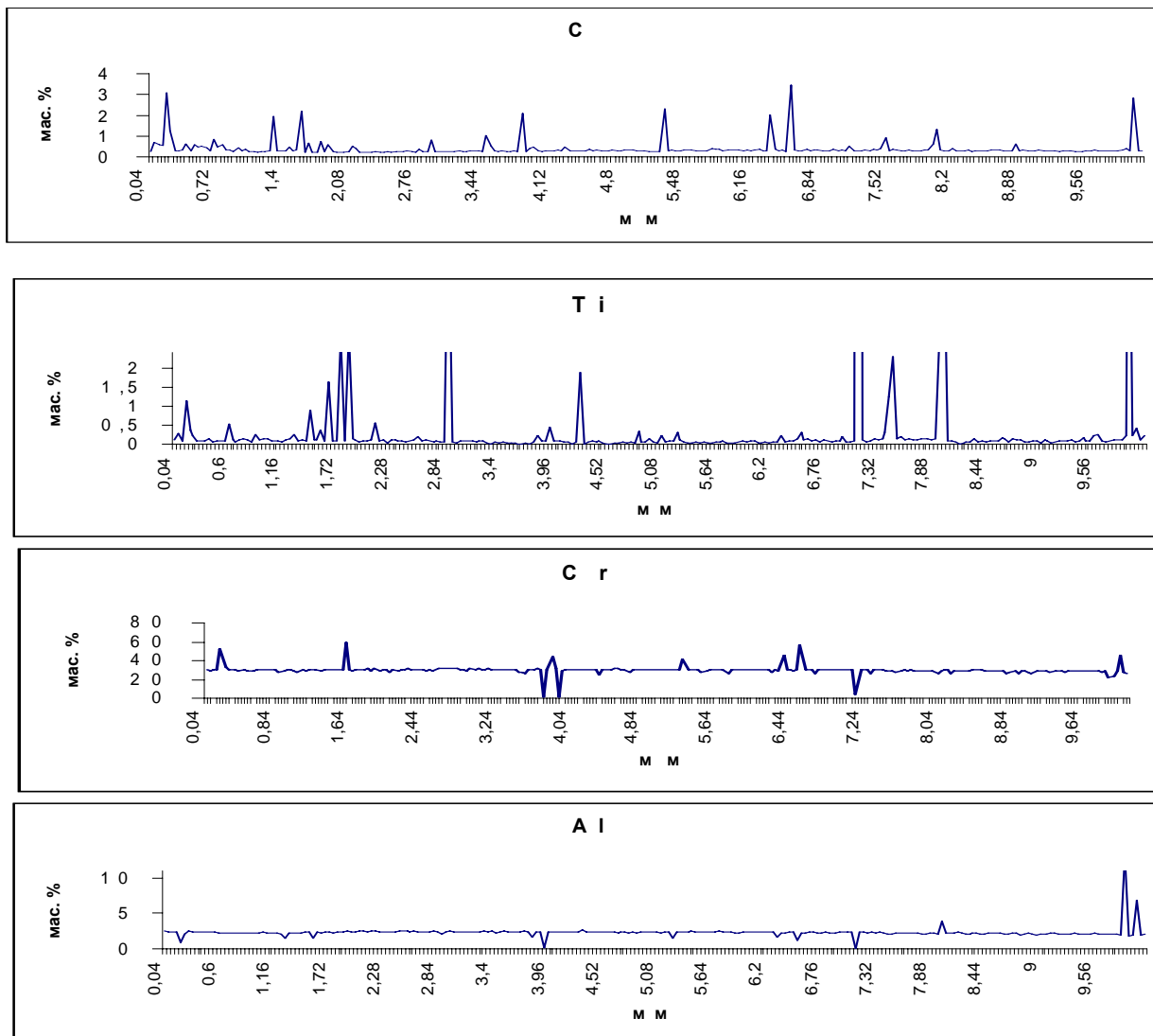


Рис. 6. Розподілення легувальних елементів від периферії до центра зразка

Такий аналіз металу ще раз підтверджує перспективність використання хромоалюмінієвих жаростійких сталей для виготовлення литих деталей, які працюють в агресивних середовищах при температурах до 1250°C.

Висновки

За результатами досліджень можна зробити такі висновки щодо підвищення якості литих жаростійких деталей:

1. Для одержання високоякісного розплаву хромоалюмінієвої сталі перед випусканням із плавильного агрегату його необхідно розкислювати за схемою: феромарганець, феросиліцій, алюміній, потім ввести необхідну кількість феротитану і алюмінію.

2. Температура металу перед заливанням його у ливарну форму є одним із головних заходів управління технологічним процесом лиття. Вона вибирається в залежності від габаритних розмірів, геометрії і товщини стінок литої деталі. У тих випадках коли виливки схильні до утворення гарячих

тріщин, заливання сухих форм доцільно здійснювати при високих температурах (1600...1650°C).

3. Для забезпечення високих ливарних, механічних і експлуатаційних характеристик хромоалюмінієвих сталей їх доцільно під час випускання із плавильного агрегату оброблювати 0,25...0,50% РЗМ.

4. Використання звороту власного виробництва при виробництві виливків із хромоалюмінієвих сталей доцільне як з економічного, так і з технологічного боку, оскільки така сталь характеризується підвищеними технологічними і експлуатаційними властивостями.

В роботі визначені лише деякі технологічні параметри щодо підвищення якості виливків, а тому перспектива подальших досліджень полягає у пошуку оптимального хімічного складу жаростійких сталей, що буде задовольняти основним вимогам експлуатації литих деталей в конкретних умовах.

Список літератури

1. Федоров Г.Є. Технологические свойства литейных жаростойких хромоалюминиевых сталей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К., 1977. – 208 с.
2. Ващенко К.И., Жук В.Я., Лютый В.А. Безникелевая жаростойкая сталь для отливок, работающих при переменных температурах до 1200°C. // Литейное производство. – 1970, № 4. – С. 28...32.
3. Хромоалюминиевые стали для изготовления жаростойких деталей теплоэнергооборудования. / Лютый В.А., Платонов Е.А., Федоров Г.Є., Кузьменко А.Е. Литейное производство. – 2001, № 4. – С. 13...15.
4. Ланская К.А. Высокохромистые жаропрочные стали. – М.: Металлургия, 1976. – 216 с.
5. Ямшинский М.М. Вдосконалення технології виплавлення жаростійких хромоалюмінієвих сталей // Металознавство та обробка металів. – 2003, № 1. – С. 42...43.
6. Бекерман Ф.А. Корреляционные уравнения зависимости жидкотекучести от температуры. // Физико-химические основы производства сталей. – М.: Наука. – 1971. – С. 85...87.