

Рис. 2. Вплив елементів на ливарну усадку конструкційної сталі при температурі заливання сталі 1550 °С (вміст С і V становить 0,1; N-0,01; N·V-0001, частки значень наведені на осі абсцис)

Афтанділянц Є. Г.
(ФТМС НАН України, Київ)
ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЛИВАРНИХ
СТАЛЕЙ ПРИ ЗАТВЕРДІННІ
 E-mail: aftyev@yahoo.com

Якість виливків визначається не тільки фізико-механічними, а й такою ливарною властивістю, як тріщиностійкість металу, при його затвердінні в ливарній формі.

Тріщиностійкість литого металу визначається температурними, деформаційними і силовими характеристиками процесу утворення і розвитку тріщин в умовах ускладненої усадки. Широко застосовуються ступінчасті проби, що в основному фіксують процес поширення тріщини, оскільки визначення моменту зародження тріщини пов'язано з істотною похибкою, що вноситься конструктивним елементом, який створює ускладнену усадку металу.

З метою вивчення температурних, деформаційних і силових умов зародження і поширення тріщини розробили пристрій, що дозволяє проводити комплексометричний контроль процесу зародження та розвитку тріщин в умовах ускладненої усадки металу

Методичним питанням визначення характеристик тріщиностійкості виливків присвячені численні роботи [1-11]. Аналіз літературних даних показує, що найбільшого поширення набули пристрої, принцип дії яких заснований на одночасній реєстрації температури і деформації зразка в процесі його утрудненої усадки після заливки металу в ливарну форму. В цьому випадку температурні, деформаційні і силові параметри процесу визначаються в результаті аналізу аномальних ділянок залежності «температура – деформація» [5-8]. Однак застосування відомих пристроїв не дозволяє з достатньою точністю фіксувати умови утворення тріщин, оскільки точність вимірювання деформації зразка обмежується чутливістю конструктивного елемента гальмуючого ливарну усадку.

Крім того відомо [12], що утворення тріщин на перших етапах процесу супроводжується повним або частковим їх «заліковуванням» рідким металом, що гальмує в цей момент аномальний розвиток деформації виливки в умовах утрудненої усадки.

Одним з методів визначення мікро- і макродефектів кристалічної будови металу є вимір його електричного опору [13-15]. Тому при проведенні експериментів по дослідженню тріщиностійкості литих сталей одночасно з вимірюванням деформації і температури металу необхідно визначати зміну електричного опору ділянки зразка, в якому відбувається утворення і розвиток тріщин.

У зв'язку з тим, що експериментально і аналітично складно визначення умов утворення тріщин в процесі охолодження виливка після затвердіння, необхідна розробка пристрою для комплексометричного контролю параметрів тріщиноутворення ливарних сплавів, який дозволить в умовах утрудненою усадки одночасно реєструвати деформацію, електричний опір і температуру виливка і визначити температурні межі інтервалу гарячеламкості, напругу і відносне

подовження при яких відбувається зародження тріщин, а також деформацію вилівка в інтервалі гарячеламкості.

Розроблений пристрій для комплексного визначення характеристик тріщиностійкості сплавів складається з опоки 1, в якій формується ступінчаста проба 2, ливникової чаші 3, болтів 4 для односторонньої фіксації металу, що затвердіває, термопари 5, тяги 6, що послідовно з'єднує пластину 7, яка пружно деформується, з затвдіваючим металом, феродинамічного датчика лінійних переміщень 8 (відтарірованого на зусилля), який з точністю до 0,1% перетворює лінійні переміщення в електричні сигнали, потенціометра 10, який реєструє деформацію і температуру (рис. 1).

На відстані 0,025 довжини проби від центру термічного вузла встановлювали електроди 11 вимірювального ланцюга. У центрі термічного вузла встановлювали дублікат 12 електродів вимірювального ланцюга. Електроди вимірювального ланцюга і дублікат підключали до універсальних вимірювальних приладів 13 і 14.

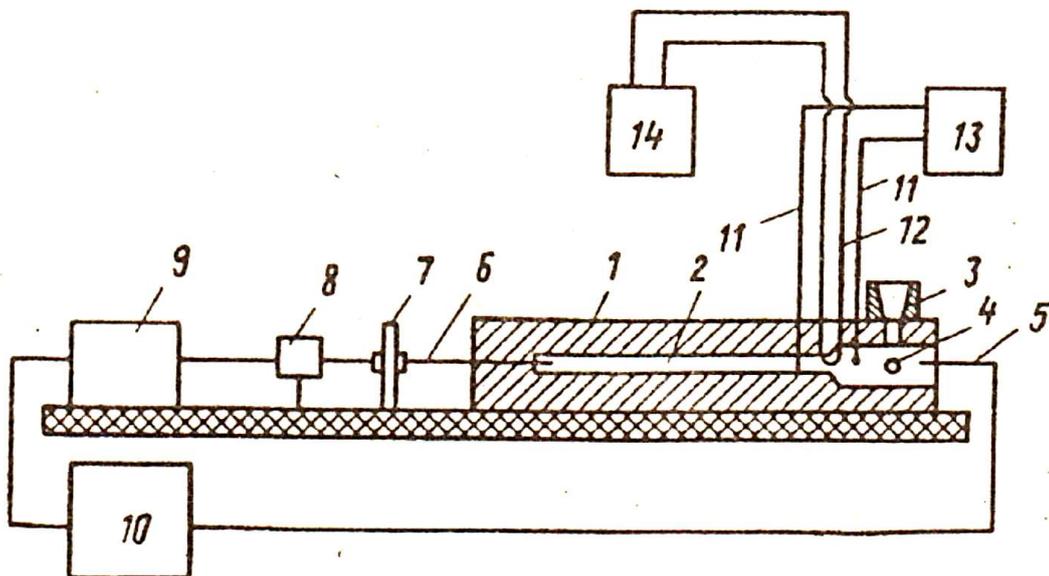


Рис. 1. Схема пристрою для визначення тріщиностійкості ливарного сплаву

З метою підвищення точності вимірювань електроди виготовляли з матеріалу з мінімальним електроопором (наприклад дріт діаметром 1,6 мм зі сталі 10) і

підключали до універсального вимірювального приладу, який працює за принципом подвійного моста.

Для усунення перешкод і побічних ефектів, не пов'язаних з процесом утворення тріщини, в центрі термічного вузла між проводами вимірювального ланцюга встановлювали дублікат, що фіксував рівень перешкод і побічних ефектів. Різниця між показниками електричного опору проводів вимірювального ланцюга і дублікатором показувала електроопір термічного вузла пов'язаного з появою тріщини та дозволяла визначити момент утворення тріщини і синхронізувати його з температурними, силовими та деформаційними параметрами процесу тріщиноутворення литого сплаву при затвердінні.

Для підвищення точності вимірювань електроди вимірювального і дублюючого ланцюга необхідно виготовляти з однаковим мінімальним електричним опором, оскільки зі зменшенням електричного опору електродів зменшується величина абсолютної похибки вимірювань.

З метою спрощення конструкції установки і отримання синхронної інформації про навантаження і деформацію в процесі утворення тріщин, в якості пристрою для створення утрудненою усадки використовували упругодеформірующую пластину (виконану з ресорної сталі), яку встановлювали між ливарної формою і датчиком лінійних переміщень і послідовно з'єднували з металом, що затвердіває, і датчиком за допомогою тяг.

З підвищення точності вимірювання, в якості перетворювача лінійних переміщень в електричні сигнали використовували феродинамічний датчик, що встановлювали після датчика лінійних переміщень і який перетворював сигнали з точністю до 0,1 %.

Центр сполучення порожнини ливарної форми, що утворює перехід від одного діаметра до іншого, визначали, як точка переходу від одного радіуса кривизни до іншого, що віднесена до осі ступінчастою проби (рис. 2 а, точка С).

Електроди 11 вимірювального ланцюга встановлювали на відстані 0,25-0,5 великого діаметра (D_2) порожнини ливарної форми від центру сполучення

(точка С), а в центрі сполучення встановлено дублікат 12 електродів вимірювального ланцюга (рис. 2 б).

Нашими дослідженнями встановлено, що на ділянці виливка на відстані 0,25-0,5 великого діаметру від центру сполучення в бік малого та великого діаметру виникають максимальні напруги, внаслідок сполучення різних діаметрів виливки при затвердінні стали, що призводить до утворення і розвитку тріщин. Установка електродів вимірювального ланцюга на відстані 0,25-0,5 великого діаметру від центру сполучення дозволяє досліджувати оптимальний обсяг металу, в якому відбувається процес зародження і розвитку тріщин і одночасно реєструвати комплекс температурних силових і деформаційних характеристик процесу утворення тріщин.

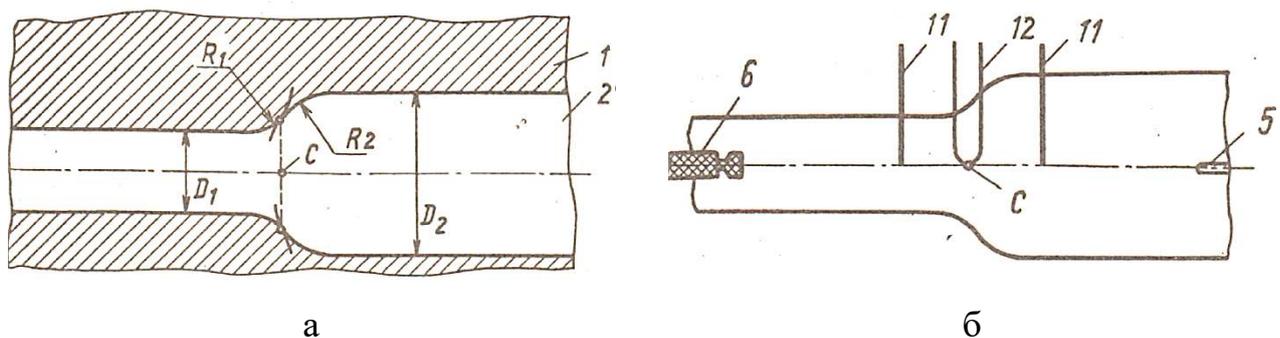


Рис. 2. Схема сполучення (а) і установки електродів (б) в ливарній формі

Реєстрація струму розбалансу моста, показань датчика температури (попередньо відтарованого за показниками термопари, встановленої в місці зародження тріщини) і величини ускладненої усадки Δ на багатопозиційному реєстраторі 14 дає можливість фіксувати процес утворення та розвитку тріщини при ускладненій усадці литого металу, Для реєстрації силового параметра використовується тарировочна залежність деформації упругодеформуємої пластини (Δ , мм) від прикладеного навантаження (P , Н), що має наступний вигляд:

$$\Delta = 1,45 \cdot 10^{-4} \cdot P + 1,2 \cdot 10^{-7} \cdot P^2, \quad (1)$$

Пристрій для вивчення тріщиностійкості ливарних сталей при затвердінні працює наступним чином. Розплавлений метал заливають крізь ливникову чашу 3 в ливарну форму 1 для отримання ступінчастої проби 2. Метал, що кристалізується фіксується з одного боку болтами 4, з іншого – пружно деформуючої пластиною 7 крізь тягу 6 створюється ускладнена усадка, яка у вигляді деформації реєструється датчиком 8 (попередньо відтарованого на навантаження) перетворюється датчиком 9 і записується потенціометром 10 одночасно з показниками термопари 5 (попередньо відтарованої за показаннями термопари, встановленої в термічному вузлі). Це дає можливість одночасно визначати температурні, силові і деформаційні характеристики процесу утворення та поширення тріщини.

Для одночасного визначення температурних і силових параметрів процесу утворення тріщини при заливці металу включається вимірювальний електричний ланцюг, який реєструє електричний опір термічного вузла і дублюючий електричний ланцюг, який реєструє рівень перешкод, пов'язаних з температурою металу.

По різниці електричного опору вимірювального та дублюючого ланцюга визначається справжній електричний опір термічного вузла, який при появі тріщини збільшується в 2-3 рази. Фіксація моменту утворення тріщини в часі за показниками приладів 13 і 14 дозволяє зв'язати процес тріщиноутворення з температурними, деформаційними і силовими характеристиками утрудненої усадки реєструючим потенціометром 10.

В результаті однієї заливки одночасно визначається комплекс температурних, силових і деформаційних характеристик процесу утворення тріщин литого сплаву при затвердінні.

Для оцінки ефективності застосування розробленого пристрою визначили параметри процесу утворення та розвитку тріщин в процесі ускладненої усадки стали 50Л після заливки в сиру піщано - глинисту форму при 1600 °С. Результати експериментів наведені на рис. 3.

Видно, що за величиною деформації (Δ) момент утворення тріщини можна визначити наближено. У той же час поява горизонтальної площадки (А) на кривій

I_p свідчить про порушення суцільності металу в місці сполучення ступінчастою проби.

Наступна експериментальна точка (В) на кривій I_p пов'язана з остаточним руйнуванням металу, що збігається з точкою (С) на кривій деформації.

Результати виконаних досліджень показують, що розроблений пристрій дозволяє проводити комплексометричний контроль умов утворення та розвитку тріщин в литому металі при охолодженні після затвердіння.

В результаті виконаної роботи розроблено пристрій для комплексометричного контролю параметрів тріщиноутворення ливарних сплавів, який дозволяє в умовах ускладненої усадки одночасно реєструвати деформацію, електроопір і температуру виливки, а також визначати температурні межі інтервалу гарячеламкості, напругу і відносне видовження при яких відбувається зародження тріщин, деформацію виливку в інтервалі гарячоламкості та процес поширення тріщин при охолодженні виливків після затвердіння.

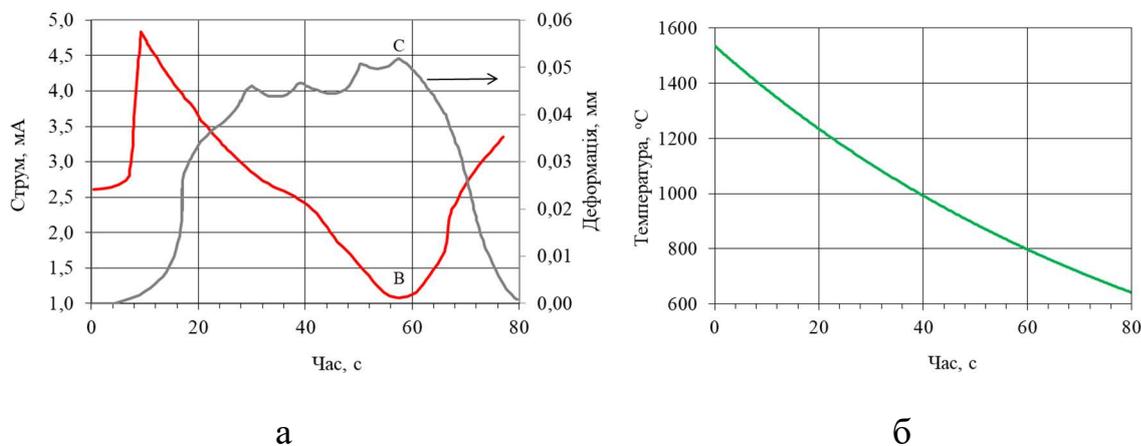


Рис. 3. Зміна деформації, струму розбалансу (а) і температури (б) при утворенні та розвитку тріщин в процесі ускладненої усадки сталі 50Л після заливання в сиру піщано-глинясту форму

Література

1. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки, т 2. – М.: Машиностроение, 1979. – 335 с.

2. Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов.-М.: Наука,1966. – 300 с.
3. Константинов Л.С., Трухов А.П. Напряжения деформации и трещины в отливках, М.: Машиностроение, 1981. – 199 с.
4. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов.-М.: Металлургия, 1971. – 496 с.
5. Трубицын Н.А. Усадка стали при охлаждении в форме и образование горячих трещин в отливках // Взаимодействие литейной формы и отливки.-М.: Наука, 1962. – С. 99-108.
6. Ван Эгем Ж., Де Си А. О механизме образования горячих трещин в стальном литье. Практический образец для изучения склонности к трещинообразованию.// Труды 32-го международного конгресса литейщиков.-М.: Машиностроение, 1969. – С. 14-32.
7. Изучение кинетики разрушения металла в процессе формирования отливки/ А.Г. Крючков, Л.Г. Грибов, А.В. Овчинников// Литейное производство, 1981. – С. 22-23.
8. Михайлов А.М., Тимофеев А.А., Требухин В.В. Температурный интервал чувствительности сплавов к литейным напряжениям и деформациям//Литейное производство, 1982. – С. 4-5.
9. А. с. 123292 СССР, МКИ G01 B 7/02. Прибор для определения линейной усадки сплава и стойкости против образования горячих трещин/ Н.А.Трубицын (СССР). – С. 2.
10. А. с. 204510 СССР, МКИ B22 Д 35/00. Устройство для определения линейной усадки сплава и стойкости против образования горячих трещин /Г.П.Зырин, Я.Г.Ашуха (СССР). – С. 3.
11. А. с. 885877 СССР, МКИ G 01 N 33/20. Устройство для определения трещиноустойчивости и линейной усадки сплава/А.П. Лысов, Б.Ш. Танкелевич, Р.П. Бродовских (СССР). – С. 4.
12. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов.- Л.: Машиностроение,1976. – С. 216.

13. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – С. 320.
14. Черепин В.Т. Экспериментальная техника в физическом металловедении. – Киев: Техника, 1968. – С. 280.
15. Чернобровкин В.П. Механические свойства литого металла. М.: Наука, 1963. – С. 308.
16. Электрические измерения / В. Н. Малиновский, Р. М. Демидова-Панферова, Ю. И. Евланов – М.: Энергоатомиздат, 1985. – С. 416.

Афтанділянц Є. Г.
(ФТІМС НАН України, Київ)
ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ НА
ПРОГАРТОВАНІСТЬ ЛИВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ
E-mail: aftyev@yahoo.com

Прогартованість характеризує здатність сталі сприймати загартування на певну глибину і є однією з основних характеристик, що дозволяє прогнозувати розподіл структурних складових по перерізу виливка або деталі.

Дослідження впливу різних факторів показують, що прогартованість конструкційної сталі визначається в основному стійкістю аустеніту до переохолодження і залежить від розміру зерна аустеніту, ступеня легування твердого розчину та вмісту в ньому вторинних фаз. Враховуючи, що прогартованість визначається, в основному, як відстань від поверхні деталі або виливка до зони, що містить 50 % мартенситу, визначили вплив хімічного складу сталі і температури гартування на твердість зони, що містить 50 % мартенситу.

Математичний аналіз показав, що твердість напівмартенситної зони конструкційних сталей, що містять (мас. %) від 0,15 до 0,72 C; 0,17-2,2 Si; 0,3-1,2 Mn; до 1,6 Cr; 3,25 Ni; 0,45 Mo; 0,2 V; 0,005 B; 0,15 Ti та загартованих при температурах від 810 до 930 °C з ймовірністю 99 % та похибкою $\delta = 1,31\%$ описується наступним рівнянням: