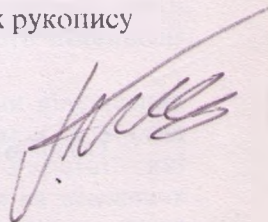


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

На правах рукопису

ПРОКОПОВИЧ Ігор Валентинович



УДК 621.746:620.192.47

ПІДВИЩЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ТОНКОСТІННИХ
ВИЛИВКІВ З СІРОГО ЧАВУНУ

Спеціальність 05.16.04 - Ливарне виробництво

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

КИЇВ - 1997

Дисертація є рукописом

Роботу виконано на кафедрі машин та технології ливарного виробництва
Одеського державного політехнічного університету

Науковий керівник: заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор
Ліна Олександрівна Іванова

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Данило Макарівич Колодило,
кандидат технічних наук, доцент
Вячеслав Олександрович Косячков

Провідна організація: Науково-дослідний інститут спеціальних засобів
лиття (м. Одеса).

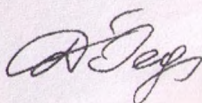
Захист дисертації відбудеться 21 квітня 1997 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої Ради К 01.02.12 з присудження вчених ступенів кандидата технічних наук при Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" за адресою: 252056, м.Київ, проспект Перемоги, 37.

З дисертаційною роботою можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Ваш відгук у 2-х примірниках, завірений гербовою печаткою, просимо надсилати за вказаною адресою.

Автореферат розісланий 18 березня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради.
к.т.н., доцент



Г.С.Федоров

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1 Актуальність роботи. Для енергетики України виробництво теплоенергетичного обладнання є важливою економічною та екологічною задачею. При порівняно низькому рівні експортного потенціалу продукції машинобудування України, в тому числі різного обладнання в галузі теплосенергетики, особливого значення набувають розробки нових вітчизняних конструкцій, які мають підвищені експлуатаційні показники.

Це обумовлює необхідність розв'язання проблеми підвищення міцності енергетичного обладнання, в тому числі й малих теплообмінників, що вперше розроблено в Україні, які використовуються для утилізації тепла відхідних газів на невеликих ТЕЦ. Міцність та економічність цих агрегатів визначається експлуатаційною стійкістю ребристих труб - деталей теплообмінника, які працюють в умовах підвищеного тиску й в агресивному середовищі відхідних газів котельнь.

З іншого боку, тенденція, яка намічається, до зниження випуску виливків з сірого чавуну - основного конструкційного матеріалу в машинобудуванні - також обмежує розвиток теплоенергетики. Отож, поряд з розробкою нових конструкцій теплообмінних апаратів треба зосередити увагу на проблемі підвищення якості сірого чавуну. Це пов'язано, в першу чергу, з необхідністю забезпечення достатньої герметичності тонкостінних виливків ускладненої конструкції, підвищення рідкотекучості розплаву для їх виробництва, та корозійної стійкості для збільшення терміну їх експлуатації.

Перехід до виробництва литих чавунних радіаторів нової конструкції для теплообмінника типу економайзер викликав потребу в додаткових дослідженнях технології їх виготовлення.

1.2 Метою дисертаційних досліджень є підвищення міцності тонкостінних литих деталей для теплообмінного обладнання шляхом розробки та впровадження технологічних процесів лиття сурм'янистих чавунів.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі розв'язані такі задачі:

- досліджено структуру та властивості сірого чавуну для оптимізації параметрів, що впливають на його герметичність;
- досліджено вплив присадок сурми на структуру та властивості сірого чавуну;

- досліджено вплив умов кристалізації на ефективність мікролегування сірого чавуну сурмою;
- розроблено новий склад конструкційного сплаву для тонкостінних деталей теплообмінників.

1.3 Об'єктом дослідження є виготовлення герметичних тонкостінних виливків складної конфігурації з сірого чавуну.

1.4 Предметом дослідження є наукові та методологічні аспекти створення мікроструктури сірих чавунів, яка забезпечує підвищення герметичності виливка.

1.5 Наукова новизна дисертації полягає у розвитку та поглибленні теоретичних і методологічних основ створення оптимальної структури сірих чавунів з метою підвищення їх герметичності.

Нові наукові результати дисертаційного дослідження:

- на підставі вивчення механізму проникності гетерогенних металевих сплавів дістали залежність між структурою та герметичністю сірих чавунів;

- вивчено вплив присадок сурми на форму кристалізації графіту в чавуні;

- на підставі дослідження міцності металевої матриці чавуну й динаміки її зруйнування при проникненні рідини під тиском розроблено комп'ютерну модель гідроміцності виливків;

- розроблено ймовірнісну модель виникнення й розвитку травитної пористості в стінках литих деталей з сірого чавуну.

1.6 Практична цінність роботи полягає у тому, що вперше розроблено метод забезпечення герметичності виливка незалежно від умов кристалізації шляхом мікролегування сурмою; розроблено нові склади сплавів для виливків з підвищеною герметичністю; запропоновано методику для прогнозування герметичності литих виробів з сірого чавуну; запропоновано оригінальну конструкцію ребристого чавунного радіатора та оснастки для його виготовлення; розроблено технологію виробництва гідроміцної чавунної теплоенергетичної арматури. Проведено її апробацію на Одеському заводі "Центролит".

1.7 Основні положення, що виносяться до захисту:

- метод підвищення герметичності виробів із сірих чавунів, який полягає в оптимізації їх складу;

- створення умов для формоутворення гідроміцносних властивостей сірих чавунів, які експлуатуються в умовах високого тиску.

1.8 Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на науково-технічних конференціях “Шляхи підвищення якості та економічності ливарних процесів” (Одеса, 1995, 1996); III семінарі “Моделювання у прикладних наукових дослідженнях” (Одеса, 1996); розширеному засіданні кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету України “КПІ” (Київ, 1997).

1.9 Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 друкованих праць, у тому числі 3 статті в науково-спеціалізованих жур. галах.

1.10 Об'єм та структура дисертації. Дисертаційну роботу викладено на 145 сторінках машинописного тексту; вона складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків по роботі та додатків. Робота містить 16 таблиць, 76 рисунків; бібліографія - 142 джерела.

2 ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

2.1 Аналіз експлуатаційних характеристик литих елементів теплоенергетичного обладнання. Традиційно при литті ребристих труб використовують сталь, чавун та деяк. кольорові сплави. Найбільш широкого застосування при виготовленні теплообмінників набув чавун як найменш дефіцитний сплав, що відповідає, однак, основним технологічним вимогам. У той же час із аналізу літературних джерел випливає, що звичайний сірий чавун є гарним конструкційним матеріалом, але в деяких випадках не задовольняє вимогам промисловості щодо герметичності й поступається ковкому, високоміцному, синтетичному чавунам та чавуну з вермикулярним графітом.

Зараз існує декілька думок про причини негерметичності сірих чавунів. Герметичність чавуну визначається не тільки усадковими дефектами. Вона також залежить від характеристик графіту та структури матриці. Зазори між включеннями графіту та металевою матрицею в структурі сірого чавуну утворюють його мікропористість. Мікропори поділяються на відкриті (транзитні), тупикові та закриті (відокремлені). Просочування рідини (газу) крізь стінку виливка відбувається за транзитними мікропорами, що існують у структурі металу (зазори графіт-матриця, які сполучаються між собою). Товщина включень графіту характеризує розмір зазорів, а кількість та довжина - сполученість їх між собою.

На одну думку, рідина фільтрується тільки за каналами такого роду, що первісно існують у структурі металу, а утворення нових

крізьних каналів просочування під час випробувань не відбувається.

На іншу думку, негерметичність виливків з сірого чавуну обумовлена тим, що в момент прикладання критичного тиску в мікропорах виникає тиск, який руйнує перемичку із металеві матриці між ними. Послідовність таких руйнувань веде до утворення транзитного каналу просочування. Здібність матриці протистояти тиску рідини називається гідроміцністю чавуну. Гідроміцність залежить від властивостей матриці та товщини перемички між графітовими включеннями. Остання, в свою чергу, залежить від величини графітових включень та їх розташування за перерізом виливка.

Як видно, герметичність залежить від форми, розмірів та характеру залягання графіту. Підвисити герметичність тонкостінних виливків для теплообмінного обладнання з сірого чавуну можна шляхом зміни мікроструктури за рахунок зменшення розмірів пластин графіту. Такий ефект досягається при уведенні в розплав сірого чавуну антиграфітизуючих присадок. Однак така присадка не повинна погіршувати технологічні та експлуатаційні властивості сплаву: підвищувати усадку; знизити рідкотекучість, теплопровідність, корозійну стійкість тощо.

2.2 Методи дослідження. При проведенні експериментів використовували оригінальні лабораторні установки для визначення герметичності, корозійної стійкості та дійсної щільності первісного й легovanого чавунів, а також дослідження утворення транзитного каналу просочування в структурі сірого чавуну при різній довжині графітових включень. Обробку результатів досліджень проводили на ЕОМ за допомогою оригінальних програм мовами програмування PASCAL, ASSEMBLER та прикладної програми Copyright © BONH Software 1993.

2.3 Залежність герметичності сірого чавуну від довжини графітових включень. При дослідженні герметичності виливків з сірого чавуну виявили, що прості рівностінні виливки витримують тиск у декілька разів вищий, ніж виливки з того ж сплаву складної конструкції. Крім того, виливки з сірого чавуну, які витримують випробування, при уведенні в експлуатацію втрачають герметичність при тисках, у декілька разів менших за тиск випробування.

За допомогою оригінальної комп'ютерної моделі визначили ймовірність утворення транзитного каналу просочування в процесі

кристалізації вилівка. Виявилося, що ця ймовірність $P(A)$ залежить від форми, розмірів та розгашування графіту. В одиничний об'єм (прямокутну призму) з розмірами $b \times a \times d$, які моделювали включення графіту з різною довжиною, до з'єднання через них протилежних граней призми. Сукупність одиничних включень у даному з'єднанні моделювала транзитну пору, що утворилася в процесі кристалізації металу через сполучені зазори графіт-матриця. Кількість виведених моделей включень обмежували відносною площею S , яка заповнена включеннями й котру фіксували на довільних перерізах призми з розмірами $b \times a$.

За результатами експерименту на моделі (рис. 1) видно, що навіть при найгрубішому графіті ймовірність утворення транзитного каналу просочування мала і становить менше 0.1. Отже, існування в структурі сірого чавуну первісно існуючих транзитних пор є переважною причиною негерметичності вилівоків.

Певно, на негерметичність вилівка з сірого чавуну впливає не тільки наявність існуючих у структурі відкритих пор, але й низька гідроміцність вилівка, внаслідок чого утворюються нові канали просочування. Гідроміцність сірого чавуну являє собою здатність перемички товщиною h протистояти руйнуванню під дією рідини.

Для моделювання зруйнування припустили, що одинична "глюстка" графітового включення має вигляд пластини, що оточена з усіх боків металеву матрицею товщиною h (рис. 2). У зазорах між графітом і металеву матрицею знаходиться рідина під тиском P . Перемички, що оточують включення, - це пластини, які твердо затиснуті за контуром.



1 - $S < 0,03$; 2 - $S = 0,03-0,05$; 3 - $S = 0,05-0,08$;
4 - $S = 0,08-0,12$; 5 - $S > 0,12$

Рисунок 1 - Залежність вірогідності виникнення транзитної пори від середньої довжини включення

У тонкій пластині, що знаходиться під розподіленим навантаженням P , за моментною теорією виникають нормальні напруження, звідки найменш припустима товщина перемички

$$h = \sqrt{\frac{12 \cdot k_2 \cdot P \cdot l_{2p}^2}{\sigma_{\text{max}}}} \quad (1)$$

де σ_{max} - максимально припустиме напруження, що виникає в перемичці, Па;

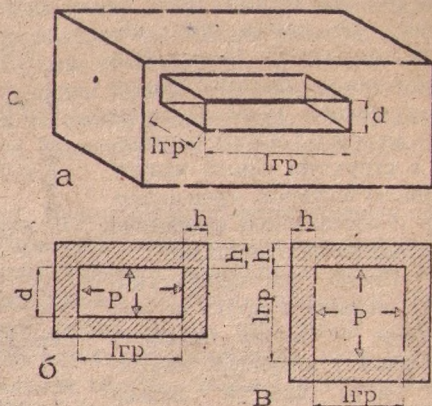
l_{2p} - середня довжина графітових включень, м;

k_2 - коефіцієнт, який залежить від відношення ширини пластины до її довжини.

У результаті розрахунку за (1) одержана графічна залежність мінімальної товщини перемички від довжини гіртового включення при різних тисках (рис. 3).

Як видно, мінімальна товщина перемички, що витримує тиск рідини, пропорційна середній довжині графітового включення при різних тисках. Вона збільшується зі збільшенням довжини графітового включення. З мікроструктурного аналізу виявили, що зі збільшенням довжини графітового включення товщина перемички падає, тобто стає меншою за мінімальну розрахункову товщину. Це призводить до втрати герметичності внаслідок її зруйнування.

Зі спільного розв'язання рівнянь Дарсі і Гайгена-Пуазейля вивели герметичність як внутрішній опір матеріалу просочуванню рідини:



а) пластина графіту оточена металевою матрицею; б) вертикальний перетин; в) горизонтальний перетин

Рисунок 2 - Модель одичної пластины включення графіту в металевій матриці

$$G' = K_p \cdot K_{изв} \cdot L \cdot \frac{8 \cdot \pi}{l_{гр} \cdot d \cdot \Pi} \quad (2)$$

де L - товщина пористого середовища в напрямку фільтрації рідини, м;

Π - пористість;

d - ширина зазора графіт-матриця, м;

$l_{гр}$ - середня довжина графітового включення, м;

K_p - коефіцієнт розриву перемички;

$K_{изв}$ - коефіцієнт звивистості пор.

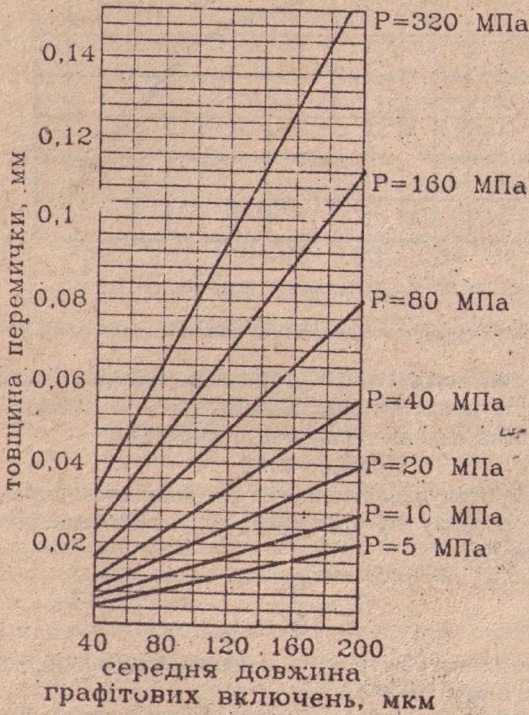


Рисунок 3 - Залежність мінімально допустимої товщини перемички від довжини графітового включення при різних тисках рідини

Із рівняння капілярного опору в порах дістали ширину зазора d :

$$d = \frac{2 \cdot \sigma \cdot l_{\text{гр}} \cdot \cos \Theta}{l_{\text{гр}} \cdot P_{\text{пр}} - 2 \cdot \sigma \cdot \cos \Theta}, \quad (3)$$

де σ - поверхневий натяг рідини, Н/м;

Θ - крайовий кут змочування;

$P_{\text{пр}}$ - тиск просочування, який визначається за експериментальною залежністю, Па (рис. 4).



Рисунок 4 - Залежність тиску просочування від довжини графітового включення

Коефіцієнт звивистості пор $K_{\text{зв}}$ урахує, що фільтрація рідини відбувається не за найкоротшим шляхом, який з'єднує дві протилежні стінки виливка, а за криволінійними каналами.

$$K_{\text{зв}} = l_{\text{кр}} / L = 2 \div 10, \quad (4)$$

де $l_{\text{кр}}$ - шлях просочування рідини за криволінійною порою.

Коефіцієнт розриву K_p урахує руйнування перемичок між включеннями графіту:

$$K_p = \frac{G_1}{G_2}, \quad (5)$$

де G_1 - герметичність матеріалу при первинному випробуванні, ег (одиниця герметичності 1 ег = 1 м⁻¹);

G_2 - герметичність матеріалу при повторному випробуванні, ег.

Герметичність матеріалу при первинному та повторному випробуваннях визначали за експериментальними даними за допомогою формули:

$$G = \frac{P_{np} \cdot \omega \cdot t}{W \cdot \eta} \quad (6)$$

ω - ділянка просочування, м²;
 η - динамічна в'язкість рідини, Па·с;
 t - час випробування, с;
 W - кількість просочуваної рідини, м³.

Питому герметичність G_0 визначали як відношення герметичності G до квадрата товщини пористого середовища L .

Різниця в значеннях герметичності при первинних та повторних випробуваннях тих самих зразків пояснюється тим, що під час первинного навантаження відбувається зруйнування перемичок, що збільшує кількість пористих каналів. Природно, що наступні навантаження зразків не вносять змін у значення герметичності. Такий ефект аналогічний пробою напівпровідників, який відбувається при підключенні критичної різниці потенціалів, внаслідок чого напівпровідник перетворюється на провідник. За експериментальними даними визначили, що середнє значення K_p для досліджуваних довжин графітових включень (40...180 мкм) при перлітно-феритній матриці становитиме $K_p = 180...200$.

Вираз (2) дозволяє розрахувати герметичність виливка, якщо знати його структуру й не проводити відповідних вимірювань.

2.4 Дослідження впливу сурми на герметичність сурм'янистого чавуну. При розробці спеціальних чавунів виявили деякі закономірності впливу сурми на структуру сірого чавуну. Припускали, що сурма ($t_{пл} = 630.5 \text{ }^\circ\text{C}$) внаслідок близькості температур плавлення з магнієм ($t_{пл} = 651 \text{ }^\circ\text{C}$) буде сприяти утворенню глобул графіту. Однак утворення кулястого графіту не відбулося; уведення сурми призвело тільки до здрібнення пластин графіту в сірому чавуні та стабілізації перліту, що в питаннях підвищення герметичності може мати вирішальне практичне значення.

Підвищення герметичності сірого чавуну шляхом зміни структури не повинне погіршувати інших технологічних та експлуатаційних характеристик сплаву, що потребує додаткових випробувань, які спрямовані на вивчення можливості застосування сурм'янистих чавунів для виробництва тонкостінних виливків теплоенергетичного обладнання підвищеного тиску.

Дослідження проводили на чавунах, що виплавлялися з

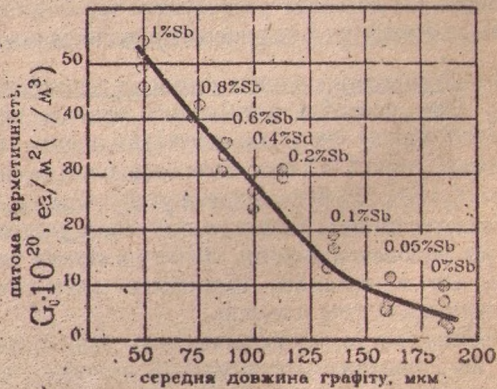
чавунного лому (C-3,47%, Si-1,18%, Mn-0,16%, S-0,08%, P-0,28%), тому що ливарні заводи зараз зазнають нестачу свіжих шихтових матеріалів. Сурму додавали в первісний чавун від 0,05 до 1,6% після глибокого модифікування (ФС75-1%).

Таблиця 1 - Результати дослідження мікроструктури

Інд.пл.	Sb, %	Сер. дов. граф. вкл., мкм	Кл. пер., %
1	0.00	167	65-70
2	0.05	161	75-80
3	0.10	131	85-90
4	.20	131	95
5	0.40	131	100
6	0.60	127	100
7	0.80	127	100
8	1.00	58	100

структуру матриці (табл. 1), зменшує його кількість у чавуні. Зменшення пористості сурм'янистого чавуну підвищує його герметичність. Зменшення середньої довжини графіту (табл. 1), що спостерігається, призводить до зменшення ймовірності утворення кризних пор у період кристалізації та збільшення товщини перемички між графітовими включеннями, що утрудняє утворення нових транзитних каналів внаслідок її руйнування при випробуванні видівка тиском. Це призводить до підвищення герметичності (рис. 5).

Мікролегування сірого чавуну сурмою призводить до збільшення дійсної щільності досліджуваних чавунів і, як наслідок, до зменшення його пористості. Пористість проб $\varnothing 30$ мм з первісного сірого чавуну становитиме 0,134, а при кількості 0,05% Sb - 0,124; 0,2% Sb - 0,105; 0,4% Sb - 0,1; 0,8% Sb - 0,087; 1% Sb - 0,08. Така зміна пористості відбулася через те, що сурма, пов'язуючи вільний вуглець, стабілізує первісну



Рисунк 5 - Залежність питомої герметичності сурм'янистого чавуну від довжини графітового включення

Присадка сурми підвищує герметичність сірого чавуну за різних умов кристалізації (рис. 6). Це відбувається через ті ж самі зміни у структурі досліджуваних чавунів. Присадка сурми знижує пористість чавуну на 20-25% за всією висотою ступенчастої проби, зменшує середню довжину графітових включень та стабілізує перлітну структуру (рис. 7). Крім того, поліпшується рідкотекучість сплаву на 25-30%.

Теплопровідність сурмянистого чавуну в інтервалі робочих температур теплообмінників (350-450 °C) перебуває у тих самих межах, що й первісного чавуну.

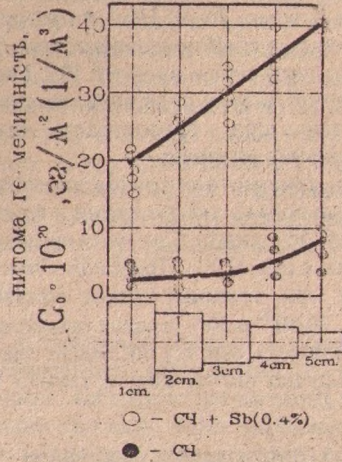


Рисунок 6 - Залежності питомої герметичності сірого чавуну й чавуну, легованого сурмію, від товщини стінки технологічної проби

Корозійна стійкість сурмянистого чавуну в кислих та лужних середовищах в 1,8-2,5 разів вище, ніж у первісного сірого чавуну через зміни у структурі.

Нажаль, зі збільшенням кількості сурми відбувається погіршення механічних властивостей. Межа міцності при вигині у первісного чавуну становить близько $35 \cdot 10^7$ Н/м², а при кількості сурми в чавуні 0.4...1% - $(18...20) \cdot 10^7$. Межа міцності на розрив також

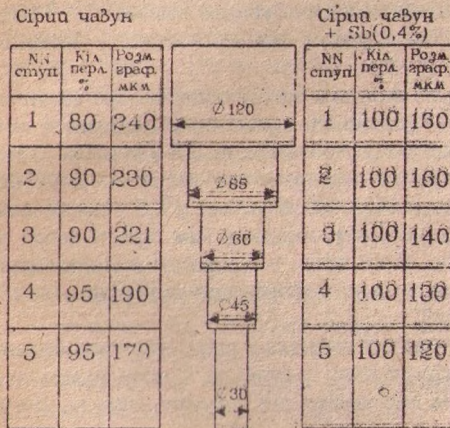


Рисунок 7

зменшується з $14 \cdot 10^7$ ($Sb=0\%$) до $8 \cdot 10^7$ Н/м² ($Sb=1\%$). Знятками є міцність на стиснення, котра практично не змінюється, лишакчись рівною близько $70 \cdot 10^7$ Н/м², та твердість за Брінеллем, котра зростає практично за лінійною залежністю від 220 у первісного чавуну до 340 при кількості сурми в чавуні 1%. Твердість збільшується через появу в структурі чавуну включень цементиту. Таку зміну механічних властивостей слід враховувати при виробництві тонкостінних гідроциліндрів.

За допомогою трифакторного експерименту встановили, що оптимальною кількістю сурми в сірому чавуні для підвищення герметичності без шкоди його механічним властивостям для тонкостінних виливків є 0,1...0,2%. При такій кількості сурми питома герметичність чавуну при товщині стінки виливка до 30 мм досягає значень $20 \cdot 10^{20}$... $30 \cdot 10^{20}$ ег/м², середня довжина графітових включень - 60...100 мкм, кількість перліту 95...100%, міцність при вигині 250...300 МПа. Виливки, що виготовлені з такого чавуну, витримують тиск до 15 МПа.

2.5 Виготовлення ребристих труб із сурм'янистого чавуну.

Промислово апробацію результатів досліджень здійснено на Одеському ливарному заводі "Центролит". Зі звичайного та сурм'янистого чавунів виливалася експериментальна партія виливків "труба ребриста" для теплообмінника типу економайзер, який розроблено спільно з НІФ "Нові технології" (м. Одеса). Відповідно до технічного завдання виливок має витримувати випробування тиском 1 МПа. Виливок "труба ребриста" одержували шляхом лиття у піщано-глинисті сірі форми.

Розрахунок герметичності виливка за (2) показав, що виливок може витримувати тиск випробування. На практиці ж виливки зі звичайного сірого чавуну давали течу при тисковій 0,5-0,8 МПа. Течу спостерігали в теплових вузлах виливка, де середня довжина графітових включень становила 160...180 мкм, що у 2,5 рази більше очікуваного. Через це й виникла невідповідність між практичною та розрахунковою герметичністю. Крім того, у більшості виливків спостерігали недоліки ребер, що значно зменшувало поверхню теплообміну деталі "труба ребриста".

Для підвищення герметичності виливка і рідкотекучості сплаву застосували мікролегування сірого чавуну сурмою. Сурму додавали в тигель індукційної печі або на дно ковша під струмінь металу. Легу-

вання проводили у кількості 0,16% Sb (виходячи з оптимальної концентрації сурми в чавуні) від ваги рідкого металу. З додаванням сурми поліпшилась проливаність ребер. У теплових вузлах вилівка середня довжина графітових включень становила 60...80 мкм, що призвело до підвищення герметичності. Додавання сурми дозволило зменшити брак виливків за течєю та недоливами з 8 до 1,5%. Як показав хімічний аналіз виливків, сурма повністю засвоєється розплавом, тобто не відбувається її угару. Угару сурми не спостерігали і при переплавці віднови сурм'янистого чавуну. При переплавці також зберігається її вплив на структуру та властивості металу, таким чином використання віднови не потребує додаткового легування.

3 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

3.1 У результаті аналізу літературних джерел і узагальнення досвіду ряду машинобудівних підприємств установлено, що звичайні сірі чавуни не задовольняють вимог, які ставляться до литих виробів, котрі працюють під тиском рідини або газу, через порівняно низьку герметичність. Проникність чавунів пов'язана з низькими механічними характеристиками графітових включень та недостатньою міцністю елементів матриці, які є перемичками між такими включеннями.

3.2 При первинному підвищенні тиску в посудині з сірого чавуну до критичного значення відбувається "пробій" стінок посудини, який пов'язаний з руйнуванням перемичок. При повторному навантаженні проникність таких стінок набуває великих значень уже при малих тисках. Таке явище підтверджує гіпотезу про механізм негідроміцності сірих чавунів.

3.3 Запропоновано комп'ютерну модель гідроміцності чавунного виливка, яка дозволяє визначити найменш припустиму товщину перемички за довжиною графітового включення при різних тисках. Цю модель побудовано на припущеннях про те, що:

- "подібетка" розетки графіту розглядається як одинична пластина;
- пластина графіту має прямокутну форму;
- одинична пластина графіту оточена з усіх боків металевю матрицею товщиною h ;
- металева матриця на кожній грані пластини є твердо затиснутою за контуром пластиною.

Розроблено ймовірнісну модель виникнення й ро витку транзитної пористості в стінках литих деталей з сірого чавуну, яка дозволяє визначити ймовірність виникнення транзитного каналу просочування за довжиною графітових включень.

3.4 Розрахунком комп'ютерної моделі дістали та експериментом на оригінальних зразках підтвердили кількісні співвідношення між розмірами матричних церемичок і герметичністю через довжину графітових включень. Установлено, що в звичайних сірих чавунах з пластинчастим графітом міцності дійсних церемичок не достатньо для забезпечення технічно припустимої герметичності посудин, що призначені до роботи під тиском.

3.5 У результаті розрахунку комп'ютерної моделі дістали номограму залежності найменшої припустимої товщини церемички від середньої довжини графітових включень при різних тисках.

3.6 Для підвищення міцності церемичок за рахунок зміни їх розмірів запропоновано мікролегування чавуну з метою зменшення довжини графіту. Комілексним дослідженням герметичності легованих чавунів, їх механічних, ливарних, антикорозійних та теплофізичних властивостей за допомогою експериментально-статистичного моделювання встановлено, що оптимальною присадкою для цих умов є сурма в кількості 0,1...0,2%.

3.7 Мікроструктурним аналізом виливків з сурм'янистих чавунів визначили вплив характеру кристалізації металу на його основні структурні характеристики, які забезпечують герметичність для тонкостінних виливків близько $15 \cdot 10^{14}$... $20 \cdot 10^{14}$ ег: форма графіту при цьому - пластинчаста і крапкова, а довжина - 40...60 мкм.

3.8 Запропоновано оригінальну конструкцію ребристого чавунного радіатора, яка полягає у великій частоті розташування ребер та їх формі, а також оснастки для його виробництва.

3.9 На підставі рекомендацій, що одержані в результаті дисертаційних досліджень, розроблено технологічний процес виготовлення гідроміцної чавунної теплоенергетичної арматури.

3.10 Проведено промислові випробування розробленої технології та оснастки на Одеському заводі "Центролит" для деталя "труба ребриста". Підтверджено позитивний вплив запропонованих заходів на герметичність литих ребристих труб. Очікуваний економічний ефект від впровадження цих заходів становитиме 25000 грн. на рік.

4 Основні положення дисертаційної роботи викладені у друкованих працях:

4.1 Иванова Л.А., Прокопович И.В., Каспревич П.В. Повышение герметичности литых радиаторов // Литейное производство. - 1996. - №7. - С.7-9.

4.2 Иванова Л.А., Прокопович И.В. Влияние графитовых включений на герметичность серых чугунов // Литейное производство. - 1997. - № 2. - С.7-9.

4.3 Иванова Л.А., Прокопович И.В., Прокопович Л.В. Отделка художественных отливок // Литейное производство. - 1996. - №7. - С.14-15.

4.4 Иванова Л.А., Доценко П.В., Прокопович И.В., Помазенко М.А. Коррозионные свойства чугуновых ребристых труб для теплообменных агрегатов // Сб. "Пути повышения качества и экономичности литейных процессов". - Одесса: Совпин, 1996. - С.49-53.

4.5 Иванова Л.О., Прокопович И.В., Прокопович Л.В. Екологічно чистий засіб легування сірих чавунів // Сб. "Пути повышения качества и экономичности литейных процессов". - Одесса: Совпин, 1996. - С.113-114.

4.6 Иванова Л.А., Прокопович И.В., Каспревич П.В. Причины потери герметичности отливок из серого чугуна // Сб. "Моделирование в прикладных научных исследованиях". - Одесса: ОГПУ, 1996. - С. 25-28.

4.7 Иванова Л.А., Прокопович И.В. Зависимость герметичности серого чугуна от длины графитовых включений // Сб. "Моделирование в прикладных научных исследованиях". - Одесса: ОГПУ, 1996. - С. 28-32

4.8 Иванова Л.А., Прокопович И.В., Каспревич П.В. Особенности технологии изготовления литых радиаторов // Тезисы докл. конф. "Пути повышения качества и экономичности литейных процессов". - Одесса: Совпин, 1995. - С.9-10.

4.9 Иванова Л.А., Доценко П.В., Прокопович И.В., Каспревич П.В. Повышение герметичности отливок из серого чугуна // Пути повышения качества и экономичности литейных процессов". - Одесса: Совпин, 1995. - С.11-13.

4.10 Иванова Л.А., Прокопович Л.В., Прокопович И.В. Снижение загазованности среды при литье по газифицируемым моделям // Тезисы докл. конф. "Пути повышения качества и экономичности литейных процессов". - Одесса: Совпин, 1995. - С.18.

Прокопович Игорь Валентинович. Повышение герметичности тонкостенных отливок из серого чугуна. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 - литейное производство. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1997.

На основе выявления механизма потери герметичности отливкой из серого чугуна вследствие низкой гидропрочности сплава получена аналитическая зависимость герметичности от средней длины графитовых включений в структуре металла. Предложен метод повышения эксплуатационных характеристик тонкостенных, сложнорельефных чугунных отливок теплоэнергетического оборудования повышенного давления, заключающийся в создании оптимальной микроструктуры сплава путем легирования его микроприсадками сурьмы.

Технология испытана на Одесском литейном заводе "Центролит". Ожидаемый экономический эффект за счет снижения брака литья "ребристых труб" по негерметичности - 25000 гр. в год.

Prokopovich Igor. The rising of the hermeticity of thin-walled castings from gray iron. The typescript.

The dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the speciality 05.16.04 - Casting engineering. National Technical University of Ukraine "KPI", Kiev, 1997.

On the basis of detection of the mechanism of the loss of hermeticity by casting from gray iron because of low hydrosolidity of alloy is received the analytic dependence of hermeticity from the medium length of graphite inclusions in the metal structure. Is offered the method of the rising of the in-service descriptions of the thin-walled iron castings with complex relief for the heat-and-powered equipment of higher pressure consisted in the building up of the optimal microstructure of alloy by means of the backdoping of stibium microadditions.

Technology is tested on OFP "Tsentrilit". Expected economical efficiency due to the downlead of the rejection of the moulding of the "gilled tubes" by unhermeticity is 25000 gr. per annum.

Ключові слова: герметичність, гідроміцність, графітове включення, мікролегування сурмою.

Підписано до друку 29.02.97. Формат 60×84/16.
Папір газетний. Друк офсетний. 0,93 ум. друк. арк.
1,00 обл.-вид. арк. Тираж 100 пр. Зам. № 44

Одеський державний політехнічний університет.
270044, Одеса, пр. Шевченка, 1.