

ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ ЛИТТЯ КОРПУСУ ВЕНТИЛЯ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ

Задачі з усунення ливарних дефектів і зменшення виробничих втрат при литті залишаються актуальними до сьогодні. В цій роботі проведено порівняння між результатами моделювання та експерименту лиття корпусу вентиля за моделями, що газифікуються, з метою попередження утворення усадкових дефектів у виливках корпусів.

Об'єктом досліджень був сталевий виливок "Корпус вентиля DN 80" масою 19,7 кг. Габаритні розміри виливка 320×200×200 мм. Товщина стінки фланців складала 22 мм, а товщина стінок основної частини корпусу - 8-10 мм. Згідно технічних умов виливки корпусу вентиля мають бути герметичними, робочий тиск виробу становить 4 МПа. На герметизуючих поверхнях корпусу вентиля не допускаються ливарні дефекти, які перевищують величину припуску на механічне оброблення.

При практичних дослідженнях виливки виготовляли традиційним методом лиття за моделями, що газифікуються. Разові моделі одержували з пінополістиролу густиною 27 кг/м³ спіканням у прес-формах. До моделей корпусу приклеювали ливникову систему, після чого на модельний блок наносили водне протипригарне покриття. Після нанесення і висихання протипригарного покриття модельні блоки формували в сухому кварцовому піску, який ущільнювали за допомогою вібрації. Для надливів використовували екзотермічні оболонки. Заливання форм виконували сталлю 1.0619 DIN EN10213, яку виплавляли в індукційній печі ICT-016. Під час заливання форми ливарний контейнер підключали до вакуумної системи (0,04 МПа), яка видаляла з форми продукти деструкції пінополістиролової моделі. Після охолодження виливків відрізали ливники і надливи, проводили їх дробоструменеве очищення.

Гідравлічна щільність сталевих виливків «Корпус вентиля DN 80» визначалася на спеціальному стенді при випробувальному тиску води в корпусі 6 МПа протягом 10 хв і характеризувалася заданим тиском і часом до запотівання або витoku в корпусі. Декілька дослідних виливків розрізали для виявлення внутрішніх дефектів в критичних місцях.

Для комп'ютерного моделювання процесів заливання і затвердіння виливка було використано програмне забезпечення Flow-3D Cast® (Version 2023R1; <https://www.flow3d.com>; Flow Science, Inc.). Використовували функції симетрії, оскільки в ливарному блоці дві моделі корпусів розмішувалися

симетрично від стояка. Розмір розрахункової комірки задавався 2 мм. Матеріали близькі за своїми властивостями до експериментальних матеріалів були вибрані з бази даних програми. Температура заливання сталі задавалася 1600 °С, початкова температура форми, піномоделі й оболонок, навколишнього середовища – 20 °С. Коефіцієнти теплообміну задавалися наступні Вт/(м²·°С): між рідким металом і піномоделлю – 3000, між рідким металом і формою – 600, між тверднучим металом і формою – 200, між формою і екзотермічними оболонками – 500. Металостатичний тиск на верхній поверхні стояка 6800 Па.

Для виливків корпусу вентиля була спроектована нижня ливникова система, яка включала стояк, ливниковий хід та три живильника. Площі перетинів живильників розраховували так, щоб середня швидкість підйому металу в формі була близько 25-30 мм/с. За базовою технологією було виготовлено дослідну партію виливків корпусу вентиля. Після механічного оброблення фланців проведено гідравлічні випробування корпусів, які показали, що більша частина корпусів протікає. Оскільки проточини розташовані в місцях сполучень стінок корпусу, то найімовірніше, що їх причиною є усадкові раковини і поруватість.

Для визначення місць формування усадкових дефектів було проведено моделювання заливання та затвердіння виливка корпусу вентиля. Результати моделювання заливання показали, що воно відбувається з формуванням майже горизонтального фронту металу з незначним його «вигином» в центральній частині. Такий характер заливання створює умови для виведення продуктів деструкції пінополістиролу із ливарної порожнини, тому можна стверджувати, що продукти деструкції не є причиною утворення поруватості. На рис. 1а показано поруватість у виливку за базовим варіантом ливарної технології. З рисунку видно, що великі усадкові раковини розташовані в місцях сполучення патрубків з сідлом клапана (під і над ребрами). Менші раковини розташовані в круглих та квадратному фланцях. Також маленька раковина є в нижній частині корпусу над середнім живильником.

Вивчення реальних виливків корпусу вентиля після їх розтину показали, що усадкові дефекти (раковини та поруватість) присутні в фланцях та місцях сполучення патрубків з сідлом клапана (рис. 1б). Місця цих раковин співпадають з результатами моделювання, хоча розміри їх дещо відрізняються. Через наявні раковини та поруватість виливки не задовольняють технічні умови, в першу чергу, вони спричиняють протікання корпусу під час випробувань на герметичність, навіть, якщо дефекти не виходять на поверхню.

Як показали результати моделювання затвердіння виливка, основні усадкові раковини сконцентровані в надливах, однак в фланцях під надливами також є усадкові раковини. Тобто надливи не забезпечили достатнього живлення фланців корпусу, хоч вони були і екзотермічними.

Очевидно, що фронт металу при заливанні більше охолоджується через витрати тепла на газифікацію піномоделі, і в надливи надходить охолоджений метал, тому вони спрацювали неефективно. Причиною утворення усадкових раковин в місцях сполучення патрубків з сідлом клапана є теплові вузли, що обумовлені конструкцією деталі. Раковини над живильниками утворилися через розігрів цих зон гарячим металом.



Рисунок 1 – Усадкові дефекти: а – результат моделювання поруватості, б – розріз реального виливка

Для забезпечення повного живлення фланців було збільшено розміри екзотермічних надливів. Також на круглих фланцях додано технологічні напуски. Оскільки ливникова система впливає на формування температурних полів, то щоб усунути раковину в тілі патрубка над середнім живильником, його було перенесено в ребро. В місцях з'єднання патрубків з сідлом клапана було використано внутрішні холодильники.

Моделювання заливання продемонструвало, що його характер майже не змінився. Результати моделювання затвердіння виливка зі зміненою ливниково-живильною системою показали, що послідовність затвердіння локальних частин виливка дещо змінилася порівняно з першим варіантом. Так само в першу чергу тверднули ребра, потім патрубок зі стінкою 8 мм, патрубок зі стінкою 9,5 мм і сідло клапана тверднули одночасно, далі квадратний фланець, а круглі фланці в останню чергу. Під час затвердіння утворилося декілька незначних ізольованих рідких областей, які не могли жити від надливів. Результати моделювання показали, що основні усадкові раковини знаходяться в надливах, а в критичних місцях виливка відсутні усадкові раковини і поруватість (рис. 2а). Спостерігаються лише незначні усадкові раковини і пори. Проте об'єм усадкових дефектів в тілі виливка значно менший ніж в попередньому випадку. Тобто загалом результати моделювання показали, що змінений варіант ливниково-живильної системи сприяє формуванню виливка з меншим відсотком поруватості.

Для підтвердження результатів моделювання було проведено експериментальне виготовлення 8 корпусів за зміненою технологією. Поверхня виливків не містила раковин, спайів чи інших видимих дефектів. Випробування на герметичність показало, що всі корпуси витримували тиск 6 МПа протягом 10 хв. Також з метою перевірки наявності внутрішніх дефектів в критичних місцях було проведено розрізання виливків. Розтин виливка, виготовленого зі зміненою ливниковою системою, показано на рис.2б. У круглому та квадратному фланці присутні незначні газові раковини, проте вони не впливають на герметичність корпусу. В сідлі клапана відсутні раковини чи поруватість. Експериментальне литво показало ефективність запропонованих змін до ливниково-живильної системи.

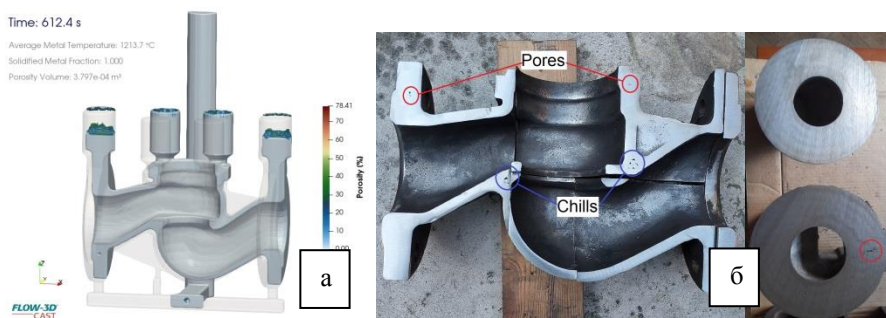


Рисунок 2 – Усадкові дефекти (змінена технологія): а – результат моделювання поруватості, б – розріз реального виливка

Загалом, застосування моделювання в Flow 3D Cast дозволило оцінити характер заливання металу, формування фронту потоку, характер затвердіння виливка і місця формування усадкових раковин. Аналіз експериментального литва показав достатню збіжність з результатами чисельного моделювання. В результаті зміни ливникової системи, збільшення надливів і застосування внутрішніх холодильників було мінімізовано кількість усадкових дефектів у виливку "Корпус вентиля DN 80". Виливки, одержані за скоригованою технологією, мали задовільну якість поверхні, не містили значних усадкових дефектів і витримали випробування на герметичність.