

інтенсивного газовиділення та термічного розширення ППС, що могло стати причиною утворення тріщин керамічних шарів. Крім того, виготовлення ливникової системи за допомогою воскових моделей, що витоплюються, знижує масу ППС, зменшуючи тим самим можливу кількість зольного залишку;

- дослідження якості отриманих виливків дозволило констатувати як істотне звуження контактної зони метал-форма (з 80 до 20 мкм), так і відсутність поверхневих плівок і мікропористості; проведений в режимі сканування аналіз приповерхневої зони методом МРСА не виявив відхилень розподілу в сплаві активних легуючих елементів Ti, Al, Cr, які є утворювачами основних складових структурних елементів:  $\gamma$ -твердого розчину на основі Ni-Cr, дисперсної зміцнюючої  $\gamma'$ -фази на основі Ni<sub>3</sub>Al, Ti карбідів;

- дослідження мікроструктури контактної зони «метал-форма» показало, що рівень вмісту неметалевих включень (нітридів, оксидів) нижче допустимого регламентними документами, що свідчить як про відсутність взаємодії розплаву з залишковими продуктами деструкції ППС-моделей (зольний залишок), так і з формою з комплексно модифікованої кераміки.

Розроблені технології можуть бути використані в серійному виробництві габаритних лопаток ГТД з висотою профілю пера понад 300 мм, для яких воскові моделі не забезпечують достатньої міцності при виготовленні форми. Комбінована технологія може сприяти зниженню тріщиноутворення форм та зменшенню трудовитрат на механічну обробку деталей за рахунок підвищення їх геометричної точності (в середньому на 1 – 2 класи) і зниженню шорсткості (з  $R_a = 6,0 - 3,2$  мкм (без нанесення покриття) до  $R_a = 3,2 - 1,6$  мкм).

УДК 669.18:621.771:621.74

## Проблеми розвитку промислового використання технології двовалкового лиття-прокатування алюмінієвих та залізвуглецевих сплавів

І. Р. Баранов

*Друга премія ім. А. А. Горшкова*



Технологія дво валкового лиття металу є одним з найбільш перспективних та ефективних засобів промислового виробництва тонкого металевого прокату. До переваг цієї технології слід віднести малу довжину технологічної лінії, з використанням дво валкової ливарно-прокатної машини, що значно зменшує витрати на капітальне будівництво, а також значну економію до 80 – 89 % енергоресурсів за рахунок скорочення або взагалі

усунення проміжних етапів технологічного процесу. Найбільш вагомою особливістю двовалкового лиття з економічної точки зору, є можливість компенсувати певні недоліки традиційної слябової технології, а саме збереження конкурентної собівартості прокату при малих об'ємах виробництва, що дає змогу при наявності обох технологічних ліній закривати весь портфель замовлень на ринку металопрокату.

Однією з проблем використання технології двовалкового лиття у алюмінієвій галузі є наближення потужності ливарних двовалкових машин до теоретично розрахункових максимальних швидкісних режимів бездефектного отримання смуги. Однак найбільш вагома загальна проблема технології двовалкового лиття-прокатки металів є низька стабільність промислового технологічного процесу отримання тонкого прокату, що обумовлена високою динамікою та взаємозалежністю фізико-гідродинамічних та механічних параметрів процесу.

У ФТІМС НАН України під керівництвом д.т.н. Ноговіцина О. В. проведено цикл експериментальних та теоретичних досліджень процесу розливання-прокатки металевієї смуги. Встановлено, що вирішальним при формуванні смуги в просторі між валками-кристалізаторами є положення точки змикання металевих кірок відносно осі, які утворюються на поверхні валків. Коли точка змикання знаходиться значно вище осі валків-кристалізаторів, це призводить до зростання деформаційного зусилля, що в свою чергу може призвести до появи дефектів у формі тріщин на поверхні смуги, а також скорочує ресурс роботи валків-кристалізаторів. Коли ж точка змикання фронтів кристалізації знаходиться нижче осі валків, то отримуємо смугу з рідкою серединою. Для прогнозування положення точки зімкнення металевих кірок було створено математичну модель швидкості твердіння металу на валках-кристалізаторах. За основу взято формулу «квадратного кореня», в якій коефіцієнти кристалізації для сталі та алюмінію були розраховані на основі даних Т. Мізогучі та К. Міязави для сталі, та французького дослідника С. Берковичі для алюмінію. В результаті отримали значення коефіцієнта швидкості кристалізації для алюмінію  $k = 7,4 \text{ мм/с}^{0,5}$ , та для сталі  $k = 4,2 \text{ мм/с}^{0,5}$ . Ці величини значно перевищують значення коефіцієнтів кристалізації для зливків.

Також було проведено фізичне моделювання та математичні розрахунки поведінки розплаву в міжвалковому просторі. Результати розрахунків та експерименту дали можливість створення надійного апарату для дослідження гідродинамики розплаву в процесі двовалкової розливки металу. Були також проведені розрахунки і отримані значення максимально можливих швидкісних режимів отримання металевих смуг різної товщини та з різним ступенем деформації у валках-кристалізаторах.

Встановлено фактори стабільності сталого технологічного процесу, а саме швидкість розливання металу, яка повинна регулюватись залежно від висоти наливу розплава в міжвалковий простір. В протилежному випадку це призводить до появи тріщин на поверхні смуги. Важливим фактором стабільності є сталість температури металу, який подається в валки-кристалізатори.

Отриманні результати дають змогу вдосконалити промисловий процес двовалкової розливки-прокатки, а також проектувати ливарні двовалкові машини з урахуванням особливостей використовуваних металів та потужностей виробництва.

УДК: 621.74.046: 621.74.043.3: 621.791.92

### **Підвищення ефективності введення дисперсного матеріалу в розплав за умов лазерної обробки**

**А. М. Тимошенко**

*Третя премія ім. А. А. Горикова*



Запропоновано та реалізовано конструкції реакторів змішування, де відбувається безперервне формування суспензії, які відрізняються накладанням механічного обертання з можливістю керування інтенсивністю замішування, кількістю частинок, що вводяться в розплав, утворенням вихрового руху розплаву та зменшенням об'єму розплаву в реакторі. На основі проведеного фізико-математичного моделювання гідро-, газодинамічних процесів формування суспензійного розплаву в реакторах змішання отримано залежності зміни форми вільної поверхні і швидкості витікання рідини з реактора від витрати рідинного потоку і газових потоків, що подаються, а також способу замішування.

Встановлено, що для двох конструкцій реакторів змішування при однакових умовах введення нагрітих в газолазерній потоці частинок в розплав застосування методу з примусовим перемішуванням розплаву сприяє зниженню швидкості витікання рідини з реактора. Таким чином, кількість частинок, що вводяться в розплав, збільшиться порівняно з вимушеним перемішуванням розплаву. Для реактора з вимушеним перемішуванням визначено умови варіювання подачі розплаву з можливістю зміни напрямку обертання рідини і утворення воронки при зливі. Встановлено закономірності зміни зустрічній контактної швидкості частинок і потоку рідини в залежності від умов подачі розплаву.

Представлено найбільш ймовірні траєкторії руху частинок в реакторах змішування при різних умовах руху розплаву, які охоплюють весь спектр розподілу основної маси частинок в газолазерному і рідинному потоках. Встановлено, що внаслідок більш високих швидкостей обертання розподіл часток відбувається по всьому об'єму розплаву. При зниженні швидкості обертання розплаву посилюються процеси коагуляції частинок, а тенденція накопичення частинок в застійних зонах розплаву і утворення самих застійних зон зменшується.