

ширини форкамери (вхідної частини матриці) на силу пресування та тиск при кутовій екструзії прямокутного. В роботі виконано теоретичні дослідження за методикою повного факторного експерименту 2².

Математичну модель процесу розроблено у програмному комплексі QForm UK компанії Micas Simulations Limited [3]. Застосування програмного продукту QForm UK забезпечене в рамках угоди – agreement № 1005/23-1 від 10.05.2023 р.

Вихідними даними для моделювання були: матеріал заготовки – алюмінієвий сплав AA 6060; початкові розміри заготовки ($h \times l \times b$) – 100×160×8 мм; розміри поперечного перерізу вихідного профілю ($b \times h$) 4×8 мм температура нагріву заготовки перед пресуванням – 450°C. Реологічні властивості матеріалу було задано рівнянням Хензеля – Шпіттеля.

В якості обладнання для деформації було обрано гідравлічний прес, з індивідуальним приводом, з максимальною силою пресування 1,6 МН та номінальною швидкістю руху прес-штемпеля 5 мм/с.

За результатами досліджень отримані регресійні залежності максимальної сили пресування та тиску від вищезазначених факторів. Максимальна сила пресування, під час перебігу процесу в основному залежить від коефіцієнту витяжки. Максимальний тиск на контакт заготовки та нижньої частини матриці суттєво залежить від ширини форкамери та від спільного впливу коефіцієнту витяжки та ширини форкамери.

Список літератури

1. Khomenko, A.V. Severe plastic deformation: Methods and mathematical models of nanomaterials formation. Journal of Physical Studies. 2020. Vol. 24. № 2. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/82757>

2. Valiev R. Z. Superplasticity of nanostructured metallic materials obtained by methods of severe plastic deformation / R. Z. Valiev, R. K. Islamgaliev, N. F. Yunusova // Metal Science and Heat Treatment. – 2006. – Vol. 48. – N 1-2. – pp. 47-53.

3 QForm UK. Version 10.3.3. Oxford, United Kingdom : Micas Simulations Limited. URL: <https://qform3d.com/>

УДК 669.181.28

К. Г. Нізяєв¹, О. М. Стоянов¹, В. О. Рубан¹, С. Б. Бойченко²

¹Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

²Jansen Steel Tubes, Швейцарія

АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОДУВАННЯ В ПОДОВИХ ПЕЧАХ

Використання технічно чистого кисню для інтенсифікації теплових і технологічних процесів, що протікають у сталеплавильних агрегатах, є ефективним засобом підвищення їх продуктивності.

Енергетичні умови при проведенні плавки, необхідні для роботи ванни для продувки без застосування додаткового палива, повинні відповідати нерівності:

$$Q_{\text{екз.}} > Q_{\text{від.п.г.}} + Q_{\text{вт.}} \cdot \tau_{\text{пр.}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{екз.}}$ – теплота екзотермічних реакцій;

$Q_{\text{від.п.г.}}$ - фізична та хімічна теплота продуктів згоряння;

$Q_{\text{вт.}}$ – теплові втрати в одиницю часу;

$\tau_{\text{пр.}}$ - тривалість продування.

Для виконання цієї нерівності період плавлення та доведення повинні бути по можливості коротшими, з метою скорочення втрат теплоти.

Скоротити тривалість продувних періодів можна рахунок збільшення інтенсивності кисневої продувки.

Проведені розрахунки вказують, що підвищення інтенсивності продування сталеплавильної ванни киснем на 3000 м³/год дозволить знизити теплові втрати подового агрегату в період плавлення і доведення на 17%.

Проведений аналіз роботи двованної сталеплавильної печі з підвищеними витратами кисню що подаються на сводові фурми.

За рахунок розроблених технологічних режимів продування середня тривалість рідких періодів скоротилася на 7-12 хвилин. Підвищення інтенсивності продування металеві ванни сприятливо позначилося теплової роботі ДСПА. Так, витрата чавуну знизилася на 1,08 т, при одночасному підвищенні витрати твердої металошихти на дослідних плавках в середньому на 1,61 т.

При інтенсивності продування менше 5 м³/(хв · т), із зануренням фурми у ванну, її збільшення супроводжується зниженням окисленості шлаку внаслідок зростання глибини реакційної зони h відповідно до виразу [1]:

$$h = 40 \cdot P^{0,5} \cdot \frac{d^{0,6}}{\rho_{\text{ж}}^{0,4}}, \quad (2)$$

де P - тиск дуття перед соплом, 10⁵ Па; d – діаметр сопла, м; $\rho_{\text{ж}}$ – густина рідини, кг/м³.

Глибина, з якої спливають оксиди заліза з первинної реакційної зони, зростає, пропорційно ($P^{0,5} d^{0,6}$), і це зумовлює витрату дуття на окислення домішок ванни більшою мірою, ніж окислення заліза і розчинення кисню в металі.

В роботі [2] підкреслено безпосередню залежність окислення шлаку $Fe_{\text{загальне}}$ від інтенсивності продування i_{O_2} :

$$(Fe_{\text{загальне}}) = \frac{K}{i_{O_2}^{(m+n-r)}}, \quad (3)$$

де величини m , n і r для зазначених меж зміни i_{O_2} (До $5 \text{ м}^3/(\text{хв}\cdot\text{т})$), рівні відповідно $0,7$; $\geq 0,4$ та ≤ 1 ; K – коефіцієнт пропорційності.

Зниження окисленості ванни підтверджено результатами дослідно-промислової кампанії, під час якої аналізували склади кінцевих шлаків (табл.1). Слід зазначити, що на дослідних плавках дещо підвищилася основність шлаку, що стало наслідком зниження його окиснення.

Інтенсифікація продування ванни ДСПА у зазначених межах, що супроводжується зниженням окисленості ванни, забезпечує збільшення концентрації марганцю в сталі перед випуском відповідно до рівняння визначення $[Mn]_{\text{min}}$ під окисним шлаком:

$$\lg[Mn]_{\text{min}} = -\frac{8972}{T} + 3,936 - 0,075 \frac{1873}{T} a_{[O]} + \lg \frac{a_{(MnO)}}{a_{(FeO)}}, \quad (4)$$

Результати розрахунків за рівнянням (4) збігаються із фактичними даними.

Таблиця 1. Хімічний склад кінцевого шлаку ДСПА, %

Шлак	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Fe _{заг}	Основність
Порівняльний	29-36	18-25	1,7-3,1	13-15	3,3-5,1	27,5	1,9
Дослідний	28-37	17-23	1,5-2,8	12-16	4,5-6,1	25,5	2,05

Основне завдання управління плавкою за допомогою дутьового режиму полягає в забезпеченні синхронізації швидкостей окислення вуглецю і нагріву металевого розплаву ванни.

Виконано аналіз швидкості окислення вуглецю та нагрівання металу при підвищеній інтенсивності продування сталі киснем (табл. 2). Нижчі значення вмісту вуглецю в металі з розплавлення, виявлені під час проведення дослідно-промислової кампанії, пов'язані з зменшеною витратою чавуну. Однак, надалі, вміст вуглецю на дослідних та порівняльних плавках вирівнюється.

Таблиця 2. Взаємозв'язок швидкості окислення вуглецю та температури металу

[C], %		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
T, °C	Дослід.	1611	1605	1597	1589	1581	1573	1566	1560
	Порівн.	1605	1595	1588	1579	1570	1561	1552	1543

Таким чином, підвищення інтенсивності продування сталеплавильної ванни ДСПА позитивно позначається на показниках її роботи - покращилася теплова сторона процесу за рахунок збільшення теплоти, що виділилася в одиницю часу і скорочення теплових втрат, при цьому вихід придатної сталі збільшився за рахунок меншої переокисленості металу при стабілізації впливу кисневої струменя.

Список літератури

1. Явойський В.І., Явойський А.В., Сізов А.М. // Застосування пульсуючого дуття під час виробництва сталі. – М.: Металургія, 1985. – 174с.
2. Сталеплавильне виробництво: навч. посібник для студ. металургійних спец. вузів / В. І. Баптизмаський [та ін.] ; Державна металургійна академія України. - К. : [б.в.], 1996. - 400 с. - ISBN 5-7763-9428-7

УДК 669.18

К. Г. Нізяєв¹, О. М. Стоянов¹, Є. В. Синегін¹, В. О. Рубан¹, Я. А. Кириленко²

¹Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

²Saarstahl AG, Німеччина

ВИКОРИСТАННЯ У СКЛАДІ ШИХТИ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ СКРАПУ ТА ТВЕРДОГО ЧАВУНУ

В даний час киснево-конвертовані цехи вітчизняних металургійних підприємств працюють в умовах вкрай низької стабільності складу та якості шихтових матеріалів, що змушує застосовувати у складі шихти твердий чавун. Застосування твердого чавуну може викликати як негативні, так і позитивні відхилення в технологічному режимі плавки конвертерної. Незважаючи на це, технологічний режим кисневої плавки на ряді підприємств вели за єдиною технологічною інструкцією, а зміни проводили шляхом дослідного підбору технологічних параметрів. Таке становище призвело, як правило,