

ширині потоку, складає 12,9 % (див. табл. 2). Ця похибка більше ніж на порядок перевищує максимальне значення  $\delta$ . Похибка 12,9 % визначення площі поперечного перерізу потоку не допустима при вимірюванні, тому рівномірний порядок розстановки точок контролю висоти матеріалу застосовувати не можливо. Даний висновок очевидний, оскільки звичайне обчислення визначеного інтегралу не може забезпечувати таку точність, як метод Чебишева, який гарантує найвищу точність для будь-якої функції, що описує розподіл матеріалу по ширині потоку.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Отже, відкриті поверхні потоків доцільно сканувати пристроями, що реалізують спосіб вимірювання координат променем незмінної довжини, який змінює своє положення в просторі. Довжина променя повинна бути у кілька разів більшою максимального значення висоти потоку. Контроль висоти потоку необхідно здійснювати у чотирьох точках по його ширині - на відстані 0,1 і 0,4 від країв. Це забезпечує найвищу точність вимірювання площі поперечного перерізу і найбільш раціональну конструкцію вимірювальної апаратури.

Подальші дослідження необхідно спрямувати у напрямі технічної реалізації запропонованого підходу визначення площі поперечного перерізу матеріального потоку та забезпечення лінійності статичної характеристики при неперервному вимірюванні його висоти у кожній контрольованій точці.

#### Список літератури

1. А. с. 570398 СССР, МКИ В03 В 13/04. Устройство для измерения циркулирующей нагрузки / **Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, Л.П. Байда, Н.В. Гончаров** (СССР). - №1676560/03; заявл. 28.06.71; опубл. 30.08.77, Бюл. №32.
2. **Пискунов Н.С.** Дифференциальное и интегральное исчисление. Т.1 / **Пискунов Н.С.** – М.: Наука, 1978. - 456 с.
3. **Демидович Б.П.** Основы вычислительной математики / **Б.П. Демидович, И.А. Марон.** - М.: Наука, 1970. - 664 с.

Рукопис подано до редакції 23.03.13

УДК 621.746.2

И.Э. СКИДИН, старший преподаватель, М.А. ГЛАЗОВАЯ, студентка  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА (СВС) ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Рассмотрена возможность изготовления биметаллических отливок с применением технологий СВС.

**Актуальность проблемы и ее связь с научными и практическими задачами.** Все детали узлов механизмов находятся во взаимодействии с окружающей средой - газами, жидкостями и твердыми телами. На их поверхностях протекают такие физико-химические процессы, как адсорбция, коррозия, эрозия, трение, трещинообразование и т.д. Поэтому детали машин и инструменты должны иметь комплекс следующих свойств, обеспечивающих их надежную эксплуатацию, - значительную твердость в совокупности с высокой пластичностью, а также достаточную износостойкость. Обеспечение этих свойств может быть достигнуто посредством наплавки на основу из рядового сплава с высокими пластическими свойствами рабочего покрытия с необходимыми физико-механическими свойствами путем сваривания слоев. Этот метод реализуется при наличии дорогостоящего оборудования и требует значительных энергозатрат.

Применение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), который происходит вследствие протекающих в режиме направленного горения экзотермических реакций, позволяет сократить расход электроэнергии и получать сплавы с высокими потребительскими свойствами без использования дополнительных плавильных печей.

В результате СВС при алюмотермических реакциях происходит восстановление железа из окислов с выделением большого количества тепловой энергии, которая используется для жидкофазного сплавления термитной шихты при насыщении ее компонентов азотом, и образование сверхпрочных нитридных связей. СВС дает возможность непосредственно в литейной форме получить биметаллические отливки при взаимодействии заливаемого расплава-основы, который выступает источником теплоты для начала химической реакции, с термитной легированной шихтой.

**Постановка задачи.** Азотирование расплавов при СВС путем введения в термитную ших-

ту измельченного карбамида не исследовано, поэтому обоснование условий течения экзотермических реакций с образованием нитридов железа и легирующих компонентов имеет актуальное значение.

Важное место получения модифицированных сплавов при синтезировании занимают нитриды переходных металлов, такие как нитрид титана, нитрид хрома, нитрид молибдена, нитрид вольфрама.

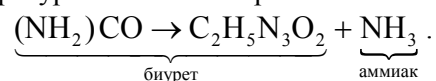
Нитрид титана обладает относительно высокой микро-твердостью, что позволяет получать из него покрытия для повышения твердости и износостойкости, жаростойкие покрытия на железных материалах для упрочнения поверхностного слоя изделий, повышения износостойкости и уменьшения коррозии. Высокая микро-твердость нитрида титана дает возможность использовать его в качестве абразивов. Стойкость нитрида титана против окисления кислородом воздуха позволяет использовать его в производстве огнеупоров и жаропрочных сплавов, обладающих высокой стойкостью против теплового удара и значительной прочностью при высоких температурах. Из него успешно изготавливаются тигли и лодочки для испарения расплавленных металлов, защитные чехлы термпар, сопла для распыления металлов, компоненты твердых сплавов; его применяют для легирования сталей и жаропрочных сплавов.

Нитрид хрома благодаря уникальным физико-химическим свойствам являются незаменимым сырьем для производства полупроводников, в частности, для использования их в термоэлектрических генераторах, для создания нитридных пленок на интегральных схемах, обладающих исключительной коррозионной стойкостью при создании современных микропроцессоров. Высокая твердость и износостойкость нитрида хрома используется для получения износостойких покрытий на сталях, получения твердых сплавов, применяемых в инструментальном производстве.

Основной областью применения нитрида молибдена является применение его в качестве огнеупорного материала с высокими точками плавления и значительной стойкостью против окисления. Нитрид молибдена может применяться для изготовления защитных покрытий на металлах, сплавах, неметаллических материалах, графите.

Традиционным способом получения нитридов является синтезирование материалов в атмосфере азотсодержащего газа, что требует применения сосудов под высоким давлением около 10 атм, а также обеспечения высокой газотворности наплавляемого шихтового материала, что не позволяет выполнить с появлением жидкой фазы и тем самым, снижает экзотермическую реакционную способность

**Изложение основных материалов и результаты.** Рассмотрено применение в качестве добавки к реагентам синтезирования измельченного карбамида, как азотсодержащего компонента, в сочетании с термитной смесью - источником тепла. Содержание азота в карбамиде составляет от 46 до 70 %, что приводит к начальному повышению содержания азота в лигатуре и представляет собой органическое химическое соединение  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , которое плавится при температуре 133 °С, а при температуре выше 500 °С разлагается по схеме



При этом аммиак, в основном, испаряется, а биурет взаимодействует с легирующими компонентами.

Для получения наплавки нужного химического состава в термитную шихту вводят железосодержащие компоненты (стружку и окалину), алюминийсодержащие материалы (порошок, пудра), легирующие материалы (феррохром, ферромарганец, ферромолибден, ферротитан, феррованадий и т.д.) в виде просыпи ферросплавов, а также азидный материал (карбонат).

Такие смеси позволяют получить расплав в диапазоне температур 1800-1500 °С с достаточным количеством нитридных легирующих компонентов, которые полноценно сплавляются и свариваются с поверхностью залитой отливки [1].

Термитный состав на основе окалины и порошка алюминия используется в качестве источника энергии, возникающей в результате реакции  $75 \% \text{Fe}_2\text{O}_3 + 25 \% \text{Al}$ . При этом шихта должна содержать минимальное количество вредных примесей серы и фосфора, а также кремния, поскольку как наплавление  $\text{SiO}_2$  расходуется большое количество тепловой энергии с образованием неметаллических включений в расплаве в виде шлака. Чтобы увеличить содержание кисло-

рода в окалине, она подвергается специальной обработке при высокой температуре в окислительной среде.

Для начала термитной реакции в любой точке термитной шихты необходимо создать температурный толчок не ниже 1350 °С, после чего термитная реакция быстро распространяется на всю шихту.

Алюминиевый термит дает продукт сгорания в жидком виде, что невозможно получить при магниевом термите.

Реакция горения:  $8\text{Al} + 3\text{Fe}_3\text{O}_4 = 9\text{Fe} + 4\text{Al}_2\text{O}_3 + 774 \text{ ккал/моль}$ .

Растворимость азота в железе подчиняется закону Сиверта (закона квадратного корня)

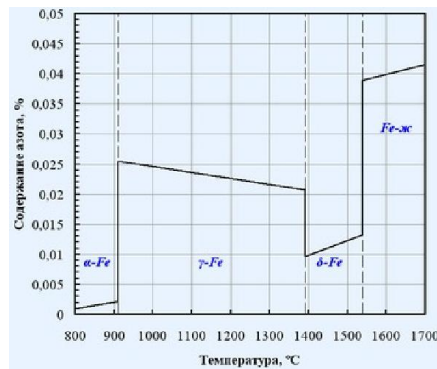
$$\frac{1}{2}\text{N}_2 = [\text{N}]; [\text{N}] = \text{KN},$$

где  $[\text{N}]$  - растворимость азота в железе при этом парциальном давлении  $\text{PN}_2$ ;  $\text{KN}$  - константа реакции, численное значение которой зависит от температуры и способов выражения концентрации.

Выполнимость закона Сиверта указывает на идеальность раствора что образуется.

Для определения растворимости азота в жидком железе до температуры 2650 °С предлагается уравнение  $\lg[\text{N}] = (-850/T) - 0,905 + 0,5 \lg \text{PN}_2$ , из которого выходит, что при  $T = 1873 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $\text{PN}_2 = 1 \text{ атм}$   $[\text{N}] = 0,044 \%$ .

Анализ результатов многих исследований, выполненных разными авторами [3-5] методом отбора проб, показал хорошую согласованность данных, уровень отклонения которых от расчетной величины составляет 0,002 %.



На рис. 1 представлена температурная зависимость растворимости азота в жидком железе.

**Рис. 1.** Температурная зависимость растворимости азота в жидком железе

Концентрация азота, находящегося в равновесии с газообразным азотом растет с увеличением температуры.

В точке перехода  $\alpha \rightarrow \gamma$  (906 °С) скачкообразно изменяется, при дальнейшем повышении температуры до перехода  $\gamma \rightarrow \delta$  (1402 °С) она уменьшается. Азот может образовывать с железом два соединения  $\text{Fe}_4\text{N}$  (9,9 % N) и  $\text{Fe}_2\text{N}$  (11,5 % N).  $\text{Fe}_2\text{N}$  начинает разлагаться при температуре  $\sim 550 \text{ }^\circ\text{C}$ . При дальнейшем повышении температуры начинает диссоциировать и  $\text{Fe}_4\text{N}$ .

цировать и  $\text{Fe}_4\text{N}$ .

На основе анализа многочисленных публикаций [2-5] доказано, что азот:

образует твердые растворы внедрения в аустенит и феррит;

снижает энергию дефектов упаковки и, в связи с этим, увеличивает деформационную способность аустенита.

Азот может образовывать с железом два соединения  $\text{Fe}_4\text{N}$  (9,9% N) и  $\text{Fe}_2\text{N}$  (11,5% N).  $\text{Fe}_2\text{N}$  начинает разлагаться при температуре  $\sim 550 \text{ }^\circ\text{C}$ . При дальнейшем повышении температуры начинает диссоциировать и  $\text{Fe}_4\text{N}$ .

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Выполнен обзор основных свойств и областей применения нитридов железа, титана, хрома, молибдена и вольфрама. Рассмотрена возможность получения в условиях производства биметаллических отливок, состоящих в упрочненном слое из нитридов легирующих элементов. Выявлены основные достоинства этого технологического процесса. Показана перспективность использования процессов СВС для синтеза тонкодисперсных порошков ферросплавов с нитридными соединениями при процессе технологии СВС, для которых характерно наличие побочных продуктов синтеза.

#### Список литературы

1. Б.П. Серeda Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів / Підручник. - Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2008. - 302 с.
2. Гумиров, А.М. Пирометрия СВС-синтеза инструментальной стали / А.М. Гумиров, А.Т. Евтушенко, С.С. Торбунов, Д.Х. Абед / Ползуновский вестник, 2005. - № 4. - Ч.1. - С. 110-113.
3. Кирдяшкин А.И., Киглер В.Д., Саламатов В.Г., Юсупов Р.А. Особенности структурной динамики высокотемпературных металлургических процессов на примере системы  $\text{FeO-Al-A1203}$  / Физика горения и взрыва, 2008. - Т. 44. - № 1. - С. 81-84.
4. Комаров, О.Н. Технологии использования отходов металлообработки для получения отливок из черных

сплавов / **И.Г. Сапченко, О.Н. Комаров** // Современные проблемы металлургического производства: Материалы Международной конференции. - Волгоград, 2002. - С. 378-380.

5. **Комаров, О.Н.** Возможности получения отливок термитным методом / **И.Г. Сапченко, О.Н. Комаров** // Принципы и процессы создания неорганических материалов: Материалы Международного симпозиума (Вторые Самсоновские чтения). - Хабаровск, 2002. - С. 123-124.

Рукопис подано до редакції 23.03.13

УДК 621.314+621.316

А.П. СІНОЛИЦЬЙ, д-р техн. наук, проф., В.А. КОЛЬСУН, канд. техн. наук, доц.,  
В.С. КОЗЛОВ, аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## КЕРУВАННЯ СИЛОВИМ АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ СТРУМУ В УМОВАХ НЕСИМЕТРИЧНОЇ НЕСИНУСОЇДНОЇ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ

Розглянуто основні стратегії керування силовим активним фільтром струму, що підключений до мережі із несиметричною несинусоїдною напругою. Подано математичний апарат виділення струму корекції, який має бути генерований до мережі. На основі моделювання зроблено порівняльну оцінку методів компенсації.

**Ключові слова:** активний фільтр струму, енергозбереження, несиметрія напруги, реактивна потужність.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Силові активні фільтри (САФ) є доволі ефективним рішенням для задачі компенсації реактивної потужності, усунення вищих гармонік, симетрування навантаження тощо [1]. Однією з основних переваг активних фільтрів є гнучкість та можливість працювати за різними стратегіями компенсації (наприклад, усунення вищих гармонік струму або обмеження максимального значення струму фази). Інтелектуальну частину САФ умовно можна розділити на дві основні складові: визначення струму корекції та керування силовою частиною для безпосередньої генерації струму корекції у мережу.

На сьогоднішній день існує велика кількість математичних апаратів для керування силовими активними фільтрами різної конфігурації. Однак не всі існуючі способи керування мають можливість вибору серед декількох різних стратегій роботи. Також слід додати, що деякі популярні «теорії потужності», що застосовують для керування САФ, генерують невірний сигнал корекції в умовах несиметричної несинусоїдної напруги [2].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Можливість вибору різних критеріїв оптимальності для САФ в умовах «неідеальної» напруги може забезпечити, наприклад, СРС (Currents' Physical Components) теорія потужності [3]. Але зазначена теорія не використовується на практиці через необхідність у великій кількості обчислень. P-q теорія та її похідні, що є доволі розповсюдженими при побудові САФ, генерують невірний струм корекції за наявності несиметрії або несинусоїдності напруги [2].

Позитивний результат з деякими обмеженнями дає FBD (Fryze-Buchholz-Depenbrock) метод [4], що є продовженням методу Фрізе.

**Постановка завдання.** Виділити основні критерії оптимальності, за якими може працювати САФ струму в умовах несиметричної несинусоїдної напруги живлення. Привести математичні викладки для обрахунку струму корекції та на основі моделювання зробити оцінку вищезазначених критеріїв компенсації.

**Викладення матеріалу та результати.** Перш за все, доцільно розглянути найбільш актуальні критерії оптимальності, за якими можуть працювати пристрої компенсації енергетичного потоку (табл. 1).

У таблиці:  $u, t, p$  - миттєві значення напруг, струмів та потужності відповідно;  $i_A, i_B, i_C, I_A, I_B, I_C$  - миттєві та діючі значення струмів фаз А, В, С відповідно;  $U$  - діюче значення фазної напруги;  $P$  - активна потужність;  $t$  - поточне значення часу;  $T$  - період напруги живлення;  $U^{(n)}, I^{(n)}$  - амплітуди напруги та струму  $n$ -ї гармоніки;  $n$  - порядковий номер гармоніки;  $\omega$  - кругова частота основної гармоніки;  $\phi^{(n)}$  - зсув фаз  $n$ -ї гармоніки;  $I_{m, \max}$  - уставка максимального граничного значення струму,  $R^{(n)}$  - еквівалентний опір  $n$ -ї гармоніки.

Критерій № 1 є виконанням закону

$$u/i=R=\text{const}, \quad (1)$$

де  $R$  - активний опір навантаження.