

## Когерентная технология - новое направление энергосбережения в процессах отжига стали\*

Краснобрыжев В.Г.

Киев, тел.: +38(097) 560 9593, +38(044) 405 96 75.

E-mail: vkentron@gmail.com

Рекристаллизация стали в процессах отжига связана с потенциальной энергией кристаллической решетки, а скорость ее перестройки связана с изменением *спинового состояния ядер атомов*.

Из термодинамики известно, что ускорение процессов отжига возможно за счет увеличения температуры процесса. Но так как температура является нормируемой величиной, единственной доступной для управления остается активационная энтропия, зависящая от спинового состояния ядер атомов.

Управление этим параметром оказывается возможным за счет перевода рабочей среды в когерентное спиновое состояние путем использования спин-эффектов, один из методов реализации которых основан на применении генераторов спинового поля.

Способность спинового поля придавать когерентные свойства материальной среде и уменьшать ее энтропию была использована нами в когерентных технологиях для ускорения процессов отжига стали с целью уменьшения энергетических затрат на их проведение.

Анализ состояния современных технологий в металлургической промышленности позволяет сделать вывод о том, что их развитие в основном осуществляется по пути *конструктивного усовершенствования* технологического оборудования, направленного на снижение энергопотребления, и затрат труда на его обслуживание.

Одно из перспективных направлений энергосбережения в металлургии, в частности в процессах отжига стали, связано с использованием когерентных технологий, в основу которых положен принцип перевода элементов рабочей среды – металла – в когерентное спиновое состояние с заданной характеристической частотой.

В расчетах технологических процессов часто используются следующие основные соотношения:

а) скорость процесса (рекристаллизации, диффузионного растворения и пр.)

$$v = A_0 \exp [- E_a/kT] \quad (1)$$

б) диффузионный перенос

---

\* Опубликовано только в электронной версии сборника.

$$D = A_0 \exp [- E_a/kT] \quad (2)$$

где  $A_0$  – постоянная величина,  $E_a$  – энергия активации,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $E_a/kT = S_a$  – энтропия активации.

Как видно из формул (1) и (2), ускорение термодинамического процесса и диффузии возможно за счет увеличения температуры процесса. Но так как величина температуры является нормируемой величиной, единственной доступной для управления остается энтропия активации, которая в формулах (1) и (2) имеет вид  $E_a/kT = S_a$ . Управление этим параметром оказывается возможным за счет перевода рабочей среды в когерентное состояние путем использования спин-эффектов, один из методов реализации которых основан на применении спинирующих систем генерирующих спиновое поле (СП).

Простейшим из всех спиновых полей (СП) является поле, порождаемое классическим спином  $1/2$  [1]. Такое спиновое поле является универсальным, поскольку порождающий его спин может быть представлен в виде циркулирующего потока энергии [2, 3]. Понятие такого поля соответствует концепции «А-полей» Р. Утиямы [4], согласно которой каждому независимому параметру частицы  $a_i$ , удовлетворяющему закону сохранения, соответствует свое материальное поле  $A_i$ , через которое осуществляется взаимодействие между частицами, соответствующее данному параметру.

Примером спиновых микрообъектов могут служить состояния электронов, протонов и нейтронов. Однако спиновые объекты возможны и на макроскопическом уровне [5, 6]. При этом собственные спиновые поля таких объектов являются коллективным проявлением на макроскопическом уровне упорядоченных ядерных и атомных спинов. Для этого необходимо, чтобы ядерные и атомные спины были параллельны и однонаправлены, что реализуется в структурах с ориентированными ядрами [7 - 10]. Так, при намагничивании ферромагнетика происходит упорядочение магнитных моментов, ориентационно жестко связанных с ядерными спинами [10], что обуславливает возникновение коллективного спинового поля.

Спиновое поле можно генерировать с помощью устройств, созданных на основе специально организованного ансамбля классических спинов, в котором реализуется максимальная энергия взаимодействия не только между соседними, но и удаленными спинами. Система взаимодействующих спинов является при этом своеобразным усилителем малых эффектов каждого отдельного спина.

Генерация интенсивного спинового поля может быть осуществлена только при использовании каскада *элементов* с организованным ансамблем классических спинов (Рис. 1).



Рис. 1. Элементы и модули генератора спинового поля.

Так как спин рассматривается нами как источник спинового поля, то в соответствии с концепцией Р. Утиямы [4] объектом, чувствительным к воздействию спинового поля, должна быть спиновая система материальной среды. Причем в отношении величины эффекта, система спинов имеет преимущество перед индивидуальным спином микрочастицы. Сложная неравновесная спиновая структура, обладающая большим запасом квазивыврожденных по энергии состояний, может выполнять роль системы, в которой действие спинового поля может накапливаться (спиновое насыщение) и приводить к заметным макроскопическим изменениям.

Особый интерес представляют индуцированные спиновым полем неравновесные состояния, когда на одном квантовом уровне, характеризующем одну из характеристических частот материальной среды, выстраивается максимально возможное количество спинов. Такое состояние является когерентным и обуславливает уменьшение не только спиновой энтропии, но и за счет взаимодействия спин-решетка, энтропии материальной среды [11].

Один из методов организации когерентной технологии отжига стали реализуется следующим образом (рис. 2).

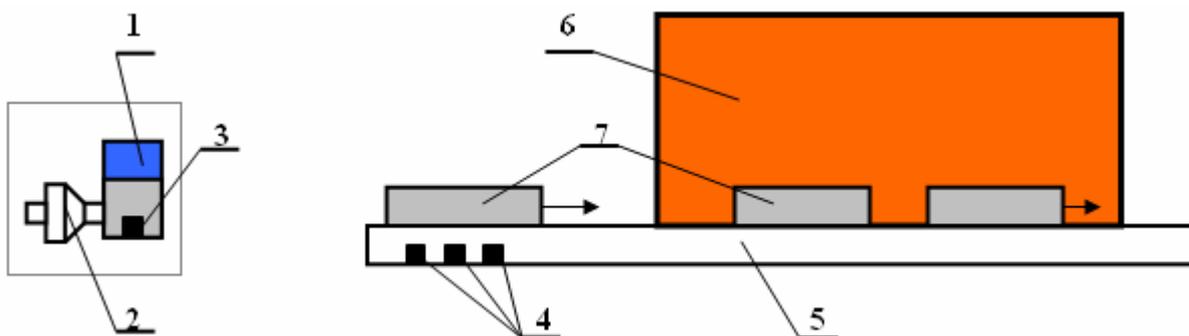


Рис. 2.

1 - резонатор, 2 - спиновый генератор, 3 - чип-транслятор, 4 - чип-индуктор,  
5 - станина печи, 6 - печь отжига, 7 - стальные изделия

В резонаторе **1**, с подключенным к нему спиновым генератором **2**, размещается чип-транслятор **3**. Чип-индуктор **4** размещаются на станине **5** печи **6**, в которую загружаются стальные изделия **7**, подлежащие термической обработке. Главное требование к чип-транслятору и чип-индуктору **3** и **4** – они должны быть сделаны из одного материала имеющего «дальний порядок».

После включения спинового генератора **2** чип-активатор **3** в резонаторе **1** приводится в возбужденное состояние, характеризующееся тем, что его частота совпадает с одной из характеристических частот колебаний стали. Но так как чип-транслятор **3** и чип-индуктор **4** сделаны из одного материала (имеющего «дальний порядок»), между ними реализуется эффект запутанного состояния [12], и спиновое возбуждение, принятое чип-индуктором **4**, посредством спиновой диффузии передается через станину **5** на стальные изделия **7**.

Проверка эффективности когерентных технологий в процессах отжига проводилась на металлургическом заводе “Днепроспецсталь” и подшипниковом заводе SKF-Poznan.

## **Результаты промышленных испытаний**

### **1. Металлургический завод “Днепроспецсталь”.**

Испытания проводились при отжиге стали ШХ-15 и стали 65Г. Используемые печи – колпаковые и камерные.

Проведено 42 экспериментальных процесса отжига, в результате которых получены следующие показатели эффективности (Рис. 3, 4):

- снижение расхода сжигаемого газа - **35%**,
- снижение расхода защитного газа - **38%** (для стали ШХ-15),
- уменьшение продолжительности отжигов - **32%**,
- качество металла соответствует требованиям ГОСТа:

сталь ШХ-15 – микроструктура **CG – 2,0-2,1**; твердость **200- 210 НВ**;

сталь 65Г – микроструктура **CG – 2,1-2,3**; твердость **210 НВ**.

### **Параметры типовых процессов отжига стали и процессов с использованием когерентной технологии**

а) процессы в колпаковых газовых печах с защитной атмосферой



Рис. 3.

б) процессы в камерных газовых печах



Рис. 4.

## 2. Подшипниковый завод SKF-Poznań

Испытания проводились при отжиге стальных колец шарикоподшипников.

Используемая печь – проходная электрическая PP-300. Количество садок для отжига – 53. Количество садок в печи – 18. Периодичность подачи садок в печь – 1 час.

Показатели эффективности:

- экономия электрической энергии – **40%**,
- качество металла соответствует требованиям ISO:  
микроструктура – **CG – 2,0-2,1**; твердость **193 – 210 НВ**.



Рис. 5

На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Применение когерентной технологии в процессах отжига стали на заводе «Днепропетсталь», позволило получить 36% экономию сжигаемого газа. С учетом экономии инертного газа ожидаемый годовой экономический эффект составляет ~ 500 тыс. грн.
2. На заводе SKF-Poznan расход электроэнергии снижен на 40%.
3. Исследования качества отожженного металла и его микроструктурных характеристик показывают на их соответствие нормативным требованиям.

## Литература

1. Birrell N.D., Davies P.C.W. Quantum Fields in Curved Space. Cambridge University Press. Cambridge, London, New York, New Rochelle, Melbourn, Sydney, 1982, 386 p.
2. Belinfante F.J. – Physica, 1939, v. 6, p. 887.
3. Ohanian H.C. – Amer. J. Phys., June 1986, v. 54, № 6, p.500.
4. Утияма Р. К чему пришла физика. (От теории относительности к теории калибровочных полей). М., Знание, 1986, 224 с.
5. Aharonov Y., Susskind L. – Phys. Rev., **158**, 1237-1238 (1967).
6. Акимов А.Е., Тарасенко В.Я. - Известия высших учебных заведений, серия Физика, 1992, т. 35, № 3, с. 13.
7. Hudson R.P., - Progr. Cryog., **3**, 99 (1961)
8. Roberts L.D., Dabbs J.W.T., Ann. Rev. Nucl. Sci. **11**, 175 (1961).
9. Danials J.M., Goldemberg J., Rept. Progr. Phys., **25**, 1 (1962).
10. Carson D.J. Dynamic Nuclear Orientation. New York-London-Sydney, John Wiley&Sans, 1963, 485 p.
11. Careri G. Ordine e Disordine Nella Materia. Laterza, 1982. – 232 p.
12. Cheung C.I., Li P., Sheto K.I. /Phys. Lett. A., 1991, № 4-5, p. 235.