

2. Pramod Kumar, K G Suresh and A K Nigam. Magnetism, heat capacity, magnetocaloric effect and magneto-transport in R_2Al ($R = Nd, Gd, Tb$) compounds. // J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008).
3. H. Zhang, Z.Y. Xu, X.Q. Zheng, F.X. Hua, J.R. Sun, B.G. Shen. Giant magnetic refrigerant capacity in Ho_3Al_2 compound. // Solid State Communications 152 (2012) 1127–1130.
4. Семенов К.Н., Вербецкий В.Н., Курбанов Т.Х., Алыев Б.Ч., Гасан-Заде А.А. Взаимодействие с водородом интерметаллических соединений РЗМ с алюминием. // ЖНХ, 1985, т. 30, вып. 5, с. 1133-1137.

СТРУКТУРНЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТАЛИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА С НАГРЕВОМ ТВЧ

Буец А.Е.

*Украина, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
shulc01@mail.ru*

Работа посвящена комплексному исследованию влияния термической обработки (отпуска) со скоростным нагревом с помощью токов высокой частоты (ТВЧ) на структуру и механические свойства стали.

Методика исследования заключается в проведении как стандартной печной, так и скоростной термообработки (закалки и отпуска в интервале 300-800 °С) стали 15X11МФ; измерении характеристик прочности, пластичности, ударной вязкости; исследовании субструктуры с помощью рентгеноструктурного анализа и фазового состава с помощью рентгенофазового анализа; исследовании структуры с помощью оптической и электронной микроскопии (растровой и просвечивающей).

Скоростной нагрев ТВЧ во время отпуска позволил получить лучшее соотношение показателей твердости и пластичности в стали 15X11МФ, обеспечивая тем самым высокий запас устойчивости стали в условиях хрупкого разрушения.

Рентгеноструктурный анализ показал, что применение высокой скорости нагрева в процессе отпуска приводит к получению такого структурного состояния стали, что по сравнению с обычным печным отпуском характеризуется более высокими значениями микродеформации кристаллической решетки, плотности дислокаций и более высокой степенью дисперсности когерентных областей.

Также было выделено карбидный осадок из образцов стали 15X11МФ, которые подвергались отпуску с различными скоростями нагрева и при различных температурах. Рентгенофазовый анализ этих осадков позволил установить последовательность образования фаз в стали 15X11МФ с повышением температуры отпуска.

Результаты рентгенофазового анализа представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты рентгенофазового анализа стали 15X11МФ после закалки ТВЧ и последующего печного отпуска при различных температурах.

Термическая обработка	Фаза
Закалка ТВЧ+ печной отпуск	
300 °С	$\alpha_{(M)}$
400 °С	$\alpha_{(Ф)} + (Fe, Cr)_3C$
500 °С	$\alpha_{(Ф)} + (Fe, Cr)_3C + Cr_7C_3$
600 °С	$\alpha_{(Ф)} + Cr_{23}C_6 + VC$
700 °С	$\alpha_{(Ф)} + VC + Mo_2C + (Fe, Cr)_{23}C_6$
800 °С	$\alpha_{(Ф)} + (Fe, Cr)_{23}C_6 + VC + (Cr, Mo)_6C$

Сопоставив результаты электронной микроскопии и рентгенофазового анализа, делаем вывод о выделении в структуре мелкодисперсных карбидов, равномерно расположенных в ферритной матрице. Это является положительным фактором, ведь известно [1], что достаточно высокой прочностью обладают материалы, имеющие благоприятное сочетание вязкой матрицы и дисперсной упрочняющей фазы (в нашем случае – ферритная составляющая в сочетании с карбидами железа и легирующих элементов). Кроме того, из-за особенности скоростного нагрева СВЧ повышения температуры во время отпуска до 800 °С приводит к выделению карбидов с отсутствием их коалесценции, поскольку процесс выделения зародышей превалирует над процессом их роста [2-4].

Наличие в структуре твердых частиц (карбидов) позволяет локализовать схватывания на малых участках поверхности, избежать заедания и снизить интенсивность изнашивания [5]. Кроме того,

высокая дисперсность микроструктуры после скоростного нагрева ТВЧ приводит к тому, что зерна имеют большую поверхность соприкосновения друг к другу. Это также способствует меньшему выкрашиванию и повышению показателей износостойкости материала в сравнении с отпуском в печи.

Таблица 2 – Результаты рентгенофазового анализа стали 15X11МФ после закалки ТВЧ и последующего отпуска ТВЧ при различных температурах

Термическая обработка	Фаза
Закалка ТВЧ+ отпуск ТВЧ	
300 °С	$\alpha_{(M)}$
400 °С	$\alpha_{(M)}$
500 °С	$\alpha_{(Ф)} + (Fe, Cr)_3C$
600 °С	$\alpha_{(Ф)} + (Fe, Cr)_3C + Cr_7C_3$
700 °С	$\alpha_{(Ф)} + Cr_{23}C_6 + VC + (Fe, Cr)_3C$
800 °С	$\alpha_{(Ф)} + (Fe, Cr)_{23}C_6 + Mo_2C + VC + (Cr, Mo)_6C$

При испытании в условиях трения износостойкость поверхностных слоев образцов, которые подвергались отпуску при помощи скоростного нагрева ТВЧ выше, чем после печного отпуска на аналогичную твердость. Это связано, прежде всего, с высокой дисперсностью структурных составляющих и более развитой субструктурой, которые сформировались благодаря воздействию высокой скорости нагрева при отпуске. Можно ожидать, что получение после отпуска ТВЧ вязкой матрицы феррита, которая пронизана более дисперсными карбидами, приведет к большей устойчивости поверхности к выкрашиванию в условиях других видов изнашивания (например кавитационного, эрозионного и т.п.).

Высокая износостойкость в сочетании с высокими механическими и эксплуатационными характеристиками, которая может быть достигнута путем использования скоростного нагрева, делает привлекательным расширение областей применения этого вида термической обработки.

Список литературы.

1. Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский., Л.С. Палатник - М.: Металлургия, 1976. – 176 с.
 2. Головин Г. Ф. Высокочастотная термическая обработка: Вопросы металловедения и технологии / Г. Ф. Головин, М. М. Замятин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 240 с.
 3. Физические основы электротермического упрочнения стали / В. Н. Гривнев и др. – К.: Наукова думка, 1973. – 336 с.
 4. Основы термической обработки стали / Смирнов М. А., Счастливцев В. М., Журавлев Л. Г. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 494 с.
 5. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
- Автор выражает благодарность научному руководителю к.т.н. Погребному Н.А. и к.т.н. Белозерову В.В. за проведение рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЖНООКСИДНЫХ ФАЗ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В СИСТЕМЕ Sm-Ca-Co-Fe-O

Галайда А.П.

Россия, Уральский федеральный университет, anastasia.galayda@yandex.ru

В настоящее время широкое распространение в электронике получают сложные оксиды с полупроводниковыми свойствами. Область применения подобных соединений достаточно обширна и включает в себя использование в качестве электродов ТОТЭ, кислородных мембран, катализаторов, чувствительных компонентов газовых сенсоров. Поэтому поиск новых материалов и систематические исследования их физико-химических свойств актуальны и являются популярными объектами исследования. Целью настоящей работы явилось изучение свойств оксидов, образующихся в системе Sm-Ca-Co-Fe-O, таких как $SmFe_{1-x}Co_xO_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 1$), $SmCaCoO_{4-\delta}$ и $Ca_{2.3}Sm_{0.7}Co_2O_{6-\delta}$.

Синтез образцов для исследования осуществлялся по стандартной керамической и глицерин-нитратной технологиям. Отжиг образцов проводился при температуре 1100°C на воздухе с последующим медленным охлаждением до комнатной температуры. Фазовый состав образцов контролировался рентгенографически.