

## ЖАРОСТОЙКИЕ СТАЛИ ДЛЯ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАГНИЕТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ТИТАНА

**В. Г Мищенко, д.т.н., проф., А. В. Гречка, соиск.**

*Запорожский национальный университет*

Для повышения долговечности и безотказной работы электрических печей сопротивления требуется обеспечить надежную работу его наиболее важного элемента — нагревателя. Именно он осуществляет нагрев, имеет наибольшую температуру и определяет работоспособность всей установки в целом. Поэтому материалы для нагревателей должны соответствовать таким основным требованиям [1]:

- отсутствие фазовых превращений при нагреве и охлаждении в процессе эксплуатации;
- высокая температура плавления;
- высокая жаростойкость;
- высокое удельное электрическое сопротивление;
- низкий температурный коэффициент удельного электрического сопротивления;
- жаропрочность, предотвращающая деформацию нагревателя при высоких температурах;
- пластичность и свариваемость;
- стойкостью к химическому воздействию атмосферы печи.

Жаропрочные стали и сплавы все шире находят применение в качестве материала для элементов сопротивления. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением классифицируют по наличию в химическом составе элементов, определяющих эксплуатационные свойства данной марки. По этому признаку сплавы можно разделить на [2]:

- хромоникелевые сплавы не содержащие железа;
- хромоникелевые сплавы с 10-20 % железа;
- аустенитные хромоникелевые стали, богатые железом;
- ферритные стали, легированные хромом и алюминием.

Актуальность вопроса выбора материала для изготовления новых или замены существующих нагревателей в электрических печах сопротивления постоянно возрастает. В настоящее время для изготовления нагревателей используется два основных вида сплавов — нихром и фехраль. Эти сплавы имеют свои преимущества и недостатки.

Нихром имеет хорошие механические свойства как при высоких, так и при низких температурах, а также обладает хорошими технологическими свойствами — пластичностью и свариваемостью. Сплав на основе никеля и хрома хорошо обрабатывается, не стареет, немагнитен.

К основным достоинствам фехралья относятся:

- высокая температура эксплуатации — до 1300°С;
- высокое удельное электрическое сопротивление, позволяющее сосредоточить требуемую тепловую мощность в меньшем объеме (при равной мощности экономия в весе проволоки);
- более длительный срок службы (в 2-4 раза);
- небольшая зависимость электрического сопротивления от температуры;
- повышенная жаростойкость, благодаря легированию ферритной стали с 25% хрома алюминием;
- сплав более дешевый, не дефицитный.

В целом, фехраль превосходит нихром по своим эксплуатационным характеристикам и более долгим сроком службы. Однако широкому применению фехралья вместо нихрома долгое время препятствовал ряд недостатков:

- низкая технологическая пластичность в холодном состоянии, что важно при изготовлении нагревателей;
- при нагреве сплава сильно растет зерно, что приводит к повышенной хрупкости в холодном состоянии и значительно снижает ремонтпригодность нагревателей;
- низкая жаропрочность, что приводит к существенному удлинению нагревателей в процессе эксплуатации. Поэтому элементы по форме должны быть такими, чтобы они не подвергались деформации под влиянием собственного веса;
- взаимодействует с шамотной футеровкой, содержащей большое количество кремния и оксида железа, при этом защитная окисная пленка  $Al_2O_3$ , которая образуется на поверхности ленты разрушается;
- основой фехралей является железо, поэтому такие сплавы магнитны и могут подвергаться коррозии во влажной атмосфере при нормальной температуре.

Однако, производителям удалось существенно улучшить механические свойства фехралей. На сегодняшний день существует два основных пути повышения качества стали:

1) вакуумирование стали, что позволяет повысить их механические характеристики путем рафинирования от вредных примесей, и, как следствие, устранить хрупкость, которая, главным образом, связана с присутствием в их составе таких элементов, как углерод, кислород и азот - [2];

2) многокомпонентное модифицирование различными элементами: V, Nb, Y, La, Ce, Zr, Ti, Si, позволило существенно поднять пластичность, предотвратить сильный рост зерна и межкристаллитное разрушение сплавов при повышенных температурах, сохранив основные достоинства этого класса сплавов.

Сравнительный анализ механических свойств жаростойких сталей приведен в таблице 1.

Таблица 1

*Сравнительный анализ механических свойств жаростойких сталей*

Марка стали	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_{200}$ , %	$\psi$ , %
03X23Ю5Т	635...639	$\geq 10$	64,7
03X22Ю5ФБч	661...662	11...16	30...40
Кантал-А1	$\geq 635$	$\geq 12$	-

Авторами [3] показано, что сталь 03X22Ю5ФБч, легированная V, Nb и PЗМ не более 0,01 % имеет пониженную прочность и повышенную пластичность, что обеспечивает преимущества показателей ее технологической пластичности. Для повышения технологической пластичности проволоки из фехрали рекомендована термическая обработка: нагрев до 760...775 °С с выдержкой 1 час, охлаждение в воде. Она позволяет завершить рекристаллизацию и предотвратить образование  $\sigma$ -фазы при охлаждении.

Вместе с этим имеет значение процесс производства проволоки. Так, из-за неполного удаления смазки NaCl с поверхности проволоки возникает интенсивное высокотемпературное коррозионное разрушение и коробление при эксплуатации - [3, 4].

Таким образом, по мнению отечественных и зарубежных авторов фехраль является перспективным материалом для изготовления нагревателей. При таких условиях основные усилия исследователей по повышению технологических и эксплуатационных свойств жаростойких сплавов системы Fe-Cr-Al, предназначенных для изготовления элементов сопротивления электрических нагревательных печей, направлены на поиск способов повышения жаропрочности и снижения хрупкости, а также повышение технологической пластичности.

**Список использованных источников**

1. Электротермическое оборудование, справочник. Под общей редакцией А.П. Альтгаузена, М.Я. Смелянского и М.С. Шевцова, М., изд-во «Энергия», 1966. – С. 42.
2. Коломбье Л., Гохман И. Нержавеющие и жаропрочные стали. - М.: Металлургиздат, 1958. – С. 67 – 68.
3. В. Г. Мищенко, И.Н. Лазечный, В.Ю. Лякишев. Экономлегированные жаростойкие стали для нагревателей термических печей // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2010. – №2. – С. 63 – 68.
4. Беркая Д.С. Влияние некоторых факторов на склонность проволоки из сплавов системы Fe-Cr-Al к «язвенной» коррозии/ Д.С. Беркая, К.П. Бикезин, Н.А. Горохова и др.// Сталь. – 1975. № 11. – С. 1032 – 1033.