

Перспективы применения современных сплавов сопротивления в нагревательных и термических печах

Магистрант Заноско О.А.

Научный руководитель – Румянцева Г.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время вопрос выбора материала для изготовления новых или замены существующих нагревательных элементов в электропечах сопротивления различных типов (термические и плавильные печи, сушильные камеры и т.п.) и промышленных нагревателях является весьма актуальным.

Исторически, сплавы сопротивления прошли несколько основных этапов развития:

1. Нихромы (сплавы Ni-Cr и Ni-Cr-Fe) известны с начала XX века и применялись широко как в промышленности, так и в бытовых приборах до 40-х – 50-х годов.

2. Фехрали (сплавы Fe-Cr-Al) стали применяться с 30-х годов наряду с нихромами.

По сравнению с нихромами они имеют улучшенные характеристики:

- более высокая температура применения;
- больший срок службы при высоких температурах;
- меньшую удельную плотность сплава;
- меньшую стоимость.

Однако широкому применению фехралей вместо нихрома препятствовали плохие механические свойства, а именно, низкая пластичность в исходном состоянии (что важно при изготовлении нагревательных элементов), а также резкое уменьшение пластичности сплава при эксплуатации (что важно при работе и ремонте нагревательных элементов).

3. Современные многокомпонентные сплавы Fe-Cr-Al-Si-Mn-Zr-Ti-Y известны под названиями фирм производителей: Kanthal, Resistohm, Aluchrom, и др. имеют базовый состав близкий к фехралям (Fe-Cr-Al), однако, за счет комплексного легирования различными элементами Si, Mn, Zr, Ti, Y, Ce и другими, снижения содержания углерода в несколько раз, а также технологическим особенностям изготовления производителям удалось создать материалы с отличным комплексом физических, механических и эксплуатационных свойств:

- высокая рабочая температура эксплуатации;
- больший срок службы при высоких температурах;
- низкая удельная плотность сплава;
- хорошие механические свойства (в частности, высокое значение пластичности);
- отсутствие сильного роста зерна и межкристаллитного разрушения сплавов при повышенных температурах;
- приемлемая стоимость.

Сегодня почти все отечественные предприятия еще применяют нихром и фехраль для изготовления нагревателей в промышленных печах. Тогда, как в мире их доля в этом секторе составляет менее 3 %, а в общем потреблении сплавов сопротивления – до 15 %. К настоящему моменту все ведущие мировые производители промышленных печей используют для изготовления нагревательных элементов только современные многокомпонентные сплавы Fe-Cr-Al-Si-Mn-Zr-Ti-Y, так как они обладают существенными преимуществами.

В отличие от нихромов:

1. Высокая рабочая и максимальная температура применения:

$$T_{max} = 1200 - 1350 \text{ } ^\circ\text{C}, T_{\text{плавл.}} = 1500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Срок службы больше в 2–3 раза при работе при температурах выше 1100 °С. Пример: при T=1100 °С срок службы «Резистом Р» как минимум в 2,8 раза выше чем X20H80, атмосфера – воздух.

3. Плотность ниже, чем у нихрома (7,1-7,2 г/см³ против 8,4 г/см³ у X20H80). Экономия на материале составляет 17 % по весу.

4. Выше удельное электросопротивление 1,39–1,45 Ом·мм²/м против 1,12 для X20H80, что приводит к экономии на материале.

5. Выше значение допустимой поверхностной мощности q (4 Вт/см² против 2 Вт/см² для X20H80 при T=1000 °С).

Приведенные в п. 3, 4, 5 преимущества позволяют экономить на материале для нагревательных элементов 20–30% по весу в сравнении с X20H80.

6. Отличная стойкость в воздушной среде, вакууме, аргоне, серосодержащих и СО-содержащих атмосферах, водяном паре, парах алюминия.

7. Низкое значение интеркристаллитного окисления.

8. Высокое значение предела ползучести, что уменьшает вероятность провисания элементов.

9. Хорошие механические свойства: высокий предел текучести, хорошая пластичность при комнатной температуре (удлинение более 21%).

10. Низкое стабильное значение ТКЭС.

11. Небольшая зависимость электросопротивления от различных видов теплового воздействия и холодного деформирования.

12. Цена ниже, чем у нихромов.

В отличие от фехралей:

1. Существенно большая пластичность (удельное удлинение) при комнатной температуре: более 21% против 10-12% у классических "фехралей".

2. Более высокая пластичность сплава после эксплуатации при высоких температурах.

3. Сниженное значение интеркристаллитного окисления.

4. Снижение размера зерна, как в исходном состоянии, так и замедленный рост зерна при эксплуатации при высоких температурах – стабильность функциональных свойств.

5. Хорошая свариваемость сплавов.

Превосходные свойства этих материалов обусловлены, в частности, тем, что на их поверхности образуется высокопрочная пленка Al₂O₃ светло-серого цвета, которая является отличным изолятором и более эффективно предотвращает коррозию по сравнению с оксидом хрома (Cr₂O₃), образующимся на поверхности нихромов. Пленка оксида хрома менее устойчива, быстрее отслаивается и испаряется (интенсивное испарение при 1100 °С), что приводит к сокращению срока службы нагревателя. Таким образом, промышленные печи, изготовленные на основе футеровки из легковесных волокнистых огнеупоров в комплекте с нагревателями из современного сплава, позволяют сократить время выхода на рабочий режим, а также значительно снизить потребление электроэнергии и эксплуатационные затраты по сравнению с печами на основе кирпичной футеровки с нагревателями из нихрома.

УДК 669.1

Экологические проблемы черной металлургии

Студент гр.10405312 Булыга С.Д.

Научный руководитель – Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Существующие в настоящее время металлургические процессы производства чугуна, стали и различных видов металлопродукции связаны с образованием большого количества вредных веществ в виде газообразных и твердых отходов, а также сточных вод.