

## СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ИЗ СТАЛИ 10Х9К3В1М1ФБР В УСЛОВИЯХ СТАРЕНИЯ

Дмитрик В.В., Сыренко Т.А.

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»,  
г. Харьков*

Высокохромистые мартенситные стали типа Р91, Р92, Р122, Р911 и др., применяются в энергоблоках тепловых станций США, Японии и других стран ЕС, эксплуатируются при температурах 580-650°C и давлении до 340МПа. Данные стали подвергаются термической обработке представляющей собой нормализацию и последующий среднетемпературный отпуск. Отпуск обеспечивает выделение нано-частиц типа М (С,N) и М<sub>23</sub>С<sub>6</sub>, от объемной доли, размера и распределения которых зависит стабильность структуры сварных соединений в условиях эксплуатационного старения. В сталях, содержащих никеля 0,7-1,5%, отмечается следующая стадийность карбидных превращений

М<sub>3</sub>С→М<sub>2</sub>С→ М<sub>23</sub>С<sub>6</sub>. В легированном цементите доля Fe составляет около 20% от металлических атомов. В карбонитриде М<sub>2</sub> (С,N) хром составляет около 50-55% от количества металлических атомов, а молибден-до 30% (масс.). Частицы М<sub>2</sub> (С,N) выглядят в виде пластин длиной 100нм и более, а частицы М<sub>23</sub>С<sub>6</sub> имеют округлую форму.

При содержании в приведенных сталях никеля ≤ 0,6% карбидная реакция будет следующей М<sub>3</sub>С→М<sub>7</sub>С<sub>3</sub>→ М<sub>23</sub>С<sub>6</sub>.

Карбидная реакция М<sub>3</sub>С→М<sub>7</sub>С<sub>3</sub> может протекать по механизму внутренней перестройки решетки цементита, что вызывает диффузия хрома из мартенсита. Однако реакция М<sub>3</sub>С→М<sub>7</sub>С<sub>3</sub> может протекать как эффект независимого зарождения М<sub>7</sub>С<sub>3</sub>, поскольку химический состав М<sub>3</sub>С и М<sub>7</sub>С<sub>3</sub> существенно различается по содержанию хрома и железа. Реакция М<sub>7</sub>С<sub>3</sub>→М<sub>23</sub>С<sub>6</sub> может идти по механизму перестройки решетки М<sub>7</sub>С<sub>3</sub> в решетку М<sub>23</sub>С<sub>6</sub>. Однако механизм данной реакции может обеспечиваться и путем независимого зарождения карбида М<sub>23</sub>С<sub>6</sub>. Заметим, что М<sub>7</sub>С<sub>3</sub> и М<sub>23</sub>С<sub>6</sub> располагаются в зернах мартенсита по точным ориентационным направлениям, что подтверждает их зарождение как частиц с когерентными границами. Карбид М<sub>7</sub>С<sub>3</sub> может содержать хрома ≥ 80%(ат.) и по своему химическому составу он близок к карбиду М<sub>23</sub>С<sub>6</sub>. Однако М<sub>7</sub>С<sub>3</sub> и М<sub>23</sub>С<sub>6</sub> имеют различные кристаллические решетки. В процессе эксплуатации М<sub>7</sub>С<sub>3</sub> претерпевают распад при образовании М<sub>23</sub>С<sub>6</sub>. Увеличение в стали Р911 содержания ниобия до 0,086 и азота до 0,06% приводит к полной замене М<sub>2</sub> (С,N) на М (С,N), который обогащен ниобием. Можно предположить, что М (С,N) в стали Р911 является в условиях эксплуатационного старения стабильной фазой, что требует уточнения.