

кратными фазовыми превращениями ферритоперлитной структуры в аустенит с последующим распадом в ферритокарбидную смесь. Чем больше количество превращений, тем выше дисперсность конечной структуры.

В условиях индукционного циклического нагрева (до 100 °С/с) происходит измельчение микроструктуры стали, карбидной фазы, но за меньшее число циклов. Перегретая структура материала при печном нагреве измельчается до 11 баллов за 6...8 циклов, а при индукционном нагреве необходимо 2...4 цикла.

Интенсивное уменьшение размера зерна обусловлено особенностью фазовых превращений в условиях скоростного нагрева, заключающейся в повышении температуры начала превращения и сокращении продолжительности образования зародышей аустенита. В результате скорость зарождения центров преобладает над скоростью роста зерна, что приводит к мелкодисперсной структуре.

Особенность индукционного нагрева заключается в том, что длительное термоциклирование (от 4 циклов) не приводит к увеличению дисперсности микроструктуры стали, а наоборот на поверхности проявляется разнородность, которая сопровождается увеличением диаметра отдельных зерен (с 8 до 90 мкм) и снижением твердости (с  $178 \pm 10$  HV до  $157 \pm 10$  HV). Такое явление было вызвано фазовыми напряжениями, которые непрерывно возникали и релаксировали путем микропластической деформации зерен. В результате произошла вторичная рекристаллизация зерен.

Установлено, что при термоциклической обработке цементованного слоя происходит измельчение карбидов (с 15 мкм до 2 мкм) и увеличение их количества в 1,5 раза. Это обусловлено выделением цементита во время охлаждения и ограниченной растворимостью при максимальной температуре из-за высокой скорости нагрева и непродолжительной выдержки.

УДК 621.785

### **Исследование структуры диффузионных слоев при насыщении углеродом коррозионностойких сталей**

Стефанович В.А., Белько О.С., Борисов С.В.  
Белорусский национальный технический университет

Насыщение высокохромистой стали углеродом широко используется при изготовлении штампов для холодной ОМД. В результате цементации и последующей закалки с низким отпуском формируется диффузионный слой состоящий из мартенсита с включениями карбидов, обладающих высокой твердостью (65-68HRC) и износостойкостью. Обычно цементацию

высокохромистых сталей проводят в порошковых смесях, недостатком которых является низкая насыщающая способность.

Целью данных исследований является разработка порошкового карбюризатора высокой активности для цементации высокохромистых сталей.

Для оптимизации состава карбюризатора был применен последовательный симплекс метод планирования эксперимента. В качестве факторов, входящих в карбюризатор, были выбраны следующие компоненты: - цементирующая смесь – 85% угля+15%NaHCO<sub>3</sub>; - хромирующая смесь, полученная методом алюмотермии; - легкоплавкие добавки Cu, Zn, Sb и оксиды Mo, Co. Всего было использовано 8 факторов. В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие параметры: толщина диффузионного слоя, твердость поверхности после насыщения, твердость после закалки, количество твердых частиц в слое.

В результате выполненных опытов было получено оптимальное соотношение компонентов в карбюризаторе, обеспечивающее экстремальные значения параметров оптимизации. Структура диффузионных слоев включает три зоны. Поверхностная зона состоит из большого количества включений карбидов зернистой формы и мартенсита. Толщина данной зоны находится в пределах от 100 мкм до 600 мкм. Во второй зоне уменьшается количество карбидов, появляются остатки карбидной сетки по границам зерен. увеличивается количество мартенсита. Толщина второй зоны может достигать 500 мкм. Структура третьей зоны состоит из мартенсита, аустенита и следов сетки карбидов. При этом скорость формирования карбидного слоя увеличилась в 1,8-2,2 твердость после закалки данного слоя составила 9000-10500 МПа (68-70HRC).

УДК 669.018:621.793

### **Применение высоких плотностей тока для формирования покрытий на различных типах подложек**

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Для выявления результата варьирования плотностью подводимой энергии были исследованы три распространенных типа материала: низкоуглеродистая, инструментальная и нержавеющая сталь изготовленные из проволоки диаметром 1 мм. Минимальность объема была вызвана необходимостью подать максимальную мощность на единицу поверхности. Сила тока в эксперименте составляла порядка 160 А на дм<sup>2</sup>.

Как и предполагалось изначально, наибольшая толщина покрытия оказалась на низкоуглеродистой стали, а наименьшая на нержавеющей.