

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Н.А. Боковые колебания подвижного состава. – М.: Трансжелдориздат, 1957. – 247 с.
2. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагонов. – М.: Транспорт, 1978. – 252 с.

УДК 621.793

В.Э.Завистовский

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ СПЛАВЛЕНИЯ И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ИЗ СПЛАВА ПГ-СР4-ОМ НА СТАЛИ 20

Полоцкий государственный университет

Новополоцк, Бсларусь

Любой металлический многокомпонентный сплав имеет сложную структуру, формирующуюся из многочисленных групп однотипных или разнотипных атомов. Свойства сплава определяются его структурой, которая зависит от химического состава сплава, технологии его получения и последующей обработки посредством механических, термических, электрохимических и других методов воздействия. Зона сплавления формируется в условиях значительных температурных и концентрационных градиентов и представляет собой комплекс толщиной до 0,5 мм переменного химического и фазового состава.

Исследовались особенности формирования структуры зоны сплавления при наплавке самофлюсующегося никелевого сплава ПГ-СР4-ОМ на малоуглеродистую Сталь 20 и изучалась прочность сцепления наплавленного слоя и основного металла в зависимости от температурно-временных режимов наплавки. В качестве материала для исследования был взят сплав ПГ-СР4-ОМ в виде гранулированного порошка, производства Торезского завода наплавочных твердых сплавов, фракции меньше 200 мкм следующего химического состава: (мас. %) С – 0,8; Cr – 16; В – 3; Si – 4; Ni – основа. Наплавку проводили в высокотемпературной печи СУОЛ-0,25.1/12-М. За оптимальную продолжительность нагрева принимали время до полного расплавления порошка, о чем судили по его “проседанию” на наплавляемой поверхности. Образцы наплавливали с недогревом и перегревом. Скорость нагрева составляла 18 град/с; скорость охлаждения на воздухе – 3 град/с; температура в диапазоне 1000–1200 °С; время изотермической выдержки $t = 0-600$ с.

Для определения прочности сцепления самофлюсующихся никелевых сплавов со сталью по методике [1] были изготовлены образцы двух типоразмеров. Фрактографический анализ изломов проводили при темнопольном освещении и увеличении до 800 крат по принятой в металловедении методике [2]. Металлографическое исследование проводили на микроскопе ММР-2М при увеличениях от 70 до 800 крат. Фотосъемки

производили на репродукционные контрастные пластины. Печать контактная. Фотообработка стандартная.

Металлографическим исследованием установлено, что при наплавке самофлюсующимися никелевыми сплавами линия сплавления выявляется четко. Со стороны основного металла к линии сплавления непосредственно примыкает прослойка перлита, ширина и зернистость которой зависят от режима наплавки. При недогреве она практически отсутствует, при оптимальном режиме составляет порядка 25 мкм, при перегреве достигает 150 мкм и имеет типичную видманштеттовую структуру (балл В2). Со стороны наплавки по линии сплавления образуется прослойка толщиной до 12 мкм твердого никелевого раствора. Покрытие из сплава ПГ-СР4-ОМ, наплавленное по оптимальному режиму, имеет заэвтектическую микроструктуру, представленную эвтектикой боридов никеля и твердого никелевого раствора с мелкодисперсными карбидами и карбоборидами хрома [3].

Повышение температуры либо увеличение времени наплавки приводит к уменьшению содержания карбидной фазы и формированию доэвтектической структуры с характерными столбчатыми дендритами твердого никелевого раствора и колониями боридной эвтектики между его ветвями. Соотношение доэвтектической (HRC, 32–40) и заэвтектической (HRC, 50–55) зон по высоте покрытия при этом меняется и может достигать 1:1 при сильном перегреве.

Результаты стереометрического анализа показали, что размер, количество и распределение микропор в покрытии существенно изменяются в зависимости от режима наплавки. Покрытия, наплавленные при температуре 1000–1050 °С и малых выдержках, имеют пористость до 10 %. Поры мелкие, не более 0,2 мм, равномерно распределены по толщине наплавленного слоя. При температурах 1050 °С и выше и времени более одной минуты формируется практически беспористое покрытие. Редкие поры размером 0,3–0,6 мм встречаются вблизи поверхности. Трещины и шлаковые включения не обнаружены [4].

Прочность сцепления и морфология излома весьма чувствительны к режиму наплавки самофлюсующимися сплавами [5]. На рис. 1 показаны типичные виды разрушения при отрыве покрытия в различных зонах сцепления. При относительно низких температурах наплавки и малых выдержках прочность сцепления составляет 40–150 МПа. Излом при этом мелкозернистый, на многих участках поверхности излома имеются темно-серые обнажения шлаковых включений. Разрушение происходит, как правило, по металлу наплавки на расстоянии 0,05–0,2 мм от линии сплавления.

Максимальное значение прочности сцепления ($\sigma_{\text{сц}} = 500 \pm 20$ МПа) имели образцы, наплавленные при $T = 1150$ °С, $t = 150$ с. Излом в этом случае хрупкий. При небольших увеличениях просматриваются фасетки с характерным лепесткообразным узором. Трещины развиваются только в наплавленном металле в основном по границе между эвтектической и заэвтектической зонами. При перегреве прочность сцепления

несколько снижается и составляет 300–400 МПа. Траектория излома при этом контролируется γ -фазой и трещины развиваются по прослойке твердого никелевого раствора. Уменьшение содержания карбидной и боридной фаз в зоне сплавления способствует пластической деформации микрообъемов перед разрушением. На это указывает появление гладких поверхностей разрушения с крупночешуйчатыми фасетками. На некоторых образцах, наплавленных по режиму сильного перегрева, наблюдается межзёрненный отрыв по перлитной прослойке ($\sigma_{\text{ср}} = 210 \pm 15$ МПа). Математический анализ результатов испытаний не выявил устойчивых корреляционных связей между твердостью наплавленного металла и прочностью сцепления. Только для образцов наплавленных по оптимальному режиму и недогреву ($T \leq 1100^\circ\text{C}$, t до 180 с), существует корреляция между этими величинами, которая удовлетворительно описывается линейной регрессией вида $\sigma = 1,32 \cdot \text{HRC} - 35$ с коэффициентом корреляции $r = 0,85$.

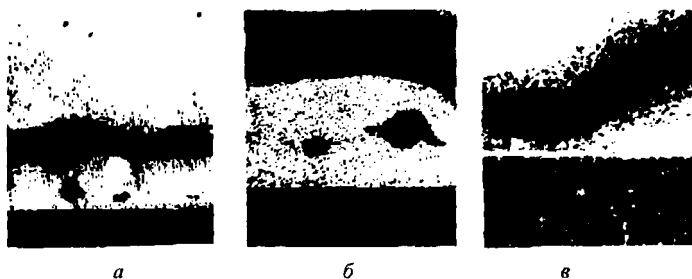


Рис. 1. Характер разрушения образцов при отрыве покрытия ($\times 100$):
 а – разрушение по границе между эвтектической и доэвтектической зонами;
 б – разрушение по γ -слою; в – смешанное разрушение

Проанализировав полученные экспериментальные результаты и сравнив их с имеющимися литературными данными, можно сделать вывод, что основным процессом, определяющим структурообразование зоны сплавления, является диффузия атомов углерода и бора из никелевого сплава ПГ-СР4-ОМ и встречная диффузия атомов железа из основного металла.

При наплавке диффузионные процессы по границам зерен идут значительно активнее, чем по телу зерна. Связано это с большой плотностью различного рода несовершенств кристаллического строения по границам зерен. Так как процесс диффузии связан с энергетическими характеристиками материала, большое влияние на процесс оказывают температура и строение кристаллической решетки. Для реактивной диффузии характерно образование химических соединений и эвтектоидной составляющей. В материалах, соединенных путем сплавления, эти зоны располагаются не обязательно в плоскости контакта. Их сосредоточение возможно в области с соответствующей концентрацией компонентов, в зависимости от относительной скорости диффузии при данной температуре.

Для металлов, соединенных сплавлением, характерен еще один вид диффузионного процесса. Его механизм связан с разницей в термодинамической активности элементов. Механизм протекания этого процесса следующий: если у атомов легирующего элемента силы связи с атомами углерода меньше, чем у атомов железа, то атомы углерода оттесняются от атомов такого элемента и стремятся попасть в область влияния атомов железа. Значит, в результате этого процесса легирующий элемент увеличивает термодинамическую активность атомов углерода к перемещению их в те области, где их концентрация меньше. К элементам, увеличивающим термодинамическую активность углерода в железе, относятся кремний и никель.

В настоящее время отсутствуют расчетные формулы для оценки диффузионных процессов при наплавке твердых самофлюсующихся сплавов на малоуглеродистую сталь. Однако можно считать, что размер диффузионной зоны определяется следующими факторами: природой взаимодействующих металлов; их концентрацией; температурой наплавки; продолжительностью взаимодействия. При разработке технологии нанесения износостойкого покрытия важно обеспечить высокие физические и механические характеристики зоны сплавления основного металла и покрытия, так как именно они зачастую определяют работоспособность восстановленных и упрочненных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М. Индукционная наплавка твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 184 с. 2. Богомолова Н.А. Практическая металлография. – М.: Высшая школа, 1978. – 360 с. 3. Комплексное исследование природы разрушения материалов с покрытиями: Отчет о НИР (заключ.) / Полоцкий государственный университет (ПГУ): Руководитель В.Э. Завистовский. – ГБ 13-95. – Новополоцк, 1996. – 97 с. (с приложением) 4. Завистовский В.Э. Механика разрушения и прочность материалов с покрытиями. – Новополоцк: ПГУ, 1999. – 144 с. 5. Завистовский В.Э., Холодильников О.В., Богданович П.Н. Физика отказов механических систем. – Мн.: Технопринт, 1999. – 212 с.

УДК 621.81.408

С.А. Иващенко

РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ПОКРЫТИЕМ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩЕГО СПЛАВА

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Получение, а в некоторых случаях и эксплуатация износостойких покрытий, неизбежно связаны с возникновением в них остаточных термических напряжений, которые оказывают решающее влияние на прочность покрытия и его сцепление с основой.