

Юрий Алексеевич КОНОН

НПО "АНИТИМ", г. Барнаул, СССР

ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ВЗРЫВА

Резюме. В работе представлены сравнительные исследования коррозионной стойкости тонких трёхслойных листов толщиной 2–4 мм, коррозионно-стойкая сталь – углеродистая сталь – коррозионно-стойкая сталь, полученных методом взрыва с последующей горячей прокаткой для получения соответствующей толщины, для коррозионно-стойкой стали типа 08X18H10T и углеродистой стали Ст.3 (ГОСТ).

Сравнительные исследования были проведены путём исследования образцов на язвенную коррозию, усталостную коррозию и на коррозию напряжённого материала.

Подтверждено, что процесс язвенной коррозии в трёхслойном материале протекает иначе, чем в образцах их однородного материала. Кроме того, этот процесс в углеродистой стали Ст.3 протекает почти в 3 раза быстрее, чем в коррозионно-стойкой стали 08X18H9T.

В результате проведённых исследований плоских образцов с концентраторами напряжений в условиях усталостной коррозии утверждено, что трёхслойный материал проявляет большую коррозионную стойкость, чем сталь коррозионно-стойкая углеродистая. Это объясняется соответствующей пластической обработкой биметалла и меньшим количеством дефектов, являющихся зародышами усталостной трещины. Кроме того, в исследованиях усталостной коррозии определено, что время до появления трещин почти одинаково для трёх видов исследуемых материалов, а скорость распространения трещин и характер – различны.

На основе проведённых исследований показано, что трёхслойный лист двухсторонне плакированный коррозионно-стойкой сталью толщиной 0,15–0,20 мм может применяться в качестве конструкционного материала, взамен дорогих листов из коррозионно-стойкой стали, пото потому что обеспечивает:

- коррозионную стойкость не меньшую от материала плакирующего слоя;
- штампуемость – на уровне основной стали;
- возможность сварки различными методами;
- экономию коррозионно-стойкой стали до 80%.

Известно, что основной причиной выхода из строя оборудования, работающего в контакте с агрессивными средами, является коррозия. Очевидно, что применение коррозионно-стойких материалов увеличит срок службы данного оборудования. Ограниченное применение коррозионно-стойких сплавов в машиностроении связано с их дифицитностью и высокой стоимостью. Учитывая, что только поверхностный слой материала соприкасается с агрессивной средой, а основная его масса обеспечивает необходимые прочностные свойства конструкции, целесообразно применять многослойные материалы с коррозионно-стойким покрытием. В СССР рядом организаций разработана промышленная технология получения тонкого трёхслойного коррозионно-стойкого листа 08X18H10T + 10 + 08X18H10T и

начат его промышленный выпуск по ТУ 14-1-3048-81. Промышленная технология включает в себя получение сваркой взрывом трёхслойной заготовки и её прокатку в лист необходимой толщины (в основном 2-4 мм). Толщина плакирующего слоя составляет 0,15-0,2 мм. Механические свойства трёхслойной стали позволяют проводить с ней необходимые технологические операции.

Для решения вопроса о возможности применения трёхслойной стали в конструкциях машин по внесению минеральных удобрений были проведены её коррозионные исследования. Общая коррозионная стойкость биметалла в туковых средах оказалась на 2-3 порядка выше, чем стали Ст.3.

Вместе с тем известно, что коррозионно-стойкие стали проявляют склонность к локальным видам коррозии, когда без значительных весовых потерь металлические конструкции выходят из строя. Следует также учесть, что при изготовлении трёхслойной стали (сварка взрывом, нагрев, прокатка, термообработка) наблюдается диффузия элементов из одного слоя в другой, наличие переходных зон, остаточных напряжений. Всё это изменяет свойства плакирующего слоя и требует проведения дополнительных исследований по изучению особенностей развития локальных коррозионных процессов в многослойных материалах.

Проведённые исследования носили сравнительный характер. В качестве материалов сравнения использовали монометрические образцы из коррозионно-стойкой стали 08Х18Н10Т и стали Ст.3.

Опасным видом коррозии является межкристаллитная коррозия (МКК), вызывающая избирательное разрушение границ зёрен, что приводит к потере прочности и пластичности сплавов и преждевременному разрушению конструкций. Испытания коррозионно-стойких сталей на склонность к МКК проводят по ГОСТ 6032-75, в соответствии с которым плакирующий слой перед испытанием должен быть отделён от материала основы. В данном случае отделение тонкого слоя (~0,2 мм) значительно затруднено, поэтому испытания проводили тремя методами:

- методом анодного травления Б;
- методом АМ с заваркой образца в чехол из стали 08Х18Н10Т для предотвращения контакта агрессивной среды с материалом основы на торцах;
- методом АМ на специальной установке по а.с. № 922594.

Послойное снятие плакирующего слоя и результаты испытаний показали, что в результате диффузии углерода из материала основы в плакирующий слой последний на толщину 30-60 мкм от линии соединения проявляет склонность к МКК. Результаты, полученные тремя выше указанными методами практически совпадают между собой.

Анализ литературных данных, а также результаты проведённых исследований выявили наличие питтинговой коррозии коррозионно-стойкой и трёхслойной сталей в удобрениях, содержащих хлор-ионы (нитрофоска, хлористый калий). Данные по закономерностям роста питтингов в многослойных материалах отсутствуют, поэтому вопрос представляет определённый научный и практический интерес.

Методика исследований предусматривала параллельное изучение трёх этапов развития питтинга:

- рост питтинга в первом плакирующем слое;
- развитие питтинга в основном слое;
- поведение питтинга при его подходе к внутренней стороне второго плакирующего слоя.

Для сравнения применяли образцы из коррозионно-стойкой и углеродистой стали. Глубина питтинга рассчитывалась как средняя арифметическая величина трёх максимальных из десяти измерений. Для второго и третьего этапов исследования роста питтингов в биметалле готовились образцы с искусственными глухими отверстиями диаметром 1 мм и глубиной, равной толщине плакирующего слоя и равной суммарной толщине плакирующего и основного слоёв. В качестве агрессивной среды использовали нитрофоску, а для второго этапа изучения роста питтинга в биметалле и другие удобрения. Режим работы испытательной камеры обеспечивал температуру $20 \pm 2^\circ\text{C}$, относительную влажность воздуха 95-100%.

Рост питтинга в глубину в углеродистой и коррозионно-стойкой сталях имеет одинаковый характер и отличается только скоростью. Сквозное прохождение питтингом образца толщиной 2 мм из углеродистой стали наблюдается за 1 год испытаний, а из коррозионно-стойкой — за 3 года.

Рост питтинга в трёхслойном материале имеет иной характер. После прохождения питтингом первого плакирующего слоя скорость его роста резко увеличивается, что объясняется меньшей коррозионной стойкостью материала основы, а также образованием электрохимической макропары, анодом которой является углеродистая сталь. Дальнейшее замедление скорости роста питтинга в глубину происходит вследствие затруднения диффузионных процессов подвода-отвода реагентов и продуктов коррозии. Контакт с различными удобрениями обуславливает различные скорости коррозии основного слоя. При подходе питтинга к внутренней стороне второго плакирующего слоя его рост в глубину прекращается, коррозионные поражения распространяются в ширину в основном слое. Углеродистая сталь, выполняющая функцию защитного протектора, предотвращает процесс питтингообразования на втором плакирующем слое.

Машины, работающие в контакте с минеральными удобрениями, в процессе эксплуатации подвергаются различного рода деформациям, вибрации, поэтому без проведения коррозионно-усталостных испытаний трёхслойной стали её нельзя рекомендовать в качестве конструкционного материала.

Усталостные испытания проводили на плоских образцах с концентратором напряжений в виде отверстия по ГОСТ 2860-65 на базе испытаний 10^7 циклов. Предварительно образцы выдерживались в наиболее агрессивном удобрении — нитрофоске. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что коррозионно-усталостная прочность трёхслойной стали выше, чем у нержавеющей и углеродистой. Более высокие показатели усталостной прочности у биметалла можно объяснить более глубокой проработкой слоёв в процессе прокатки в тонкий лист, и меньшим содержанием дефектов, являющихся центрами зарождения усталостной трещины. Перегиб на кривой коррозионно-усталостной прочности для трёхслойной стали обуславливается различными формами питтингов, являющихся

центрами зарождения трещин, а также меньшей пластичностью науглероженного слоя в плакировке, чем углеродистой стали.

Наличие в трёхслойном листе остаточных напряжений, а также напряжений, полученных в результате изготовления конструкций, может способствовать повышенной склонности данного материала к коррозионному растрескиванию под напряжением, поэтому проведение соответствующих исследований является необходимым на этапе разработки и внедрения нового материала.

Испытания напряжённых образцов проводили на специальной установке. В качестве агрессивной среды использовали кипящий 42%-ый раствор $MgCl_2$. Степень деформации образцов соответствовала напряжению 0,96 т для трёхслойной стали (270 МПа). Глубина трещины определялась с помощью оптической металлографии.

В работе использованы результаты измерения трёх наиболее глубоких трещин из десяти обследованных в каждом опыте. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что время до начала образования трещины в монометалле и биметалле практически одинаково, это объясняется отсутствием остаточных напряжений на свободной поверхности материала, измеренных с помощью рентгеноструктурного анализа. После образования трещина в биметалле растёт более интенсивно вследствие увеличения напряжений, а при подходе к основному слою рост трещины прекращается, т.к. на линии соединения растягивающие напряжения резко уменьшаются. Трещина в монометалле продолжает расти в глубину.

В ы в о д ы

Разработана высокоэффективная технология производства тонкого трёхслойного листа нержавеющей сталь + сталь + нержавеющая сталь методом сварки взрывом с последующей горячей прокаткой. Применяется для изготовления бункеров, кузовов сельхозмашин, ёмкостей для ядохимикатов.

Трёхслойный коррозионно-стойкий лист с толщиной лакирующего слоя 0,15-0,20 мм обеспечивает:

- коррозионную стойкость - не ниже стойкости нержавеющей стали лакирующего слоя,
- штампуемость - на уровне основной стали,
- свариваемость - электродуговой, контактной, газосварочной сваркой.
- экономию до 80% нержавеющей стали.

NOWE MATERIAŁY KONSTRUKCYJNE ODPORNE NA KORYZJĘ,
OTRZYMYWANE METODĄ PLATEROWANIA WYBUCHOWEGO

S t r e s z c z e n i e

W referacie przedstawiono badania porównawcze odporności korozyjnej, cienkiej trzywarstwowej blachy o grubości 2-4 mm, stal odporna na korozję -

- stal węglowa - stal odporna na korozję, otrzymanej metodą platerowania wybuchowego z następnym walcowaniem na gorąco w celu uzyskania odpowiednich grubości, ze stalą odporną na korozję 08H18N10T i stalą węglową St3 (GOST).

Badania porównawcze przeprowadzono poddając odpowiednio przygotowane próbki - korozji wżerowej, korozji zmęczeniowej i korozji naprężeniowej.

Stwierdzono, że proces korozji wżerowej w materiale trzywarstwowym przebiega inaczej niż w próbkach z materiału jednolitego. Proces ten ponadto w stali węglowej (St3) przebiega około 3 razy szybciej niż w stali odpornej na korozję (08H18N10T).

W wyniku przeprowadzonych badań na próbkach płaskich z koncentratorami naprężeń, w warunkach korozji zmęczeniowej stwierdzono, że materiał trzywarstwowi wykazuje większą odporność korozyjną od stali odpornej na korozję i stali węglowej. Tłumaczy się to odpowiednią obróbką plastyczną bimetalu i mniejszą ilością defektów, stanowiących zarodki pęknięć zmęczeniowych.

W badaniach korozji naprężeniowej stwierdzono, że czasy do pojawienia się pęknięć są niemal identyczne dla trzech rodzajów badanych materiałów, natomiast szybkości rozprzestrzenienia się pęknięcia i charakter jego przebiegu są różne.

W oparciu o przeprowadzone badania wykazano, że blacha trzywarstwowa platerowana dwustronnie stalą odporną na korozję o grubości warstwy 0,15±0,20 mm, może być stosowana jako materiał konstrukcyjny w miejsce drogiej blachy ze stali odpornej na korozję, gdyż zapewnia:

- odporność korozyjną nie niższą niż wykazuje materiał warstwy platerującej,
- twardość równą materiałowi platerowanemu,
- możliwość spawania i zgrzewania różnymi metodami,
- oszczędność stali odpornej na korozję do 80%.

NEW CORROSION-RESISTANT CONSTRUCTION MATERIALS OBTAINED BY EXPLOSIVE CLADDING

S u m m a r y

Comparative investigations of corrosion resistance of a thin trilaminar metal plate of the thickness 2-4 mm (corrosion resistant steel - carbon steel - corrosion resistant steel) obtained by explosive cladding with further hot rolling in order to attain suitable thickness and corrosion - resistant steel 08H18N10T and carbon steel St3 (GOST standard) have been presented in the paper.

The comparative investigations have been carried out by subjecting suitably prepared samples to the pitting corrosion, fatigue corrosion and stress corrosion.

It has been found that the pitting corrosion proceeds in a trilaminar material differently from the corrosion in the samples of homogenous material.

Furthermore, this process proceeds about 3 times quicker in carbon steel (St3) than in corrosion - resistant steel (08H18N10T).

In consequence of the tests carried out on flat samples with stress - concentrators in the conditions of the fatigue corrosion it has been found that trilaminar material shows higher corrosion resistance than corrosion - resistant steel and carbon steel.

It can be explained by suitable plastic working of bimetal and lower number of defects making notches that cause fatigue cracks.

It has been stated during investigations of the stress corrosion that times by which the cracks appear are almost identical for the three types of the material tested whereas the rates of the crack propagation and character of its course are different.

Basing oneself on the investigations carried out, it has been proved that trilaminar steel plate, clad on both sides with corrosion - resistant steel of the layer thickness 0,15-0,20 mm, can be used as a construction material instead of the expensive plate made of corrosion - resistant steel because it secures:

- corrosion resistance not lower than the one exhibited by the cladding layer material,
- press formability equal to the one of the clad material,
- possibility of welding and pressure welding in different ways,
- corrosion - resistant steel saving-up to 80%.