

**Общество с ограниченной ответственностью
«Волго-Биметалл»**

**кандидат технических наук по направлению
Материаловедение (Машиностроение)
Крашенинников Сергей Валерьевич**

РАСЧЕТ

**стоимости работ по наплавке коррозионно-стойкого слоя
реактора гидроочистки**

Волгоград 2010 г.

Введение

Наплавка применяется для получения биметалла из монометалла (как способ плакирования) или с целью придания особых свойств поверхности металла.

Однослойная наплавка выполняется при отсутствии требований к стойкости наплавленной поверхности к межкристаллитной коррозии (МКК).

Двухслойная наплавка осуществляется при наличии требований к наплавленной поверхности по стойкости к МКК и для биметалла с плакирующим слоем из сталей марок 10X17H13M3T, 10X17H13M2T, а также по требованию Заказчика.

Рассмотрим подробнее метод наплавки как способ получения биметалла. Этот способ применяется в основном (90%) при изготовлении реакторной аппаратуры. Весь цикл работы реактора (очистка нефти от серы и других примесей) происходит в агрессивной среде при большом давлении и высоких температурах, поэтому его внутренняя поверхность должна быть коррозионно-стойкая, а основной слой изготовлен из теплоустойчивой стали марок 12ХМ, 15ХМ, 10Х2М1А-А или (в большинстве случаев) импортных аналогов. Например: SA387Gr22Cl2 (Gr22- группа 22, Cl2 –класс 2) в основном это хромомолибденовые стали перлитного класса. Толщина стенки реактора зависит от режимов его работы: чем выше давление внутри реактора, тем она больше. Реактора такого типа изготавливаются из стали толщиной от 100 мм и выше.

Как показывает практика: для реакторов применяются биметаллы, полученные либо наплавкой, либо сваркой взрывом. Биметалл, полученный методом горячей прокатки, идет на изготовление реакторов, работающих в условиях низкого давления, температуры и менее агрессивной среды.

Если сроки изготовления реактора сжаты, то используют биметалл, изготовленный методом сварки взрывом отечественного или импортного производства. Поставку биметалла российского производства можно осуществить в течении 2-3 недель. Однако опыт показывает, что качество двухслойного листа, полученного сваркой взрывом, удовлетворяет не всех Заказчиков. Например, были случаи, когда при работе реактора, в результате действия знакопеременных

материалы с сайта volgobimetall.ru

ных нагрузок при высоких температурах, в отдельных местах наблюдались вздутия плакирующего слоя или его отслоение, что является явным признаком «дефектного» биметалла. При испытаниях на отрыв слоев качественного двухслойного листа (проводят при входном контроле совместно с металлографическими исследованиями) разрушение должно происходить на расстоянии 0,2-0,5 мм от зоны соединения по теплоустойчивой стали (т.е. прочность соединения выше ее прочности). Объясняется это наклепом приграничной области в результате соударения металлов. Если режимы сварки взрывом назначены неверно, образуются участки «схватывания» или участки со структурой литого металла. Разрушение в этом случае идет по границе слоев: в лучшем варианте - на стадии вальцовки или штамповки (необходим повторный ультразвуковой контроль после этих операций), а в худшем варианте - на стадии эксплуатации. Кроме того, причиной отслоения может являться неправильная термообработка, в результате которой образуются хрупкие, например, карбидные прослойки.

Второй вариант (когда сроки позволяют) - выполняют наплавку коррозионного слоя.

Целью данной работы является определение ориентировочной себестоимости наплавки 1 м² коррозионно-стойкого слоя на примере изготовления корпуса реактора гидроочистки по действующей технологии на одном из крупнейших машиностроительных предприятий России, а также сравнение ее со стоимостью изготовления 1 м² биметалла методом сварки взрывом.

1. Технологические особенности процесса наплавки

При наплавке коррозионно-стойкого слоя, обеспечивается высокое качество наплавленной поверхности, но сам процесс занимает длительный промежуток времени. Помимо корпусов и днищ, приходится наплавлять внутреннюю поверхность штуцеров, крышки люков, привалочную поверхность фланцев и другие детали, к поверхности которых предъявляются в основном требования к МКК или сероводородному коррозионному растрескиванию (СКР). Наплавка таких деталей осуществляется ручной дуговой сваркой покрытыми электродами или автоматической сваркой под флюсом проволочным электродом. Наплавка корпусов осуществляется автоматической сваркой под флюсом ленточным электродом. Ранее наплавка корпусов выполнялась проволокой, но этот метод больше не применяется из-за высокой его стоимости, слишком большой длительности и технологической сложности процесса. Поэтому перешли на ленту - более дешевый и производительный способ нанесения плакировки (именно корпусов), а остальные детали наплавляются ручной дуговой сваркой штучными (покрытыми) электродами (РДС) или автоматической наплавкой проволочным электродом под флюсом (АФПН). В принципе, наплавка, как способ получения плакировки с заданными по проекту свойствами стойкой к МКК и СКР, может осуществляться на любые стали. В качестве основы чаще используют теплоустойчивые стали (12ХМ, 15ХМ, 15Х5М, 10Х2М1А-А) и углеродистые стали (09Г2С, 16ГС, 20ЮЧ и др.).

Можно сделать следующие рекомендации по выполнению наплавочных работ, в зависимости от размеров деталей (таблица 1).

Таблица 1 – Способы наплавки

| № | Способ наплавки | Размеры деталей, мм |
|---|---|---------------------|
| 1 | Ручная электродуговая наплавка покрытыми электродами привалочной поверхности штуцеров, фланцев | Dy 100...200 |
| 2 | Ручная электродуговая наплавка покрытыми электродами решеток, крышек | Dy 100...250 |
| 3 | Автоматическая наплавка под флюсом проволочным электродом привалочной поверхности фланцев, штуцеров | Dy \geq 250 |

| | | |
|---|---|--------------------|
| 4 | Автоматическая наплавка под флюсом проволочным электродом крышек, решеток | $Dy \geq 250$ |
| 5 | Автоматическая наплавка под флюсом проволочным электродом диаметром 3 мм внутренней поверхности штуцеров, фланцев | $Dy 200 \dots 600$ |
| 6 | Автоматическая наплавка под флюсом проволочным электродом диаметром 4 мм внутренней поверхности штуцеров, фланцев | $Dy \geq 600$ |
| 7 | Автоматическая наплавка под флюсом ленточным электродом деталей и узлов | $Dy \geq 1000$ |

Наплавить внутреннюю поверхность детали диаметром менее 200 мм технологически очень сложно. Поэтому применяют либо готовый биметалл, либо метод гильзирования. В этом случае можно применить сварку взрывом, как способ плакирования цилиндрических деталей изнутри.

Поверхность деталей (узлов), подлежащих наплавке, должна быть зачищена механическим способом до металлического блеска, обезжирена или подвергнута дробеструйной обработке.

Толщина заготовок в месте наплавки должна быть не менее 60 мм!

Далее рассмотрим недостатки и преимущества наплавки лентой (другие способы слишком нецелесообразны с экономической точки зрения и длительности процесса).

Недостатки:

1. **Большая длительность процесса наплавки.** (Например, наплавка одной обечайки диаметром 4000 мм и высотой 2000 мм осуществляется в лучшем случае 2 суток (в 3 смены) одним слоем. Затем термообработка - примерно сутки, охлаждение - еще сутки. Далее наплавка второго слоя - 2 суток. Итого наплавка одной обечайки - 1 неделя работы в 3 смены.)
2. Обязательное для всех типов сталей **проведение после наплавки разделительного слоя термообработки** (промежуточный отпуск для снятия напряжений).
3. Практически у всех реакторов **наплавка осуществляется в два слоя** (разделительный+плакирующий), так как наплавленная поверхность должна быть стойкой к МКК,- соответственно двойные затраты.

4. Обязательно наличие **специального оборудования для наплавки**: при наплавке обечаек - наплавочная головка, при наплавке плоских листов - наличие манипулятора высокой грузоподъемности.
5. При наплавке обечаек из теплоустойчивых сталей необходимо изготавливать специальные (сложной конфигурации) **приспособления для предварительного и сопутствующего подогрева**. Например: при наплавке обечайка вращается на роликах, снизу в месте наплавки устанавливаются нагревательные элементы, которые должны обхватывать примерно 1/3 окружности обечайки (рис.1 и рис.2).
6. Как показывает практика, для качественной наплавки необходимо применять **импортные наплавочные материалы**, так как только они обеспечивают необходимое качество наплавки и удовлетворяют Заказчика (дороже отечественных в 3 раза).
7. На право выполнения наплавочных работ допускаются **только аттестованные сварщики**. Аттестация одного сварщика стоит примерно 6000 руб. удостоверение действует два года. Затем продление на 1 год – 3000 руб., затем еще на 1 год – 3000 руб. Итого: удостоверение на 4 года – примерно 12000 руб. (1 человек). Сумма зависит от того, на какие группы материалов, и на какие присадочные материалы происходит аттестация. Чем шире диапазон, тем дороже удостоверение.

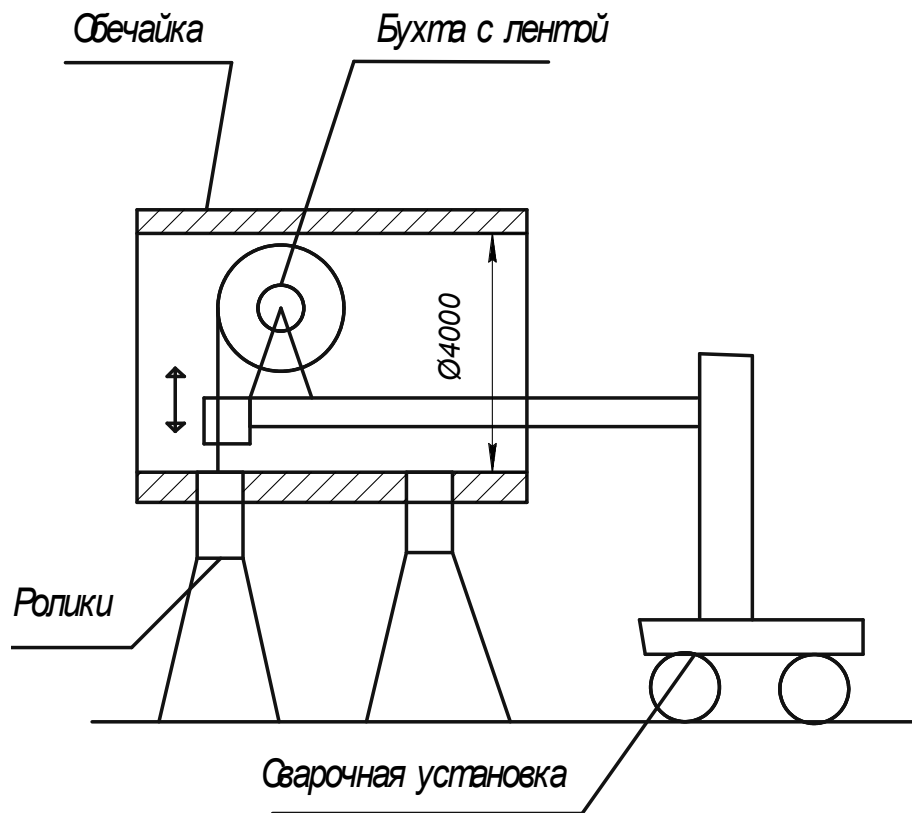


Рис.1 - Схема наплавки

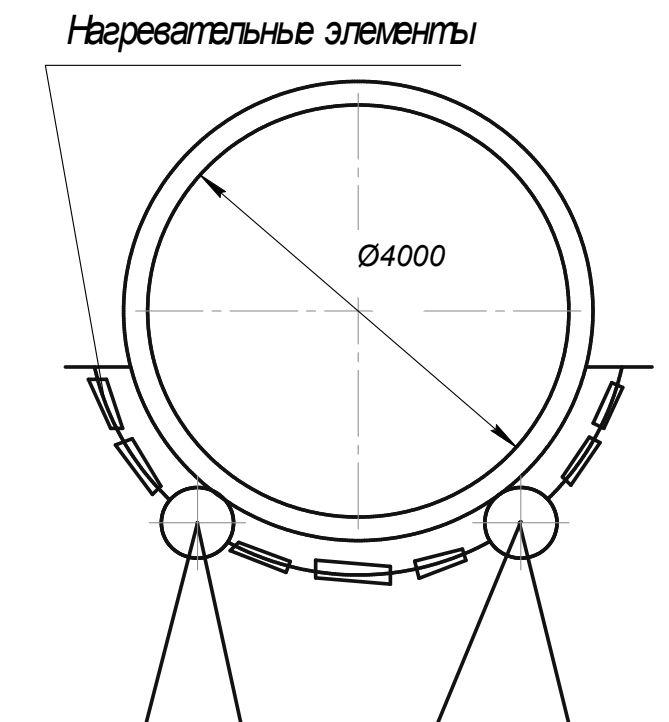


Рис.2 - Схема установки нагревательных элементов

Преимущества:

1. Биметалл, полученный наплавкой, **не имеет дефектов** типа «отслоений». Доля участия основного металла минимальна (перемешивания практически нет). Проникновение в основной металл всего 0,5...1 мм (при наплавке проволокой до 5 мм).
2. При наплавке лентой **перегрев основного металла минимален** (практически нет тепловых деформаций), поэтому лентой можно производить наплавку на металл толщиной от 40 мм.

2. Технологические операции

1. Перед наплавкой поверхность должна быть зачищена механическим способом до металлического блеска, обезжирена. После этого обечайка подается на место наплавки, где устанавливается на ролики.
2. Установка нагревательных тенов и подключение их к трансформатору, предварительный подогрев обечайки до температуры 200...250° С.
3. Наплавка разделительного слоя (с сопутствующим подогревом 200...250°С).
4. Термообработка по режиму промежуточного отпуска.
5. Контроль наплавленной поверхности методом УЗД (на отслоение), замер твердости $HV \leq 220$, цветная дефектоскопия.
6. Исправление дефектов ручной дуговой сваркой электродами.
7. Наплавка плакирующего слоя, без предварительного и сопутствующего подогрева. Температура наплавленного металла не должна превышать 100°С, чтобы не началось образование карбидов хрома. При наплавке ленточным электродом каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий на 15 мм (проволочным на 5-10 мм). Необходимо проводить тщательную очистку от шлака после каждого валика.
8. Контроль наплавленной поверхности: внешний осмотр, УЗД, цветная дефектоскопия, замер твердости $HV \leq 220$, стилоскопирование на Cr, Mo, Ni, Nb.

Термическую обработку деталей (узлов) из сталей 12ХМ, 15ХМ необходимо выполнить не позднее 72 часов после окончания наплавки разделительного слоя. Для сталей марок 15Х5М, 10Х2М1А-А термическую обработку выполнить непосредственно после наплавки, не допуская остывания детали ниже 200°С.

3. Расчет стоимости работ по наплавке при изготовлении реактора

Реактор гидроочистки: корпус-сталь листовая SA387Gr22C112 с наплавкой типа Tr347, толщина листа 180 мм; днище шаровое из лепестков – сталь листовая 12ХМ с наплавкой типа Tr347, толщина листа 125 мм. Длина корпуса - 12800 мм (7 обечаек). Наплавленный слой должен быть стойким к МКК по методу АМУ с провоцирующим нагревом.

Изготовление днищ.

Главной проблемой является то, как наплавить лепестки шаровых днищ. Так как штампованные лепестки наплавить невозможно, то вначале необходимо наплавить плоские листы, чтобы получить готовый биметалл, а затем делать его раскрой, вырезать плоские заготовки лепестков и штамповать их на прессе заданным радиусом гиба.

Наплавка листов для днищ происходит следующим способом. Три листа размером 125×1500×5000 соединяют друг с другом. Трудоемкость этой операции примерно 1274 норма/часов, выполняют ее 3 сборщика и 3 сварщика. Сборщики и сварщики IV или V разрядов с соответствующей тарифной ставкой, плюс 12% надбавка, так как работа связана с вредными условиями (подогрев).

Затем полученную конструкцию переворачивают и зачищают поверхность под наплавку. Зачистку ведут 3 человека III или IV разряда. Зачистка примерно 150 норма/часов. Далее эту конструкцию устанавливают на манипулятор для наплавки поверхности лентой. Так как наплавленный металл должен быть стойким к МКК, то наплавку необходимо вести в 2 слоя.

Вначале наплавляется разделительный слой с предварительным и сопутствующим подогревом 200-250°С. Наплавку ведут 2 сварщика V разряда в 3 смены. Тарифная ставка 5 разряда, плюс надбавка к тарифу 12 % за вредные

условия труда (подогрев). Норма на наплавку одним слоем 1186 н/часов. Затем эту конструкцию подают в печь на термообработку по режиму промежуточного отпуска. На ТО затрачивается примерно 5000 м³ природного газа. Стоимость 1 м³ природного газа – 3 руб. Затем листы остывают (24 часа), проводят контроль, и при необходимости исправление дефектов. Затем подают опять на манипулятор для наплавки второго слоя, но уже без подогрева. Наплавку ведут по 2 автосварщика V разряда в 3 смены. Норма на наплавку вторым слоем 700 н/часов. Далее конструкцию снимают с манипулятора и разбирают. Эту операцию повторяют 3 раза, так как на днища уходит 9 листов.

Изготовление обечаек.

Сначала листы вальцуют, заваривают замыкающий шов (основной слой) и подают на ролики для наплавки внутренней поверхности (рис.3).

Для того чтобы сократить количество перестановок обечайки собирают и заваривают (основной слой) в «спарки» по 3 штуки каждая. Эту «спарку» подают на ролики для наплавки. Так как длина «спарки» из 3 обечаек большая и вылет стрелы не позволяет наплавить все внутреннюю поверхность одним разом, то наплавку проводят до середины, а затем спарку разворачивают другой стороной и доплавляют оставшуюся часть.

Для уменьшения тепловложений всю наплавляемую поверхность разбирают на сектора по 600 мм (ширина нагревательного тена под корпусом) и наплавку ведут в разброс.

Обечайку наплавляют по 2 автосварщика V разряда в 3 смены. Тарифная ставка 5 разряда +12% надбавка за вредные условия труда (подогрев). Наплавка разделительного слоя с подогревом 200-250°С. Норма на наплавку 7 обечаек разделительным слоем 2300 н/часов. Зачистка перед наплавкой разделительного слоя 7 обечаек 20 н/часов.

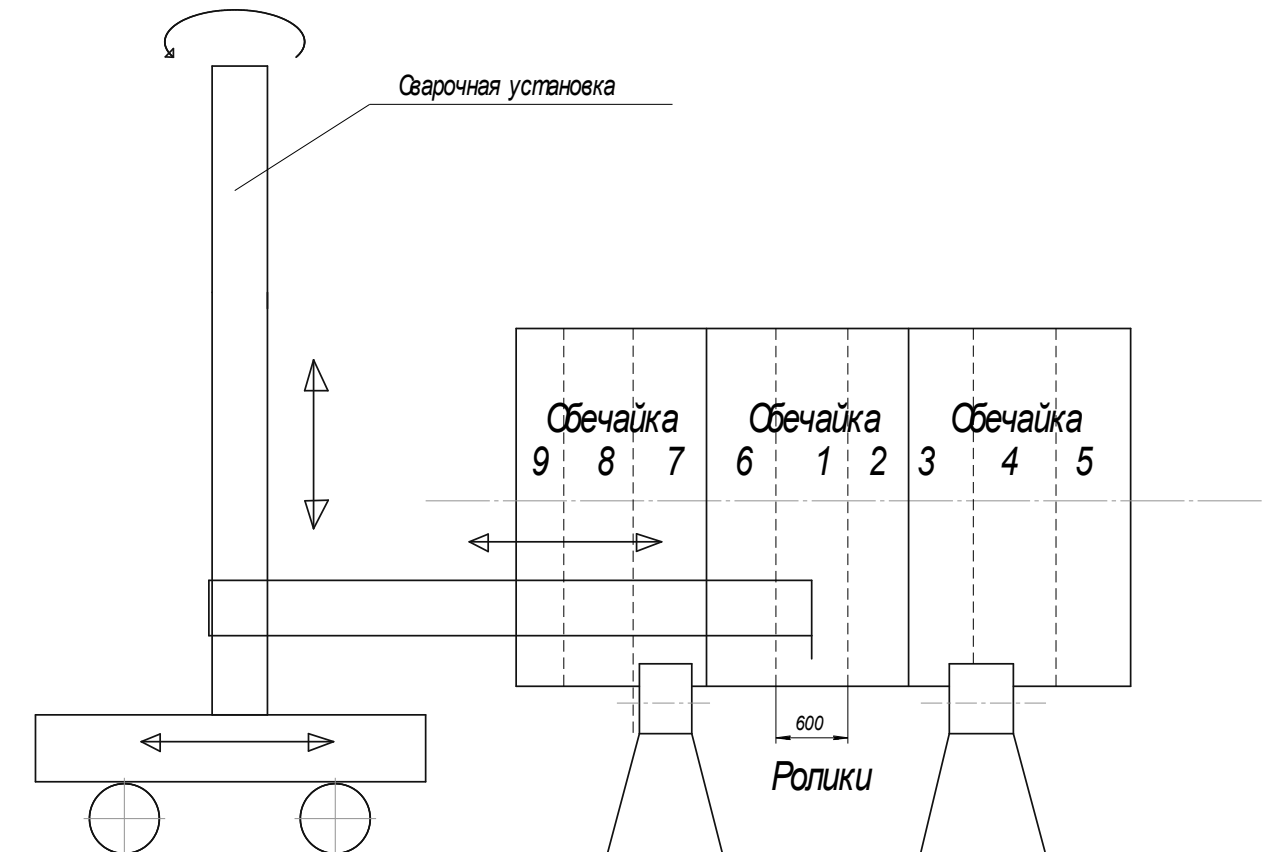


Рис.3 - Схема наплавки «спарки» из 3-х обечайек по секторам.

После наплавки обечайка или «спарка» из 3 обечайек подаются в печь на промежуточный отпуск. На 1 обечайку затрачивается примерно 2500 м³ природного газа, на «спарку» примерно 6000 м³. Стоимость 1 м³ природного газа – 3 руб. после печки обечайка остывает (24 часа), проводится контроль наплавленной поверхности, если нужно, исправление дефектов. Затем обечайка подается на ролики для наплавки второго слоя. Наплавку ведут по 2 автосварщика V разряда в 3 смены. Норма на наплавку 7 обечайек вторым слоем 1700 н/часов. После наплавки проводят контроль наплавленной поверхности, если необходимо - исправление дефектов.

При наплавке обечайек торцы не доплавливают с обеих сторон на величину 150 мм (рис.4), чтобы после сварки основного слоя была возможность изнутри провести воздушно-дуговую строжку корня шва (удаление подварного шва), после РВД проводят сварку основного слоя изнутри и доплавливают недоплавленные ранее участки, но уже сварочной проволокой (рис.5).

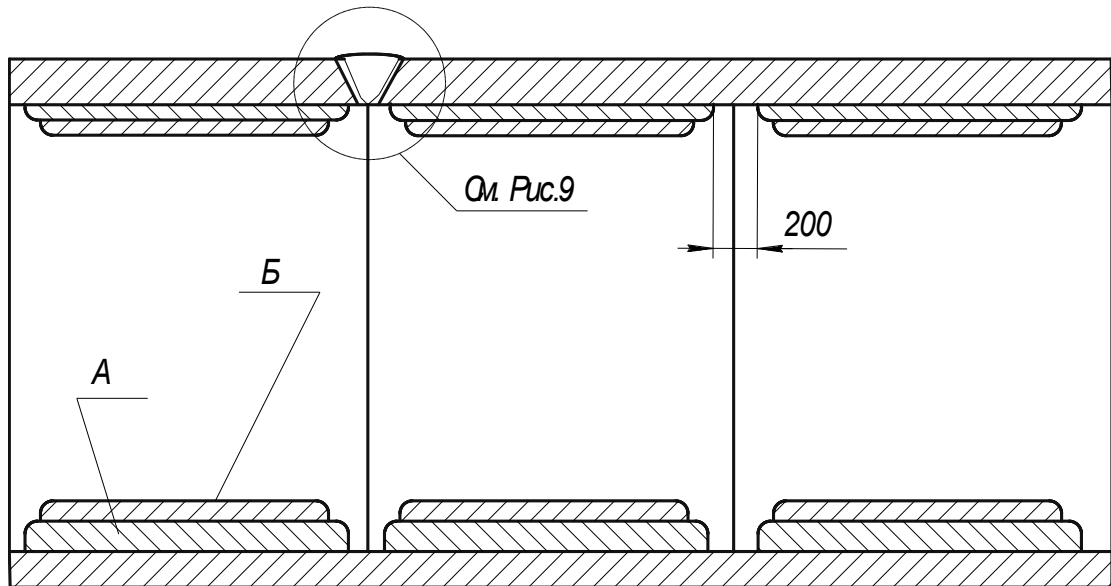


Рис.4 - Наплавленная «спарка» из 3 обечаек с недоплавленными участками (А - разделительный слой, Б- коррозионно-стойки слой).

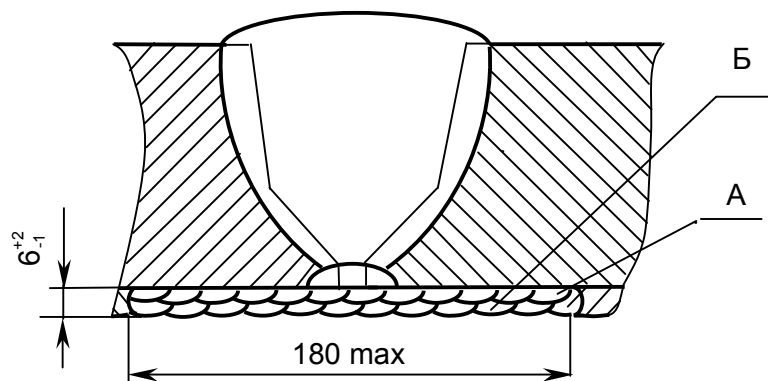


Рис. 5 – Наплавка коррозионностойкого слоя в зоне кольцевого стыка (А-разделительный слой, Б-коррозионно-стойки слой).

Наплавка плоских днищ проходит следующим образом. На плоское днище устанавливается кольцо и ребра для придания жесткости.

Наплавка плоских днищ проводится на манипуляторе, по той же схеме, что и обечайки, после наплавки плоские днища штампуются.

Недостатком наплавки плоских заготовок, является наличие недоплавленных участков (рис.6). Это происходит из-за невозможности подобрать скорость вращения, совпадающую со скоростью сварки в центре заготовки.

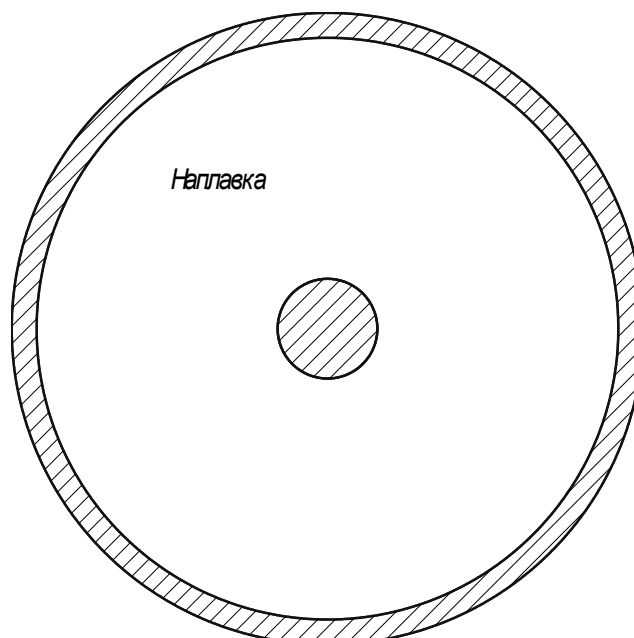


Рис.6 - Недоплавленный участок плоского днища.

Недоплавленный участок в центре наплавляется ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Расчет стоимости наплавки 1м² корпуса.

1. Затраты на сварочные материалы Z_M .

Таблица 2 – Расчет стоимости сварочных материалов

| Сварочный материал | Цена за кг | Расход | Итого |
|---|------------|----------|------------------------|
| 1. Лента для разделительного слоя Soundotape 309L | 1277 руб. | 5100 кг | 6 512 700 руб. |
| 2. Лента для коррозионно-стойкого слоя Soundotape 347 | 1250 руб. | 5100 кг | 6 375 000 руб. |
| 3. Флюс RECORD INT 109 | 280 руб. | 13260 кг | 3 712 800 руб. |
| Всего затрат на сварочные материалы: | | | 16 600 500 руб. |

2. Затраты на наплавку.

- 2.1.1 Разделительного слоя (7 обечаек):

$$Z_{1.1} = H * T = 2300 * (45 + 12\%) = 2300 * 50 = 115000 \text{ руб.},$$

где Н-норма, Т-тариф.

- 2.1.2. На зачистку перед наплавкой разделительного слоя:

$$Z_{1.2} = H * T = 20 * 45 = 1000 \text{ руб.}$$

2.1.3. Затраты на термообработку:

$$З_{1,3} = Ц * P = 6000 * 3 = 18000 \text{ руб.},$$

где Ц – цена 1 м³ природного газа, P – расход газа на термообработку

Итого затраты на наплавку разделительного слоя:

$$З_p = З_{1,1} + З_{1,2} + З_{1,3} = 115000 + 1000 + 18000 = 134000 \text{ руб.}$$

2.2.1. Затраты на наплавку коррозионно-стойкого слоя (7 обечаек):

$$З_{2,1} = H * T = 1700 * (45 + 12\%) = 2300 * 50 = 85000 \text{ руб.}$$

2.2.2. На зачистку перед наплавкой коррозионно-стойкого слоя:

$$З_{2,2} = H * T = 20 * 45 = 1000 \text{ руб.}$$

Итого наплавка коррозионно-стойкого слоя:

$$З_k = З_{2,1} + З_{2,2} = 85000 + 1000 = 86\ 000 \text{ р.}$$

Итого общие затраты на наплавку корпуса:

$$З = З_m + З_p + З_k = 16\ 820\ 500 \text{ руб.},$$

где З_p – затраты на разделительный слой, З_k – затраты на коррозионно-стойкий слой, З_m – затраты на сварочные материалы.

Общая площадь наплавленного металла:

$$S = 3,14 * D * L = 3,14 * 4 * 12,8 = 161 \text{ м}^2,$$

где D – диаметр корпуса (м), L – длина корпуса (7 обечаек) (м).

Стоимость 1 м²: $C = 16\ 820\ 500 / 161 = 104\ 475 \text{ руб/м}^2$.

Приведены только основные затраты без учета стоимости потребляемой электроэнергии, амортизации оборудования, затрат на контрольные операции, а также на исправление дефектов, аттестацию персонала и т. д.

Выводы:

1) Ориентировочная стоимость двухслойной наплавки 1 м² исходя из учета затрат на наплавочные материалы, подготовку поверхности, термическую обработку и оплату труда составляет 104 475 руб. Производительность 20 м² в неделю.

2) При изготовлении такого биметалла сваркой взрывом стоимость 1 м² с учетом всех затрат (материал плакирующего слоя, транспортные расходы, сварка взрывом, термообработка и правка) составит 38 200 руб. Производи-

тельность 70 м² в неделю. Таким образом, экономия средств по сравнению с наплавкой может составлять десятки миллионов рублей.

Заключение

К сожалению, некоторые предприятия, производящие биметалл с использованием энергии взрыва, из-за отсутствия квалифицированных специалистов, а также недостатка знаний и практики в этой области, выпускают некачественную продукцию, вводя в заблуждение Заказчика. При этом формируется негативное мнение о самой сварке взрывом, поскольку «заложенные» в биметалл дефекты обязательно проявляются либо на стадии изготовления аппарата, либо при его эксплуатации.

Теоретически свойства биметалла, полученного сваркой взрывом, не могут быть ниже, а в некоторых случаях должны значительно превосходить характеристики биметалла, полученного наплавкой.

Для того чтобы реализовать это на практике, необходимо не только в совершенстве разбираться в технологии сварки взрывом, но и все вопросы, связанные с изготовлением сосудов и аппаратов из двухслойного листа, начиная от раскроя и заканчивая термической обработкой готового изделия, решать в комплексе, учитывая особенности структуры металла «унаследованной» от взрывного нагружения.