

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 13.11.2024 11:23:29
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851f0a561089

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
"15" 03 2021 г.



**Определение характеристик наплавленного слоя при
автоматизированной электродуговой наплавке**

Методические указания
для студентов направления подготовки 15.03.01; 15.04.01 Машиностроение

Курск 2021

УДК 621.31

Составитель: Е.И.Яцун

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Гречухин А.Н.

Определение характеристик наплавленного слоя при автоматизированной электродуговой наплавке: методические указания для студентов направления подготовки 15.03.01; 15.04.01 Машиностроение / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Е.И.Яцун. – Курск, 2021. – 14 с: ил. 5, табл. 4. – Библиогр. 5: с. 14.

Содержат сведения о выборе параметров наплавки, которые должны снизить вероятность появления дефектов.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВПО по направлению подготовки 15.03.01; 15.04.01 Машиностроение.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л.. Уч.–изд.л . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|---|------|
| Цель работы. | 4 |
| 1 Определение размеров наплавленного слоя | 4 |
| 2 Расчет погрешности при наплавке | 6 |
| 3 Расчет тепловых параметров при наплавке | 7 |
| 4 Порядок выполнения работы | 11 |
| 5 Варианты индивидуальных заданий | 12 |
| Контрольные вопросы | |
| Библиографический список | |

Цель работы. Получение студентами практических навыков подбора параметров наплавки, которые должны снизить вероятность появления дефектов, обеспечить минимальный размер погрешности при наплавке, а также оценки влияния режимов на качество наплавленного слоя.

1 Определение размеров наплавленного слоя

В процессе наплавки электрическая дуга, перемещаясь по поверхности обрабатываемой заготовки, образует своеобразную подвижную сварочную ванну (рис. 1.1), во фронтальной части которой происходит плавление основного металла 1 и наплавочной проволоки 2, а в хвостовой части - кристаллизация металла. При электродуговой наплавке по мере передвижения дуги и сопутствующей ей ванны осуществляется непрерывное формирование наплавочного валика 3.

Геометрические размеры сварочной ванны характеризуются следующими параметрами, мм (рис. 1.1): L - длина ванны; B - ширина ванны; H - глубина проплавления; h - толщина наплавленного слоя.

Рост кристаллитов в сварном шве происходит по нормали к фронту кристаллизации, т.е. к изотермической поверхности кристаллизации (рис. 1.2), соответствующей температуре плавления $T_{пл}$. Поскольку при наплавке сварочная ванна постоянно перемещается, ось растущего кристаллита X_0 формируется по оси шва X .

Для физических точных расчетов принято использовать математическое описание изотермических поверхностей и объема кристаллизации [5]. Тем не менее для инженерных расчетов можно использовать упрощенную методику, при которой объем наплавленного слоя можно оценивать, исходя из того, что наплавляемый слой представляет собой трехосный эллипсоид с полуосями L , R , и высотой H , которая равная половине глубины ее проплавления (рис. 1.2).

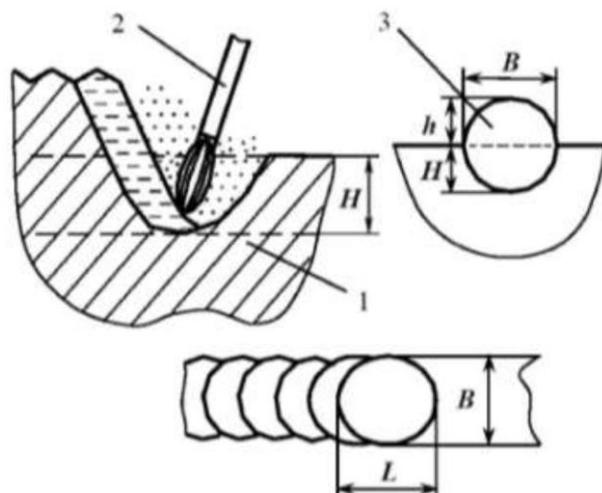


Рис. 1.1. Общий вид сварочной ванны и наплавляемого слоя:
1 - деталь; 2 - наплавляемая проволока; 3 - наплавочный валик

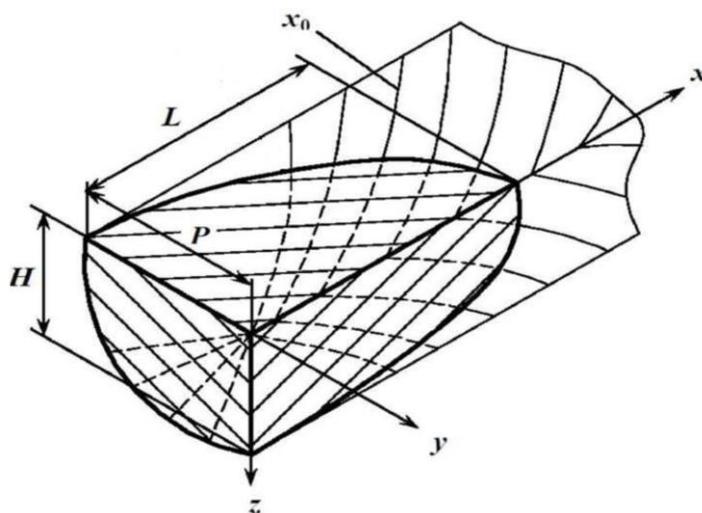


Рис. 1.2. Образование кристаллитов в сварочной ванне эллипсоидного вида
(при $P = H$)

Так как процесс наплавки представляется в виде расчетной схемы, содержащей быстро движущийся по поверхности точечный источник ($z = 0$), то можно допустить, что в поперечном сечении эллипсоида размер P будет равен размеру H .

В таком случае поперечное сечение сварочной ванны будет иметь форму круга, а оси кристаллитов - пространственными кривыми. При этом изменение силы тока электрической дуги будет влиять на размеры сварочной ванны с учетом габаритных размеров свариваемых деталей [18].

При расчете по упрощенной методике объем сварочной ванны V_B рассчитывается:

$$V_B = H \cdot L \cdot B = H^2 \cdot L, \quad (1.1)$$

где H - ширина сварочной ванны, L - длина сварочной ванны, B - глубина сварочной ванны.

Глубина сварочной ванны рассчитывается по зависимости:

$$H = K_c \frac{I \cdot U}{V_{CB} \cdot S_d}. \quad (1.2)$$

Длину сварочной ванны рассчитаем, используя выражение:

$$L = K_c \frac{(I \cdot U)^2}{V_{CB} \cdot S_d^2}, \quad (1.3)$$

V_{CB} - скорость сварки, м/с; S_d - толщина свариваемого металла, мм; U - напряжение на дуге, В; I - сила тока, А; K_c - коэффициент, зависящий от рода тока, полярности, диаметра электрода, степени сжатия дуги и т.д.

2 Расчет погрешности при наплавке

Колебания толщины наплавляемого слоя материала, возникающие из-за нестабильности процесса наплавки и неправильной подготовки к ней заготовки, сказываются на работоспособности деталей, вызывают перерасход наплавочных материалов и т.д.

Закон изменения толщины наплавляемого слоя от угла поворота α цилиндрической заготовки h (а) можно определить, используя выражение:

$$h(\alpha) = h_0 + \omega_y (1 - \cos \alpha) + \sqrt{\left(\frac{D^2}{4} - \omega_y \cdot \sin^2 \alpha - \frac{D}{2} \right)}, \quad (1.4)$$

где h_0 (Н) - толщина наплавленного слоя при $\alpha = 0$ (определяем по формуле (1.2), мм; ω_y - погрешность установки заготовки в центрах, мм; D - диаметр наплавленной заготовки, мм (рис. 1.3).

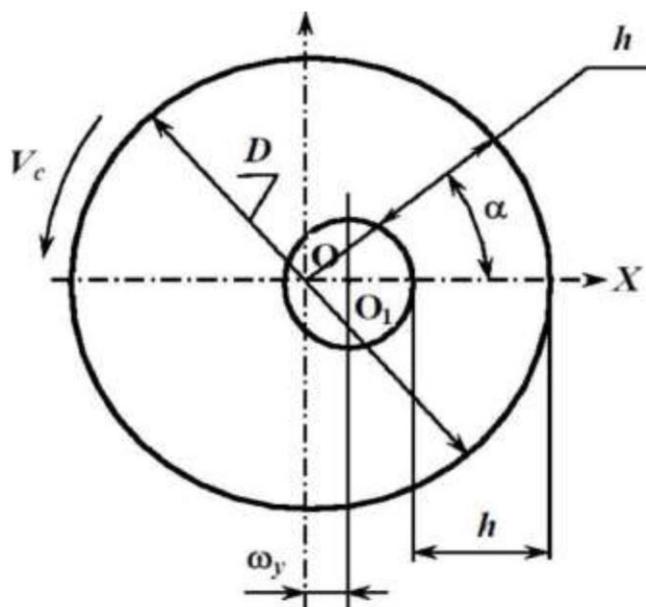


Рис. 1.3. Схема изменения высоты наплавленного слоя h в зависимости от угла поворота заготовки α

С учетом погрешности по длине наплавляемого участка зависимость (1.4) можно записать в следующем виде:

$$h(\alpha, \theta) = h(\alpha) + L_H \cdot \operatorname{tg} \theta, \quad (1.5)$$

где L_H - длина наплавки, мм; θ - угол между осями направляющих наплавочного автомата и осью центров, град.

Тогда погрешность наплавки ω_H можно рассчитать по формуле:

$$\omega_H = h(\alpha, \theta) - h_0. \quad (1.6)$$

Отметим, что с увеличением количества наплавляемых слоев погрешность наплавки уменьшается.

3 Расчет тепловых параметров при наплавке

Термический цикл при наплавке можно охарактеризовать с применением следующих показателей: максимальная температура T_m , скорость охлаждения, а также длительность t_n пребывания металла выше заданной температуры T (рис. 1.4).

Для электродуговой наплавки скорость охлаждения и длительность пребывания металла выше заданной температуры рассчитывают по зависимостям [2]:

$$V_0 = 2\pi \cdot \lambda(T - T_0 \cdot V_c) / q, \quad (1.7)$$

$$t_n = \frac{2K_n \cdot q}{V_c \cdot \lambda(T_M - T)}, \quad (1.8)$$

где T_0 - начальная температура заготовки перед наплавкой, °C; V_c - скорость сварки, м/с; T - заданная температура (принимается в диапазоне 500-600°C; q - эффективная тепловая мощность сварочного источника, Дж/с; K_n - коэффициент, определяемый по номограммам (рис. 1.5, а, б).

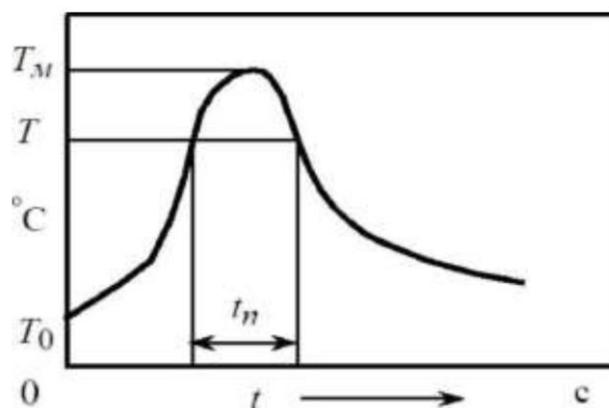


Рис. 1.4. Термические процессы при электродуговой наплавке

Максимальную температуру нагрева T_M обычно принимают близкой к температуре начала плавления выбранного материала (для сталей $T_M = 1325^\circ\text{C}$).

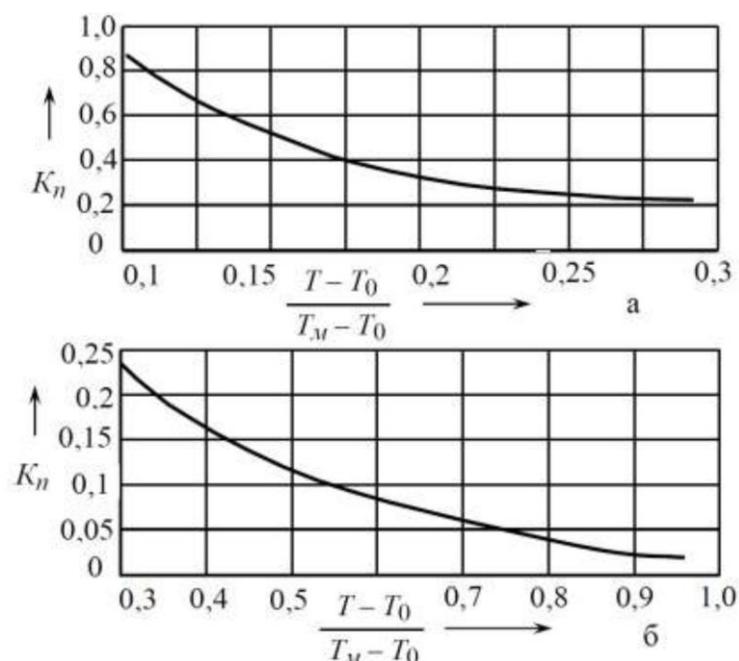


Рис. 1.5. Номограммы для определения K_p в формуле (1.8): а - при $K_p > 0,2$; б - при $K_p < 0,2$

Отметим, что при превышении в процессе наплавки температуры T_m может произойти рост зерен аустенита, что при фазовых превращениях увеличит окончательный размер перлитных зерен, следствием которого будет ухудшение механических свойств структуры металла [3].

С другой стороны, повышение скорости охлаждения выше V_0 для низкоуглеродистых сталей приведет как к повышению твердости наплавленного слоя вследствие закалки, а значит, к уменьшению его пластических свойств, так и к снижению несущей способности соединения при ударных нагрузках.

Кроме того, при расчетах не стоит забывать о возможных дефектах, возникающих в наплавленном слое, среди которых трещины являются самым опасным дефектом, приводящим к снижению эксплуатационных свойств наплавленного слоя [4].

Отметим, что трещины могут возникать как при наплавке на основной материал с неудовлетворительной свариваемостью при высокой твердости наплавленного слоя, что связано с малой пластичностью металла в

температурном интервале хрупкости (горячие трещины), так и при появлении напряжений, вызванных фазовыми превращениями при остывании (холодные трещины).

Вероятность возникновения трещин при наплавке определяется химическим составом основного и наплавочного материала, жесткостью наплавляемой конструкции, режимом наплавки и тесно связана с формированием первичной структуры и скоростью охлаждения [1].

Также следует иметь в виду, что различные коэффициенты термического расширения основного металла и наплавляемого слоя могут многократно повысить вероятность появления трещин.

Для определения склонности металла к появлению холодных трещин необходимо использовать следующую методику [5].

1. Производится расчет углеродного эквивалента. Углеродный эквивалент $C_э$ для исследуемого материала можно рассчитать по следующей зависимости:

$$C_э = C + 1/6Mn + 1/24Si + 1/40Ni + 1/5Cr + 1/4Mo + 1/14Nb, \quad (1.9)$$

где C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, Nb - содержание химических элементов в %.

Если $C_э > 0,45\%$, то в выбранном материале повышается вероятность образования закалочных структур, которые в свою очередь могут привести к образованию холодных трещин.

2. Поэтому, определив $C_э$, далее определяем возможную максимальную твердость наплавленного слоя HV по зависимости:

$$HV = (660 C_э + 60). \quad (1.10)$$

Далее, используя значение HV , рассчитываем требуемую температуру подогрева наплавляемого металла T_0 (табл. 1.1).

Таблица 1.1 Расчетная температура подогрева зоны наплавки

| HV | <200 | 200-250 | 250-325 | >325 |
|-------|---------------|---------|---------|------|
| T_0 | Без подогрева | 100-150 | 150-250 | 250 |

Таблица 1.2 Режимы наплавки цилиндрических деталей под слоем флюса

| Диаметр детали, мм | Сила тока, А, при диаметре электродной проволоки, мм | | Напряжение, В | Скорость наплавки, м/ч | Скорость подачи электрода, м/ч | Шаг наплавки, мм/об |
|--------------------|--|-----------|---------------|------------------------|--------------------------------|---------------------|
| | 1,2 — 1,6 | 2 — 2,5 | | | | |
| 50 — 60 | 120 — 140 | 140 — 160 | 26 — 28 | 16 — 24 | 77 | 3 |
| 65 — 75 | 150 — 220 | 180 — 220 | 26 — 28 | 16 — 28 | 17 | 3,5 — 4 |
| 80 — 100 | 180 — 200 | 230 — 280 | 28 — 30 | 16 — 30 | 104 | 4 |
| 150 — 200 | 230 — 250 | 300 — 350 | 30 — 32 | 16 — 32 | 140 | 5 |
| 250 — 300 | 270 — 300 | 350 — 380 | 30 — 32 | 16 — 35 | 200 | 6 |

Таблица 1.3 Режимы наплавки под слоем флюса плоских поверхностей

| Износ поверхности, мм | Диаметр электродной проволоки, мм | Сила тока, А | Напряжение, В | Скорость наплавки, м/ч | Скорость подачи электрода, м/ч |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|------------------------|--------------------------------|
| 2 — 3 | 1,6 — 2 | 160 — 220 | 30 — 32 | 20 — 25 | 100 — 125 |
| 2 — 4 | 1,6 — 2 | 320 — 250 | 32 — 34 | 25 | 150 — 200 |
| 4 — 5 | 2 — 3 | 350 — 460 | 32 — 34 | 20 — 25 | 180 — 210 |
| 5 — 6 | 4 — 5 | 650 — 750 | 34 — 36 | 25 — 30 | 200 — 250 |

4 Порядок выполнения работы

1. Студент изучает предоставленный материал, после чего получает вариант задания согласно табл. 1.2.

2. В соответствии с выданным заданием определяются параметры термического цикла наплавки (T_m , V_0 , t_n), используя формулы (1.7)-(1.8).

3. Определяются параметры подогрева зоны наплавки. Табл. 3

ГОСТ 33258-2015 Арматура трубопроводная. Наплавка...docs.cntd.ru/document/1200122472

4. Производится расчет и корректировка режимов наплавки (при превышении V_0).

5. Рассчитываются геометрические размеры сварочной ванны и наплавленного слоя.

6. Производится расчет погрешности наплавки.

7. Строятся зависимости $h(a, Q) = f(/ \text{ или } Vc)$.

8. Формулируется вывод о выявленной при расчете взаимосвязи выходных и входных параметров при исследовании процесса наплавки.

5 Варианты индивидуальных заданий

| Вариант | I, A | u, B | $V, м/мин$ |
|---------|--------|--------|------------|
| 1 | 200 | 12 | 0,5 |
| 2 | 200 | 8 | 1 |
| 3 | 200 | 12 | 1,5 |
| 4 | 250 | 8 | 0,5 |
| 5 | 250 | 12 | 1 |
| 6 | 250 | 8 | 1,5 |
| 7 | 300 | 12 | 0,5 |
| 8 | 300 | 8 | 1 |
| 9 | 300 | 12 | 1,5 |
| 10 | 350 | 8 | 0,5 |
| 11 | 350 | 12 | 1 |
| 12 | 350 | 8 | 1,5 |
| 13 | 250 | 10 | 1,5 |
| 14 | 200 | 8 | 3 |
| 15 | 300 | 12 | 3 |
| 16 | 250 | 6 | 0,5 |
| 17 | 200 | 10 | 1,5 |
| 18 | 300 | 8 | 0,5 |
| 19 | 250 | 12 | 3 |
| 20 | 300 | 6 | 1 |
| 21 | 350 | 10 | 1,5 |
| 22 | 300 | 12 | 3 |
| 23 | 250 | 10 | 1,5 |

Заключение

В заключении отметим, что в 90% случаев именно неправильный подбор режимов и их несоблюдение являются главными причинами возникновения дефектов.

Так, дефекты в виде шлаковых включений, излишней деформации изделия или несплавлений вызываются неправильно назначенными режимами наплавки. Также и нарушения режимов, такие как загрязнение

наплавочных материалов, их повышенная влажность, не-соблюдение длины дуги или нарушение защиты, могут приводить к возникновению в наплавляемом шве дефектов в виде пор и трещин.

Контрольные вопросы - тест

1. При наплавке угольным электродом высота слоя порошкообразного твердого сплава должна быть больше, чем необходимая толщина наплавки в:

- 1) 0,5—1,0 раз; 3) 2,5-3 раза;
- 2) 1,5-2 раза; 4) 3,5-4 раза.

3. ГОСТ 10051-75 устанавливает определенное количество типов покрытых металлических электродов для наплавки поверхностей с

различными свойствами:

- 1) 4 типа; 3) 44 типа;
- 2) 24 типа; 4) 144 типа.

4. Основной особенностью наплавки является обеспечение незначительного перемешивания наплавляемого слоя с основным металлом за счет:

- 1) уменьшения глубины проплавления;
- 2) увеличения скорости сварки;
- 3) уменьшения скорости сварки;
- 4) предварительного подогрева.

5. При увеличении диаметра электрода глубина проплавления:

- 1) уменьшается; 3) не изменяется;
- 2) увеличивается; 4) равна нулю.

6. При увеличении диаметра электрода ширина наплавленного валика:

- 1) уменьшается;
- 3) не изменяется;
- 2) увеличивается;
- 4) равна нулю.

7. Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять:

- 1) 1-2 А/мм²; 3) 11-12 А/мм²;
- 2) 3-5 А/мм²; 4) 100-120 А/мм².

8. С целью уменьшения склонности наплавленного металла к образованию трещин производят предварительный подогрев обрабатываемой детали до температуры:

- 1) 100-200°С; 3) 300-600°С;
- 2) 200-250°С; 4) 700-750°С.

9. Для предотвращения образования трещин обрабатываемые детали подогревают перед наплавкой до температуры:

- 1) 100-200°С; 3) 300-600°С;
- 2) 200-250°С; 4) 700-750°С.

10. Хромоникелевые аустенитные стали наплавляют:

- 1) без подогрева;
- 2) с подогревом;
- 3) с подогревом до 1000 оС;
- 4) их не наплавляют.

Библиографический список

- 1. Рогачев А. В., Сидорский С. С. Восстановление и повышение износостойкости деталей машин: Учеб. пособие. - Гомель: УО «БелГУТ», 2014. - 343 с.
- 2. Витязь П.А. Основы нанесения износостойких и теплозащитных покрытий/ П.А. Витязь, А.Ф. Ильющенко, А.И. Шевцов. - Мн.:Бел.Наука, 2013. - 363 с.
- 3. Ивашко В.С. Прогрессивные технологии при ремонте машин, восстановлении и упрочнении деталей. - Минск: Тонпик, 2006. - 284 с.

4. <http://forum.ustroistvo-avtomobilya.ru/viewtopic.php?f=45&t=381>/Восстановление деталей машин. Черноиванов В.И., Голубев И.Г. Учебное пособие. Формат: PDF.- 375 с.
5. ГОСТ 33258-2015 Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавленных поверхностей