

## МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТОЙ МЕТАЛЛА

В. Д. КАССОВ, канд. техн. наук (Донбас. гос. машиностроит. акад., г. Краматорск)

Рассмотрены условия дуговой наплавки лентой, при которых обеспечиваются минимальные отходы наплавленного металла в результате последующей механической обработки.

*Ключевые слова:* наплавка, механическая обработка, минимальные отходы, параметры валика, порошковая лента

Одним из основных условий оптимального технологического процесса дуговой наплавки порошковой лентой является выбор геометрии наплавки, при которой получают минимум отходов при последующей механической обработке.

Цель настоящей работы — найти условия, при которых отходы наплавленного металла после чистой проточки наплавленного тела будут минимальными (а значит, площадь сечения усиления валика после проточки должна быть максимальной). Из макрошлифов валиков, наплавленных порошковой лентой, видно, что форму сечения усиления наплавленного валика можно принять в виде прямоугольника, скругленного дугой окружности радиусом  $h_1$  (высота усиления валика) (рис. 1), а форму сечения проплавления основного металла — в виде параболы, построенной по уравнению

$$y = \frac{4h_2}{b^2} x^2 - h_2,$$

где  $h_2$  — глубина проплавления;  $b$  — ширина наплавленного валика.

Найдем длину отрезка  $MC$ , который и будет составлять толщину наплавленного слоя после проточки. Обозначим  $H/2 - (b/2 - h_1)$  через  $\omega h_1$ . Тогда коэффициент

$$\omega = \frac{H - b + 2h_1}{2h_1}, \quad (1)$$

где  $H$  — шаг наплавки.

Имеем

$$MC = \sqrt{h_1^2 - (\omega h_1)^2} = h_1 \sqrt{1 - \omega^2}. \quad (2)$$

Обозначим относительный шаг наплавки  $H/b$  через  $\alpha$ , а величину  $h_1/b$  через  $p$ . Тогда коэффициент  $\omega$  можно выразить через  $\alpha$  и  $p$  следующим образом:

$$\omega = \frac{b}{2h_1} \left( \frac{H}{b} - 1 + 2 \frac{h_1}{b} \right) = \frac{\alpha + 2p - 1}{2p}, \quad (3)$$

**Кассов Валерий Дмитриевич** — докторант ПГТУ, доцент кафедры сварочного производства Донбас. гос. машиностроит. академии.

© В. Д. Кассов, 2001

а площадь усиления валика после проточки будет равна

$$F_M = 2F_{OPMC} = Hh_1 \sqrt{1 - \omega^2} = h_1 b \alpha \sqrt{1 - \omega^2} = b^2 p \alpha \sqrt{1 - \omega^2}. \quad (4)$$

Если проточку наплавленного валика не выполнять, то, как следует из рис. 1 и формулы (4), площадь усиления валика будет максимальной при  $\omega = 0$  и равной  $b^2 p \alpha$ . Из (3) следует, что

$$\alpha = 1 - 2p, \quad (5)$$

а площадь усиления наплавленного валика составляет

$$F_M = b^2 p (1 - 2p). \quad (6)$$

Для исследования на максимум функции (6) найдем ее производную по  $p$  и приравняв ее нулю, получим

$$(p - 2p^2)' = 1 - 4p = 0; \quad p = 0,25.$$

Таким образом, если проточку наплавленного валика не выполнять, то наплавку порошковой лентой необходимо вести на режимах, обеспечивающих  $p = h_1/b = 0,25$ . При этом  $\alpha = 0,5$ .

На практике значение  $p = 0,25$  обычно не достигается. Но если не выполнять проточку наплавленного валика, то наплавку рекомендуется вести и в этом случае с относительным шагом  $\alpha$ , значения которого выбираем по формуле (5).

Для получения максимальной площади сечения усиления валика после чистой проточки (в случае, если механическая обработка производится) исследуем функцию (4) на максимум по переменной величине  $\alpha$ . Для этого найдем ее производную с учетом того, что параметр  $\omega$  также является функцией  $\alpha$ , тогда

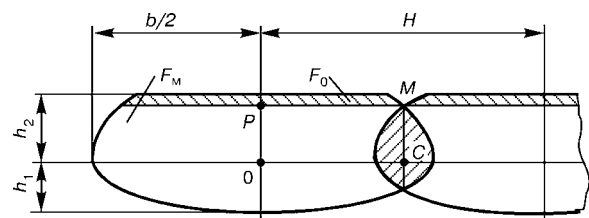


Рис. 1. К расчету параметров валика, наплавленного порошковой лентой (см. обозначения в тексте)

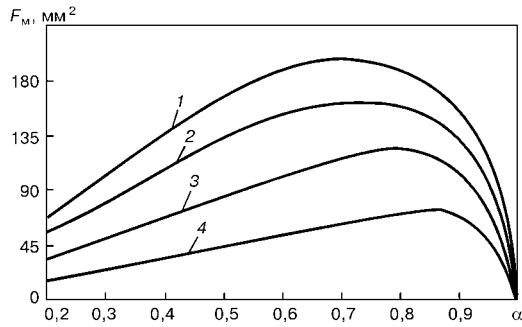


Рис. 2. Зависимость площади  $F_M$  от  $\alpha$  и  $p$  при  $b = 30$  мм: 1 —  $p = 0,4$ ; 2 —  $0,3$ ; 3 —  $0,90$ ; 4 —  $0,1$

$$\begin{aligned} (\alpha \sqrt{1-\omega^2})' &= \sqrt{1-\omega^2} + \alpha (\sqrt{1-\omega^2})' = \\ &= \sqrt{1-\omega^2} + \frac{\alpha}{2\sqrt{1-\omega^2}} (-2\omega) \omega' = \\ &= \sqrt{1-\omega^2} - \frac{\alpha\omega\omega'}{\sqrt{1-\omega^2}} = \frac{1-\omega^2-\alpha\omega\omega'}{\sqrt{1-\omega^2}}. \end{aligned}$$

В итоге получим уравнение

$$1 - \omega^2 - \alpha\omega\omega' = 0.$$

Подставив вместо  $\omega$  выражение (3), имеем

$$1 - \left(\frac{\alpha + 2p - 1}{2p}\right)^2 - \alpha \frac{\alpha + 2p - 1}{2p} \frac{1}{2p} = 0.$$

После преобразования этого выражения получим квадратное уравнение

$$2\alpha^2 + (6p - 3)\alpha + (1 - 4p) = 0,$$

решив которое, найдем

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{-(6p - 3) \pm \sqrt{(6p - 3)^2 - 4 \cdot 2(1 - 4p)}}{4} = \\ &= \frac{3 - 6p \pm \sqrt{36p^2 - 4p + 1}}{4}. \end{aligned}$$

Анализ данного решения показал, что необходимо взять больший корень. Тогда оптимальное значение относительного шага наплавки будет составлять

$$\alpha = 0,75 - 1,5p + 0,25 \sqrt{36p^2 - 4p + 1}. \quad (7)$$

В таблице приведены оптимальные значения шага наплавки  $\alpha$  порошковой лентой для двух вариантов: проточка наплавленного металла не выполняется или выполняется.

На рис. 2 показана зависимость площади сечения усиления валика после механической обработки  $F_M$  от относительного шага наплавки  $\alpha$  и параметра валика  $p$ . Видно, что максимальная площадь  $F_M$  достигается при значениях  $\alpha$ , рассчитанных по формуле (7).

С изменением значений  $\alpha$  от 0 до  $(1 - 2p)$  площадь  $F_M$  возрастает по линейной зависимости в соответствии с формулой  $b^2 p \alpha$ . При дальнейшем увеличении шага  $\alpha$  изменение значений  $F_M$  происходит по нелинейной зависимости в соответствии с формулой (4).

Conditions of arc strip surfacing, which provide a minimum discard of the deposited metal as a result of subsequent machining are considered.

Оптимальные значения относительного шага наплавки  $\alpha$

$p$	Расчет по формуле	
	(5)	(7)
0,05	0,90	0,911
0,10	0,80	0,845
0,15	0,70	0,800
0,20	0,60	0,770
0,25	0,50	0,750
0,30	0,40	0,736
0,35	0,30	0,726
0,40	0,20	0,718

Найдем площадь отходов сечения усиления наплавленного валика после чистой проточки. На основании рис. 1 имеем

$$\begin{aligned} F_0 &= 2(h_1 - MC)(H/2 - \omega h_1) + 2 \int_0^{\omega h_1} (\sqrt{h_1^2 - x^2} - MC) dx = \\ &= (h_1 H - 2h_1^2 \omega) (1 - \sqrt{1 - \omega^2}) + h_1^2 \arcsin \omega + \\ &\quad + h_1^2 \omega \sqrt{1 - \omega^2} - 2h_1^2 \omega \sqrt{1 - \omega^2}. \end{aligned}$$

Исходя из соотношений  $H = b\alpha$  и  $h_1 = bp$ , получим

$$\begin{aligned} F_0 &= (b^2 \alpha p - 2b^2 p^2 \omega) (1 - \sqrt{1 - \omega^2}) + \\ &\quad + b^2 p^2 (\arcsin \omega - \omega \sqrt{1 - \omega^2}) = \\ &= b^2 p [(\alpha - 2p\omega) (1 - \sqrt{1 - \omega^2}) + \\ &\quad + p(\arcsin \omega - \omega \sqrt{1 - \omega^2})]. \end{aligned} \quad (8)$$

Из (8) видно, что если  $\omega = 0$ , то  $F_0 = 0$ , т. е. проточка наплавленного металла в этом случае не производится и отходов металла нет.

Найдем долю оставшегося металла после проточки:

$$\gamma = \frac{F_M}{F_M + F_0}.$$

Имеем

$$\begin{aligned} F_M + F_0 &= b^2 p \alpha \sqrt{1 - \omega^2} + b^2 p [\alpha (1 - \sqrt{1 - \omega^2}) - \\ &\quad - 2p\omega + 2p\omega \sqrt{1 - \omega^2} + p \arcsin \omega - p\omega \sqrt{1 - \omega^2}] = \\ &= b^2 p (\alpha - 2p\omega + p\omega \sqrt{1 - \omega^2} + p \arcsin \omega). \end{aligned}$$

Откуда

$$\gamma = \frac{\alpha \sqrt{1 - \omega^2}}{\alpha + p (\arcsin \omega + \omega \sqrt{1 - \omega^2} - 2\omega)}. \quad (9)$$

Доля оставшегося металла после проточки  $\gamma$  при увеличении относительного шага наплавки  $\alpha$  уменьшается. Для больших значений параметра  $p$  значения  $\gamma$  меньше.

Таким образом, найденные зависимости параметров наплавленного слоя порошковой ленты позволили установить условия, при которых после механической обработки обеспечивается минимальное получение отходов слоя металла.