

Фивейский А.М., Шолохов М.А., Бузорина Д.С.

ООО «ШТОРМ», УрФУ, Екатеринбург

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Переход от классических трансформаторных источников питания и сварки в углекислом газе на инверторное оборудование для сварки в смеси защитных газов помимо преимуществ в производительности и качестве требует дополнительных капитальных вложений из-за большей стоимости такого оборудования и увеличения затрат на защитный газ. В связи с этим возникает вопрос о целесообразности перехода к инверторному оборудованию.

Условия для расчета:

- Оборудование: 1) источник питания для полуавтоматической сварки в углекислом газе типа ВДУ-506 в комплекте с типовым подающим механизмом (с кабелем управления 15м). Цена – 128850,00 рублей.

2) инверторный источник питания Р5500 (с кабелем управления 15м) с комплектным подающим устройством. Цена – 281706,00 рублей.

- Сварочная проволока Св08Г2С, диаметр 1,2мм.
- Программа выпуска: 400 т/месяц.

Технические параметры:

Наименование параметра	ВДУ-506	Р 5500
Пределы регулирования сварочного тока, А	60 – 500	25 – 550
Пределы регулирования напряжения на дуге, В	22 – 46	15,2 – 41,5
Номинальный сварочный ток, при	500	530

ПВ-60%, А. Длительность цикла сварки 10 мин.		
Сетевое напряжение, В (допуски)	3 x 380 ($\pm 10\%$)	3x 400 ($\pm 15\%$)
Наибольшая потребляемая мощность, кВА	40	30,6
КПД, % не более	75	99
Масса, кг	250	107,3

Расход сварочной проволоки:

Количество наплавленного металла, исходя из расхода сварочной проволоки вычисляется по формуле:

$$M_n = O_{СК} \cdot N_p, \quad (1)$$

где M_n – количество наплавленного металла, кг;

$O_{СК}$ – объем изготавливаемых сварных конструкций, т/месяц;

N_p – норма расхода сварочной проволоки, кг/т (9,2 кг на 1 т металлических конструкций [1])

$$M_n = 400 \cdot 9,2 = 3680 \text{ кг.}$$

Учитывая потери на разбрызгивание и угар (в зависимости от вида газовой защиты), определим необходимое количество сварочной проволоки:

$$Q_{пр} = M_n \cdot k_p, \quad (2)$$

где $Q_{пр}$ – расход сварочной проволоки, кг;

k_p – коэффициент расхода проволоки (при сварке в углекислом газе – 1,15; в смеси защитных газов Ar + 18%CO₂ – 1,015) [1].

По формуле (2) расход проволоки на 400 т металлоконструкций при сварке в углекислом газе – 4232 кг, в смеси защитных газов – 3735,2 кг.

Месячная экономия по сварочным материалам составит 496,8 кг.

При средней стоимости омедненной сварочной проволоки Св08Г2С, диаметр 1,2 мм, поставляемой в еврокассетах по 15 кг – 78,40 рублей за один килограмм, экономия составит 38949,12 рублей/месяц.

Расход газа:

Расход газа определяется по формуле:

$$Q_{зг} = Q_{зг}^H \cdot L, \quad (3)$$

где $Q_{зг}$ – расход защитного газа, кг;

$Q_{зг}^H$ – нормативный расход защитного газ, кг на 1 м шва (для соединения Т1 – 0,10 кг (53л) на 1м шва [2]);

L – длина швов, м.

Длина швов определяется по формуле

$$L = \frac{M_{н}}{M}, \quad (4)$$

где M – масса наплавленного металла, кг/м (для соединения Т1 с катетом 5мм – 0,140 кг/м [2])

Подставив в формулу (4) данные получим длину швов 26285,7 м, тогда расход газа по формуле (3) составит 2628,57 кг/м.

Затраты на защитный газ рассчитываются по формуле:

$$Z_{зг} = Q_{зг} \cdot C_{зг}, \quad (5)$$

где $C_{зг}$ – цена защитного газа, руб/кг.

При использовании углекислого газа (наполняемость баллона 24 кг, средняя цена – 14,5руб./кг) затраты составят 38114,27 руб/месяц.

При использовании готовой смеси Ar + 18%CO₂ (наполняемость баллона 6,2 м³, средняя цена – 174,2 руб./м³ или 82,48 руб./кг) затраты составят 216804,45 рублей/месяц.

При использовании смесителя:

Исходя из общего расхода газовой смеси Ar + 18%CO₂ – 2628,57 кг входящие газы будут составлять: аргон – 2155,43 кг, углекислый газ – 473,14 кг. Затраты на аргон – 184289,26 руб/месяц, затраты на углекислый

газ – 6860,53 руб/месяц. Итого (при использовании смесителя) – 191149,79 руб/месяц.

Расход электроэнергии:

1) Расчет экономии электроэнергии при переходе на инверторный источник питания и смесь защитных газов:

Норматив расхода электроэнергии на выполнение одного метра сварного соединения или 1кг наплавленного металла описывается зависимостью:

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_o + \mathcal{E}_{xx} \quad (6)$$

где \mathcal{E}_m – расход электроэнергии на 1 м сварного шва;

\mathcal{E}_o – расход электроэнергии в основное время сварки, кВт·ч/м;

\mathcal{E}_{xx} – удельные потери электроэнергии в период холостого хода, кВт·ч/м.

Первое слагаемое определяется по зависимости

$$\mathcal{E}_o = \frac{I \cdot U \cdot T \cdot 10^{-3}}{\eta} \quad (7)$$

где I - сила тока, А; U - напряжение на дуге, В; T - основное время сварки одного метра (наплавки 1кг металла) сварного соединения, час/м (час/кг); η - КПД источника питания, %.

Основное время сварки T одного метра шва (наплавки 1 кг металла) определяется по зависимости

$$T = \frac{M}{I \cdot \alpha_H} \quad (8)$$

где M - масса наплавленного металла, кг; α_H - коэффициент наплавки, г/А·час.

Второе слагаемое \mathcal{E}_{xx} определяется по следующей зависимости:

$$\mathcal{E}_{xx} = P_{xx} \cdot T \cdot K_{xx} \quad (9)$$

где P_{xx} - потребление электроэнергии источника питания в режиме холостого хода, кВт;

K_{XX} - коэффициент, учитывающий время холостого хода источника питания по отношению к основному времени сварки.

Коэффициент K_{XX} рассчитывают по формуле

$$K_{XX} = \frac{1 - K_{OCH}}{K_{OCH}} \quad (10)$$

где K_{OCH} - коэффициент, учитывающий время горения дуги в общем времени на сварку.

Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла, кВт·час/кг определяется по зависимости

$$\mathcal{E}_{\text{кг}}^{\text{CO}_2} = \frac{\mathcal{E}_M^{\text{CO}_2}}{M} \quad (11)$$

Определим расход электроэнергии на сварку в углекислом газе:

Исходные данные: сварное соединение типа Т1, катет шва - 5мм, $M = 0,140$ кг, электродная проволока Св-08Г2С, защитный газ - CO₂, коэффициент наплавки $\alpha_n = 10$ г/А·час [1]. Режимы сварки: $I = 300$ А, $U = 30$ В, $\eta = 75\%$, $P_{XX} = 1,7$ кВт, $K_{OCH} = 0,7$ (источник питания типа ВДУ-506).

Подставляя исходные данные, получаем: по формуле (8) время сварки одного метра шва определяется – 0,046 ч; по формуле (7) расход электроэнергии на 1 м шва – 0,52 кВт·час/м.

Учитывая, что коэффициент K_{XX} по формуле (10) равен 0,43, удельные потери электроэнергии в период холостого хода, по формуле (9) составят 0,034кВт·час.

По формуле (6) получаем расход электроэнергии на 1м сварного шва равный 0,554 кВт·час/м, тогда расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла составит 3,96 кВт·ч/кг.

Аналогичный расчет произведем для сварки в смеси защитных газов.

Исходные данные: сварное соединение типа Т1, катет шва - 5мм, М = 0,140 кг, электродная проволока Св-08Г2С, защитный газ- 18%CO₂+82%Ar, коэффициент наплавки α_н = 11,82 г/А·час. Режимы сварки: I = 300А, U = 30 В, η = 99%, P_{ХХ} = 0,1 кВт, K_{ОСН} = 0,7 (источник питания Р5500).

Подставляя исходные данные, получаем: по формуле (8) время сварки одного метра шва определяется – 0,039 ч; по формуле (7) расход электроэнергии на 1 м шва – 0,35 кВт·час/м.

Учитывая, что коэффициент K_{ХХ} по формуле (10) равен 0,43, удельные потери электроэнергии в период холостого хода, по формуле (9) составят 0,0017кВт·час.

По формуле (6) получаем расход электроэнергии на 1м сварного шва равный 0,3517 кВт·час/м, тогда расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла составит 2,51 кВт·ч/кг.

Месячный расход электроэнергии при п/а сварке вычисляется по формуле:

$$\mathcal{E} = Q_{\text{пр}} \cdot \mathcal{E}_{\text{кг}}, \quad (12)$$

где \mathcal{E} – расход электроэнергии кВт·ч;

$\mathcal{E}_{\text{кг}}$ –расход электроэнергии на 1 кг проволоки, кВт·ч/кг.

Месячный расход электроэнергии по формуле (12) при сварке в углекислом газе составит 16758,72 кВт·ч; в смеси защитных газов – 9375,35 кВт·ч.

Затраты на электроэнергию определяются по формуле

$$Z_{\text{э}} = \mathcal{E} \cdot C_{\text{э}}, \quad (13)$$

С учетом стоимости кВт·ч на производстве – 4,16 руб/ кВт·ч затраты на электроэнергию составят при сварке в углекислом газе – 69716,28 рублей, при сварке в смеси защитных газов – 39001,46 рублей.

Производительность 1 поста при п/а сварке плавящимся электродом в СО₂ составляет 6 кг наплавленного металла в час. С учетом коэф-

фициента 0,7, учитывающим непрерывное время горения сварочной дуги – производительность составит:

$$\Pi_{\text{ч}}^{\text{CO}_2} = \Pi \cdot k_{\text{г}} \quad (14)$$

При сварке в углекислом газе производительность 1 поста получим равную 4,2 кг/ч.

Учитывая, что при сварке в газовых смесях (за счет большей температуры в дуге при одинаковых режимах сварки) производительность выше, чем в CO₂ на 15-20% получим производительность при сварке в смеси защитных газов равную 4,94 кг/ч.

При нагруженном режиме сварки (сварщик обеспечен работой на всю смену – 8ч) количество наплавленного металла в смену составит 33,6 кг, тогда в месяц (количество смен в месяц – 21) – 705,6 кг.

Для определения количества сварочных постов:

$$K = \frac{Q_{\text{пр}}}{\Pi_{\text{м}}} \quad (15)$$

$$K_{\text{CO}_2} = \frac{4232}{705,6} = 5,99$$

Принимаем 6 постов при односменной работе или 3 сварочных постов при двухсменной работе.

В газовой смеси Ar + 18%CO₂ количество наплавленного металла в смену составит 39,52 кг, тогда в месяц (количество смен в месяц – 21) – 829,92 кг.

Количество сварочных постов определим по формуле (15)

$$K_{\text{Ar+CO}_2} = \frac{3735,2}{829,92} = 4,5 \text{ постов}$$

Принимаем 5 постов при односменной работе или 3 сварочных поста при двухсменной работе.

Нормативная трудоемкость на сварку:

$$T = \frac{Q_{\text{пр}}}{\Pi_{\text{ч}}}, \text{ ч} \quad (16)$$

При сварке в углекислом газе получаем 1007,62 ч., в смеси защитных газов – 756,11 ч. Экономия составит – 251,51 ч.

Трудоемкость зачистки, правки и прочих доводочных операций составляет минимум 40% от общей трудоемкости в изготовлении металлоконструкции, трудоемкость сварки как таковой 20 %.

Нормативная трудоемкость на зачистку, доводку внешнего вида составит:

Учитывая, что нормативное разбрызгивание при сварке в CO₂ составляет минимум 10% от наплавленного металла, брызги привариваются к основному металлу, а так же неудовлетворительный внешний вид сварного шва (большая чешуйчатость), то трудоемкость зачистки можно принять (минимум) равной трудоемкости сварки (как таковой), то есть 1007,62 ч.

При сварке в газовых смесях, нормативное разбрызгивание составляет в среднем 1,5% от наплавленного металла, брызги не привариваются к основному металлу, внешний вид сварного шва имеет плавные переходы от основного металла к металлу шва, то трудоемкость зачистки можно принять не более 20% от трудоемкости сварки (как таковой), то есть 151,22 ч.

Использование источников питания «трансформаторного» типа влечет за собой следующий момент - при наличии в сети нестабильного напряжения сварщик эпизодически вынужден подстраивать режимы. Если предположить, что сварщик каждый час работы тратит по 2-3 минуты на поднастройку режимов, то в смену 0,4 часа, в месяц 8,4 часа на один пост, на 6 постов 50,4 часов.

Затраты на оплату труда:

$$З = \Pi_{\text{н-ч}} \cdot T, \text{ руб} \quad (17)$$

При стоимости нормо-часа 250 рублей затраты составят:

- на сварку: в углекислом газе – 251905 руб; в смеси защитных газов – 189027,5 руб.

- на зачистку и вспомогательные операции: в углекислом газе – 264505 руб, в смеси защитных газов – 37805 руб.

Экономия составит: на сварку – 62877,5 рублей, на зачистку и вспомогательные операции – 226700.

Экономия за месяц:

$$\mathcal{E}_m = Z_{CO_2} - Z_{Ar+CO_2}, \quad (18)$$

где Z_{CO_2} – затраты при сварке в углекислом газе,

Z_{Ar+CO_2} – затраты при сварке в смеси защитных газов.

$$Z = Z_{пр} + Z_{зг} + Z_{эз} + Z_{св} + Z_{доп} \quad (19)$$

Затраты при сварке в углекислом газе по формуле (19) составят 956029,36 рублей; при сварке в смеси защитных газов (при использовании готовой смеси) – 775478,09 рублей, (при использовании смесителя) – 749823,43 рубля.

Экономия при использовании готовой смеси 180551,27 руб/мес, при использовании смесителя – 206205,93 руб/мес.

Дополнительные капитальные вложения при использовании готовой смеси защитных газов:

$$\Delta K = K_2 - K_1 = 5 \cdot 281706,00 - 6 \cdot 128850,00 = 635430 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений при односменной работе

$$T_{ок} = \frac{635430}{180551,27} = 3,5 \text{ месяца}$$

Дополнительные капитальные вложения при использовании смесителя (с учетом стоимости смесителя ВМ-2М – 91080,00 руб.)

$$\Delta K = K_2 - K_1 = 5 \cdot (281706,00 + 91080,00) - 6 \cdot 128850,00 = 1090830 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений при односменной работе

$$T_{\text{ок}} = \frac{1090830}{206205,93} = 5,3 \text{ месяца}$$

Сводные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экономическая эффективность

Статья расходов	CO ₂ , 6 постов	Ar+ 18%CO ₂ , 5 постов	Экономическая эффективность при односменной рабо- те за 1 месяц
Сварочная проволока (78,40 руб./кг)	331788,8	292839,68	+ 38949,12
Защитный газ, руб.			
В баллонах	38114,27	216804,45	-178690,18
При использовании смеси- теля	38114,27	191149,79	-153035,52
Электроэнергия (4,16 руб за кВт·ч)	69716,29	39001,46	+30714,83
Оплата труда (сварка)	251905	189027,5	+62877,5
Оплата труда (зачистки, правки и прочих доводоч-	264505	37805	+226700
		Смесь газов:	В месяц (руб.)
		в баллонах	+180551,27
		смеситель	+206205,93
			В год
		в баллонах	2166615,2
		смеситель	2474471,1

Выводы:

1. Переход к полуавтоматической сварке в смеси защитных газах с инверторным источником питания позволяет

- снизить расход сварочной проволоки на 11,7%;
- расход электроэнергии на 36,6%;
- увеличить производительность на 17,6%;
- снизить трудоемкость сварки на 25%;
- снизить трудоемкость зачистки и доводки на 85%.

3. Дополнительные капитальные вложения при переходе от классических трансформаторных источников питания к современным инверторным при односменной работе окупаются за 3,5 месяца – при использовании готовой газовой смеси и за 5,3 месяца – при самостоятельном изготовлении смеси, с учетом стоимости смесителя.

4. В инверторном источнике P5500 имеется функция SpeedArc – высокопроизводительный процесс сварки со струйным переносом металла короткой дугой с высокой плотностью энергии, который за счет более эффективного использования энергии дуги допускает увеличение скорости сварки до 30% в сравнении с обычной сваркой MIG/MAG. [3] Таким образом, возможно увеличение производительности сварки на 30% по сравнению со сваркой в смеси защитных газов и более чем на 45% по сравнению со сваркой в углекислом газе.

Библиографический список

1. Изготовление стальных конструкций. Под ред. В.М. Краснова. М., Стройиздат, 1978. – 335 с.
2. Нормирование расхода сварочных материалов при сварке в углекислом газе и его смесях. Справочное пособие. Киев: ЭкоТехнологія. 2008. – 67 с.
3. А.М.Фивейский. Новые процессы MIG/MAG сварки.// ТехСовет. – 2010 – №4, с. 38.