

УДК 621.791.754 264:001.891.57

О.И. Петриенко, канд. техн. наук

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Разработанные номограммы предназначены для выбора сварочного тока при механизированной дуговой сварке сталей в защитных газах длинной дугой. Они позволяют выбрать оптимальное значение тока при заданном диаметре электродной проволоки, обеспечивающим в рекомендуемых диапазонах значения температур предварительного подогрева проволоки и капли, и в результате определять с большой точностью значения скорости подачи и длины вылета, при которых обеспечиваются эти температуры.

Ключевые слова: номограммы, механизированная сварка, защитные газы, режимы сварки, методика расчета.

Розроблені номограми призначені для вибору зварювального струму при механізованому дуговому зварюванні сталей у захисних газах довгою дугою. Вони дозволяють вибрати оптимальне значення струму при заданому діаметрі електродного дроту, що забезпечує в рекомендованих діапазонах значення температур попереднього підігріву дроту і краплі, і в результаті визначити з великою точністю значення швидкості подачі і довжини вильоту, при яких забезпечуються ці температури.

Ключові слова: номограми, механізована зварювання, захисні газу, режими зварювання, методика розрахунку.

The nomograms are used to select the welding current for MIG/MAG welding of steels with a long arc. They allow to choose the optimal value of the current for a given diameter of the electrode wire, providing the recommended temperature range of pre-heating the wire and drop, and as a result to determine with precision values feed rate and the the electrode extension length, which will ensure these temperatures.

Key words: nomograms, MIG/MAG welding, welding modes, calculation methods.

Введение. Режимы механизированной дуговой сварки сталей в среде защитных газов регламентированы во многих литературных источниках. Одним из широко используемых методов их определения является графический метод в виде номограмм, особенно когда применение других вычислительных средств затруднено [1].

Анализ исследований и публикаций. Существуют номограммы, позволяющие выбрать режимы сварки, не производя полного расчета параметров процесса [1]. Недостатком такого типа номограмм является то, что они предназначены для конкретного режима сварки (например, при заданных значениях диаметра d и длины вылета электрода l_6), а для других значений d и l_6 номограмму нужно рассчитывать повторно. Такие номограммы не являются универсальными при выборе режимов сварки, и поэтому они не находят широкого применения.

Существуют более универсальные номограммы [2], позволяющие выбрать помимо d и l_6 , такие параметры, как ток сварки I и плотность тока j . В основе создания такой номограммы лежит разработанная ранее физико-математическая модель расчета в виде системы дифференциальных уравнений тепловых процессов на вылете электрода при дуговой сварке сталей в защитных газах без коротких замыканий [2-4]. Модель позволяет решать уравнения теплового баланса для вылета электрода в общем виде, когда все теплофизические коэффициенты являются нелинейными функциями от температуры. Она позволяет также рассчитать текущее значение температуры T по всей длине вылета электрода l_6 от мундштука до капли на торце электрода, определить длину зоны вылета электрода l_1 (примыкающую к мундштуку и нагреваемую электрическим током) и длину Δl (примыкающую к капле, на которой происходит нагрев под действием электрического тока и тепла, поступающего за счет теплопроводности от капли). Тепловые процессы на этих участках вылета электрода описываются разными уравнениями [4]. Точка сопряжения решений находится на расстоянии Δl от границы электрода с каплей, и характеризуется температурой «стыка» T_1 двух участков (температурой предварительного подогрева электрода) и соответствующей этой температуре длиной части вылета электрода, равной l_1 . При расчетах для выбранного диаметра проволоки и используемого защитного газа необходимо задаваться то-

ком I , температурами T_l , $T_{кан}$ и в результате определять температуру проволоки на выходе из мундштука T_0 , и необходимые значения скорости подачи v_n , длины вылета электрода l_e и другие параметры, при которых обеспечиваются эти температуры и выбранная величина сварочного тока. Такой подход выгодно отличается от общепринятого, при котором задаются значениями d , I , l_e и v_n , и затем определяют температуры T_l и $T_{кан}$.

Однако недостатком такого подхода к решению задачи является то, что в результате расчетов температуры T_l и $T_{кан}$ могут выйти за допустимые значения, что может привести к неудовлетворительному качеству сварки или к срыву сварочного процесса, а также к возникновению автоколебаний. Поэтому рекомендуется принимать температуру $T_l = const$ в области допустимых значений $670 \text{ K} \leq T_l \leq 1040 \text{ K}$ для устранения возможности возникновения автоколебаний в системе источник питания – дуга [2, 5] и $T_{кан} = const$, исходя из требований технологии данного сварочного процесса. Если при расчетах задаваться температурой T_l точки «стыка», то это и будет тем необходимым дополнительным условием, которое позволяет решить задачу теплового баланса. При этом начальная температура проволоки T_0 не должна превышать выбранное значение T_l , иначе реализовать процесс сварки будет невозможно. Обычно T_l выбирается ниже температуры точки Кюри.

Изложение основного материала. Для того, чтобы определить, в каких именно областях на номограммах из работы [2] можно выбирать нужные значения тока сварки и плотности тока для соблюдения условия, при котором $T_0 < T_l$, необходимо рассчитать значение T_0 при заданных $T_{кан}$ и d .

В работе [6] показано, что значение температуры T_0 можно рассчитать по формуле:

$$T_0 = \text{root} \left[\frac{v_n \gamma}{j} \int_{T_{o.ср}}^{\theta} C_p(T) dT - 0,51 \cdot U_{кон} \cdot \theta \right], \quad (1)$$

где root – функция математического пакета MathCAD [7], позволяющая определить корень уравнения v , при некотором ее стартовом значении; γ – плотность металла (стали), кг/м^3 ; j – плотность тока, А/м^2 ; $T_{o.ср}$ – температура окружающей среды, K ; C_p – удельная теплоемкость стали, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$; $U_{кон}$ – контактное падение напряжения в мундштуке, определяемое по аппроксимационной формуле работы [8]:

$$U_{кон} = \left[2,55 \cdot \left(\frac{I_{баз}}{I_{баз} d} \right)^{0,2} - 1,78 \right] \left(\frac{v_n}{v_{баз}} \right)^{0,2}, \quad (2)$$

где $I_{баз}$, $d_{баз}$, $v_{баз}$ – базовые значения сварочного тока, диаметра электрода и скорости подачи соответственно, которые подбирались как опорные значения

$$I_{баз} = 180 \text{ A}, \quad d_{баз} = 1 \text{ мм}, \quad v_{баз} = 0,035 \text{ м/с}.$$

В свою очередь скорость подачи сварочной проволоки определяется по формуле из работы [2]:

$$v_n = \text{root} \left[\left(\frac{v_n \gamma}{j} \right) \left(\int_{T_l}^{T_{кан}} C_p(T) dT + \lambda_{A_2} + \lambda_{A_3} + \lambda_{A_4} + \lambda_{A_5} \right) + \left[-U_{экв} - j \rho \left(\frac{T_{нл} + T_l}{2} \right) \Delta l - U_{кан} \right], v \right], \quad (3)$$

где $U_{кан}$ – температура капли на торце электрода ([2], формула (6)), В; $\lambda_{A_2} - \lambda_{A_5}$ – удельные теплоты превращения железа в точках $A_2 - A_5$ фазовых переходов на диаграмме состояния железо – углерод, Дж/кг ; $U_{экв}$ – эквивалентное напряжение при расплавлении дугой [2; 9], В; ρ – удельное электрическое сопротивление металла при $T = T_{кан}$, $\text{Ом}\cdot\text{м}$;

Δl – сплайн-аппроксимация результатов вычислений интервала (как функции величин v_n и j), приведенных в работе [4], а также аппроксимации зависимостей величин $C_p(T)$ и $\rho(T)$ для сталей, приведенные в работах [10; 11].

При выборе значений тока сварки или плотности тока необходимо учитывать, что существуют ограничения по выбору допустимого тока сварки [3]: при токах меньших 30-40 А для омедненной и неомедненной проволок наблюдается случайно повторяющееся снижение контактного падения напряжения $U_{кон}$ до 0,01 ... 0,04 В; при больших токах (при значениях плотностей тока в проволоке, превышающих 400 А/мм²) характер контакта становится искровым, что приводит к резкому увеличению величины $U_{кон}$. Эти режимы желательно не допускать, так как они сопровождаются повышенным износом мундштука и возникновением тепловых волн, движущихся вместе с вылетом и приводящих к разрушению устойчивости сварочного процесса.

Построение номограмм и работа с ними. За основу были взяты приведенные в работе [2] номограммы, которые были построены по результатам проведенных расчетов, а также с учетом обобщенных существующих рекомендаций работ А.Г. Потапьевского, И.И. Зарубы, В.Я. Лаврищева, Б.К. Панибратцева, В.Г. Свечинского, В.И. Галинича и других ученых.

При составлении номограмм задаваемыми параметрами являются температуры $T_{o,ср}$, T_1 и $T_{кан}$, d , защитный газ и марка сварочной проволоки (так как ее химический состав учитывается при расчетах параметров сварки). Плотность тока задавалась в рамках обычно используемых значений ($j = 5 \cdot 10^7 \dots 6 \cdot 10^8$ А/м²). Затем по методике расчета, описанной в работах [2-4; 6; 8; 10; 11] с учетом формул (1)–(3) рассчитывались значения v_n , T_0 и отношение T_0/T_1 , при котором значение $T_0 < T_1$ при заданных T_1 и $T_{кан}$.

Для обеспечения сварочного процесса необходимо, чтобы отношение расчетного T_0 к задаваемому T_1 лежало в пределах 0,6...0,7. Если $T_0/T_1 < 0,6$, то падает производительность сварочного процесса, а если отношение $T_0/T_1 > 0,7$, то возможна ситуация, когда при возникновении случайных колебаний T_0 получится больше, чем заданное значение T_1 и процесс сварки при заданном T_1 будет невозможен.

На рисунке 1 представлена расчетная зависимость отношения температур T_0/T_1 от плотности тока при разных диаметрах электрода. При значениях $T_0/T_1 = 0,6, 0,65, 0,7$ на рисунке 1 проводим горизонтальные прямые (пунктир) и определяем значения плотности тока для каждой точки пересечения пунктирных прямых с кривой соответствующего диаметра электрода. Затем с помощью номограмм из работы [2] определяем соответствующие этим точкам значения сварочного тока.

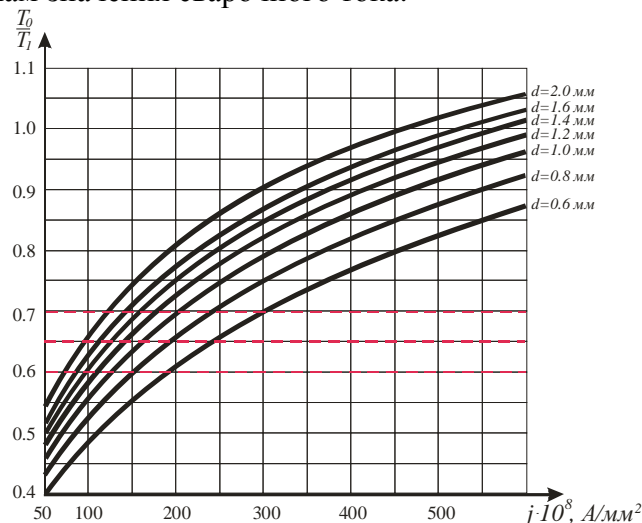


Рис. 1. Зависимость отношения температур T_0/T_1 от плотности тока и от разных диаметров электрода при заданных значениях $T_1 = 700$ К, $T_{кан} = 2700$ К, проволока марки Св08Г2С при сварке в CO_2

Полученные данные позволяют нанести на номограммы работы [2] границы оптимальных режимов сварки. На рисунке 2 показаны номограммы, которые с учетом этих полученных оптимальных границ являются более универсальными, чем существующие номограммы. Помимо нанесенных на них областей I-VIII режимов сварки в зависимости от способа переноса металла и их границ на них показаны области оптимальных значений режимов сварки при которых $T_0 < T_1$. На номограммах имеются три такие области, которые построены при разных заданных значениях T_1 . Верхняя граница каждой такой области соответствует значению $T_0/T_1 = 0,7$, а нижняя – $T_0/T_1 = 0,6$.

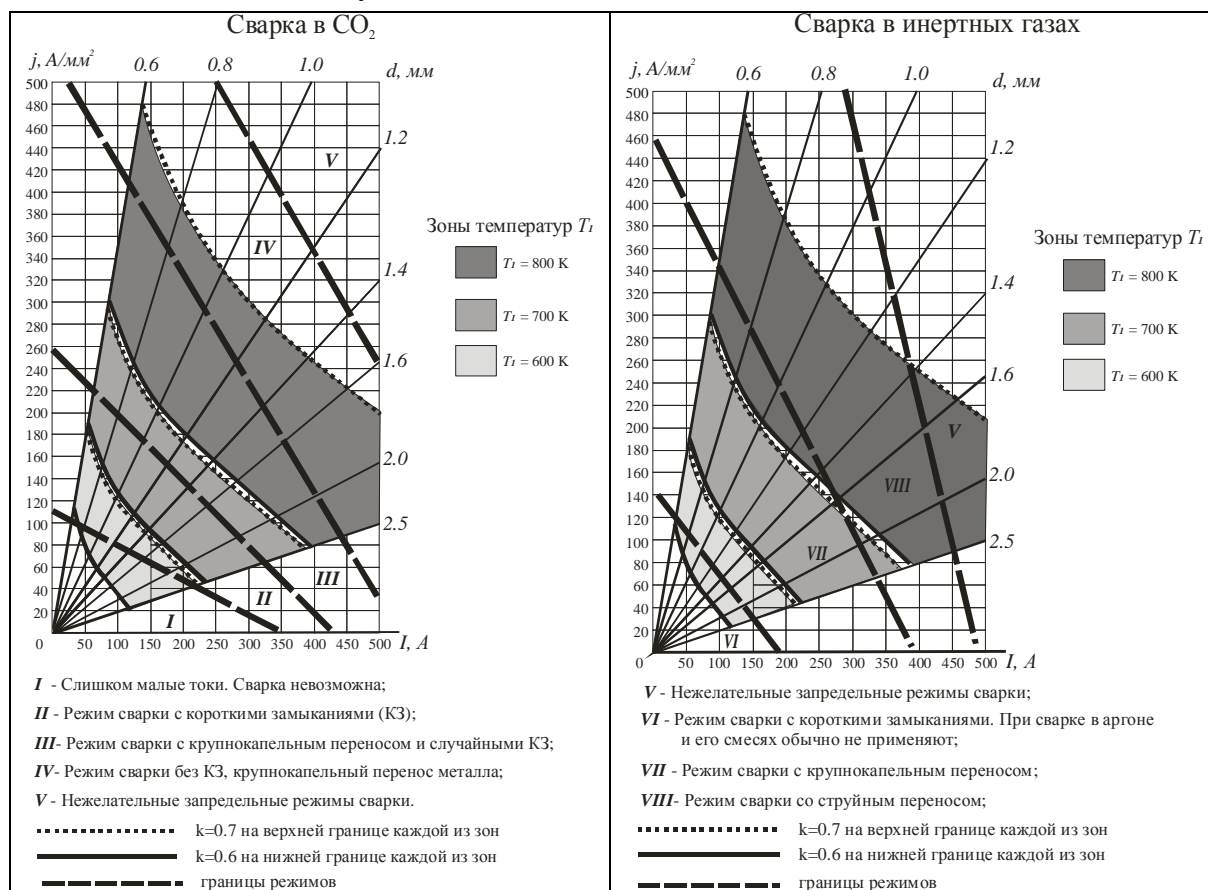


Рис. 2. Номограммы по выбору тока сварки в зависимости от диаметра электрода и температуры "стыка"

Рекомендуется выбирать значения тока при заданном диаметре электрода в желаемых из технологических соображений областях I-VIII в середине одной из указанных температурных зон, при этом k близко к 0,65. Таким образом, используя эти номограммы мы попадаем в реализуемый режим, при котором значение T_0 всегда меньше T_1 .

Выводы. Разработанные номограммы предназначены для выбора сварочного тока при механизированной дуговой сварке в защитных газах низкоуглеродистых и низколегированных сталей длиной дугой. Они позволяют выбрать оптимальное значение тока при заданном диаметре электрода с учетом того, что расчетное значение начальной температуры проволоки на выходе из мундштука будет всегда меньше выбранной температуры предварительного подогрева электрода. Такое условие обеспечивает то, что температуры капли и предварительного подогрева электрода будут находиться в рамках допустимых значений. Это позволяет более точно рассчитать все основные параметры режима сварки из условий сохранения теплового баланса и поддерживать их во время сварки на требуемом уровне.

Список использованных источников

1. Коринец И. Ф. Номограммы для определения режимов дуговой сварки в углекислом газе / И. Ф. Коринец, Ю.И. Охай // Автоматическая сварка. – 1995. – № 10. – С. 46-48.
2. К аналитическому определению основных параметров режимов механизированной сварки в среде защитных газов // Сб. наук. праць Національного університету кораблебудування (НУК). – 2006. – № 1 (406). – С.68-79.
3. Петриенко О. И. Влияние тепловых и электрических процессов на режимы механизированной сварки сталей в защитных газах: дис.... канд техн. наук: 05.03.06 / О. И. Петриенко. – К., 2006. – 176 с.
4. Пентегов И. В. Расчет распределения температуры по длине вылета электрода с учетом тепла, поступающего от капли / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко // Автоматическая сварка. – 2003. – № 7. – С. 23-28.
5. Шейнкин М. З. Определение допустимого вылета тонкой электродной проволоки при сварке в углекислом газе / М. З. Шейнкин // Сварочное производство. – 1978. – № 9. – С. 24-28.
6. Пентегов И. В. Метод определения температуры проволоки на выходе из мундштука при дуговой сварке в защитных газах / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко // Автоматическая сварка. – 2005. – № 10. – С. 25-28.
7. Кирьянов Д. В. MathCAD 14 / Д. В. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 704 с.
8. Определение падения напряжения в области контакта электродной проволоки с мундштуком сварочной горелки при механизированных видах дуговой сварки / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко, С. В. Пустовойт, В. Н. Сидорец, А. В. Лавренюк // Автоматическая сварка. – 2005. – № 6. – С. 12-17.
9. Nakamura T., Hiraoka K. Wire Melting Behavior by Non-Steady Heat Conduction Numerical Analysis in Gas Metal Arc Welding // Quarterly of the Japan Weld Society. – 2002. – Vol. 20. – № 1. – P. 53-62.
10. Пентегов И. В. Метод расчета падения напряжения по длине вылета электрода с учетом нелинейности теплофизических параметров / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко // Автоматическая сварка. – 2002. – № 4. – С. 30-33.
11. Петриенко О. И. Влияние тепловых и электрических процессов на режимы механизированной сварки сталей в защитных газах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06 // О. И. Петриенко; АН Украины. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. – К., 2006. – 25 с.

УДК 621.793.71

В.В. Спихтаренко, доцент**С.А. Лой**, инженер

Херсонский филиал Национального университета кораблестроения, г. Херсон, Украина

С.В. Олексенко, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗА-ЗАМЕНИТЕЛЯ ПРИ ГАЗОПЛАМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ

Приведены результаты исследований свойств покрытий, полученных газопламенным напылением с использованием горючих газов (ацетилен, пропан, МАФ). Определены твердость, коэффициент использования материала (КИМ), прочность сцепления покрытия с основой.

Ключевые слова: ацетилен, МАФ, газопламенное напыление, самофлюсующийся сплав, прочность сцепления, твердость.

Наведені результати досліджень властивостей покриттів, отриманих газополуменним напилуванням з використанням горючих газів (ацетилен, пропан, МАФ). Визначені твердість, коефіцієнт використання матеріалу (КВМ), міцність зчеплення покриття з основою.

Ключові слова: ацетилен, МАФ, газополуменне напилування, самофлюсуючий сплав, міцність зчеплення, твердість.

Results of researches of properties of the coverings received by a flame spraying with use of combustible gases (an acetylene, propane, MAF) are resulted. Hardness, thermal spraying deposition efficiency, bonding strength are defined.

Key words: acetylene, MAF, flame spraying, self-fluxing alloy, bonding strength, hardness.

Постановка проблемы. Дальнейшее развитие научно-технического прогресса вызывает интенсификацию работы машин, заставляет искать и внедрять все более эффективные техно-