

S. V. Belyaev, I. Yu. Gubanov, P. O. Shirokov, A. V. Salatov, I. Yu. Maslov

**THE ENHANCEMENT OF PRODUCTIVE EFFICIENCY
OF THE PRESS-ARTICLES FROM ALUMINUM ALLOYS
ON THE OPERATION BASE OF THERMAL CONDITIONS OF THE EXTRUSION**

The research results of the thermal interaction in the system deformed metal and press toolage are made. The following analytical dependences of the definition the temperature conditions are presented for the semicontinuous extrusion of aluminum alloys with a glance of the deformed metal rheology. The forcibly cooled application of the press toolage is substantiated scientifically. The engineering solution for the control of the thermal conditions of the extrusion is presented. The comparison of results of calculation to experimental data is lead

Keywords: semicontinuous extrusion of aluminum alloys; thermal interaction; forcibly cooled extrusion toolage.

© Беляев С. В., Губанов И. Ю., Широков П. О., Салатов А. В., Маслов И. Ю., 2010

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, Т. Г. Вейсвер

**КОНТРОЛЬ ГЛУБИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ***

Рассмотрена возможность контроля глубины проплавления по рентгеновскому излучению при электронно-лучевой сварке.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, рентгеновское излучение, глубина проплавления.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что рентгеновское излучение (РИ), регистрируемое со стороны ввода электронного луча, несет информацию о глубине проплавления и предполагает ряд способов выявления требуемой информации [1]. Одним из таких способов может быть определение положения максимума интенсивности рентгеновского излучения, соответствующего текущей глубине проплавления при заданных режимах электронно-лучевой сварки (ЭЛС) (рис. 1).

На основании достаточного количества экспериментов (рис. 1, а) установлено, что если ось ординат $J(z)$ переместить по глубине канала проплавления в положение, соответствующее максимуму интенсивности РИ, а ось абсцисс поднять на уровень интенсивности РИ, соответствующий среднему значению интенсивности в канале проплавления (рис. 1, б), то в области, близкой к глубине проплавления, экспериментальную зависимость можно аппроксимировать выражением

$$J(z) = J_{\max} e^{-0,4z^2}, \quad (1)$$

где z – отклонение глубины проплавления от заданной в процентах от этой глубины (рис. 2).

Рентгеновское излучение регистрируется датчиком, ось коллиматора которого расположена под углом φ к направлению пучка электронов и, следовательно, к оси z канала проплавления (рис. 1, в). В связи с этим перемещение пятна нагрева по оси z проецируется на ось z' ,

перпендикулярную оси коллиматора в соответствии с соотношением

$$z' = z \sin \varphi.$$

Очевидно, что изменение интенсивности РИ, регистрируемого датчиком, перемещаемым в направлении, параллельном оси z , или изменение интенсивности вследствие перемещения пятна нагрева в том же направлении связано с наличием составляющей перемещения в направлении оси z' (рис. 3). При этом, ввиду распределения РИ, близкого к сферическому, $J(z) = J(z')$.

На датчик попадает часть рентгеновского излучения $J_d(z)$ в пределах, ограниченных шириной коллиматора Δ , величина которой по оси z составляет $\Delta/\sin \varphi$ и определяется выражением

$$J_d(\varepsilon_z) = J_{\max} \int_{-\frac{\Delta}{2\sin \varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin \varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_z)^2} dz, \quad (2)$$

где $e^{-0,4(z-\varepsilon_z)^2}$ – плотность распределения рентгеновского излучения по оси z ; ε_z – смещение пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления (рис. 4).

Представим ε_z в виде

$$\varepsilon_z = \varepsilon_{z_0} + \varepsilon_{zm} \sin \alpha, \quad (3)$$

где ε_{z_0} – постоянная составляющая смещения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления;

* Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2957).

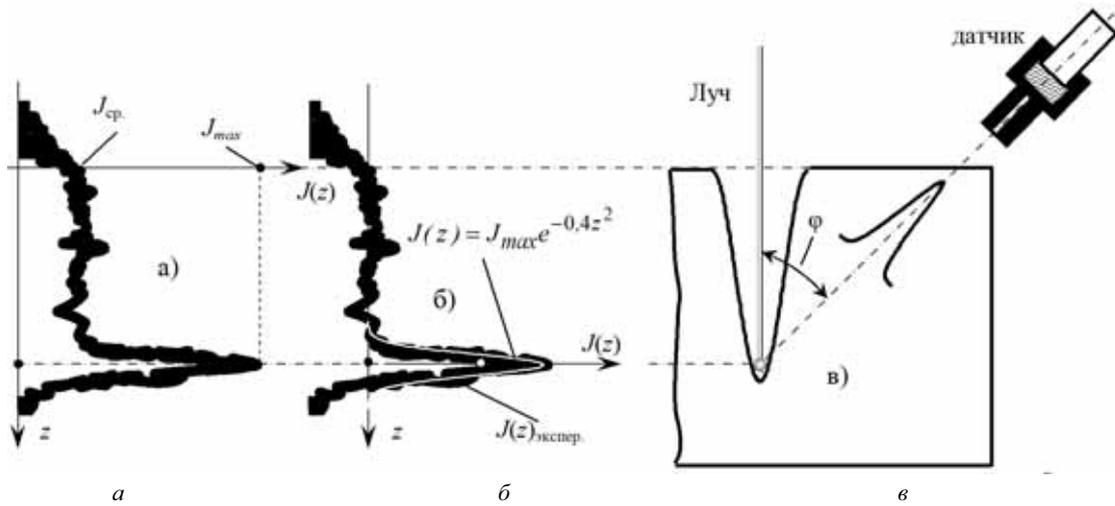


Рис. 1. Распределение интенсивности РИ по глубине канала проплавления: а – распределение РИ, полученное экспериментально; б – аппроксимация экспериментальной кривой; в – схема регистрации РИ

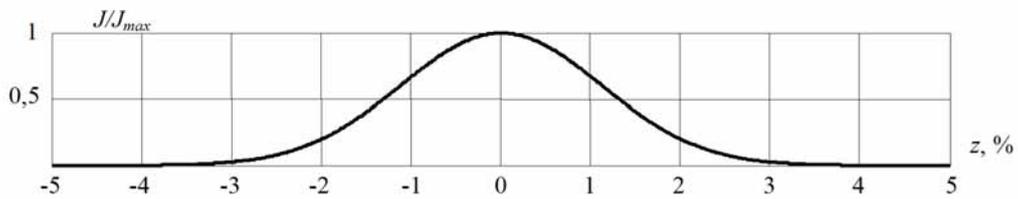


Рис. 2. Распределение интенсивности РИ по глубине канала проплавления в области, близкой к заданной глубине проплавления

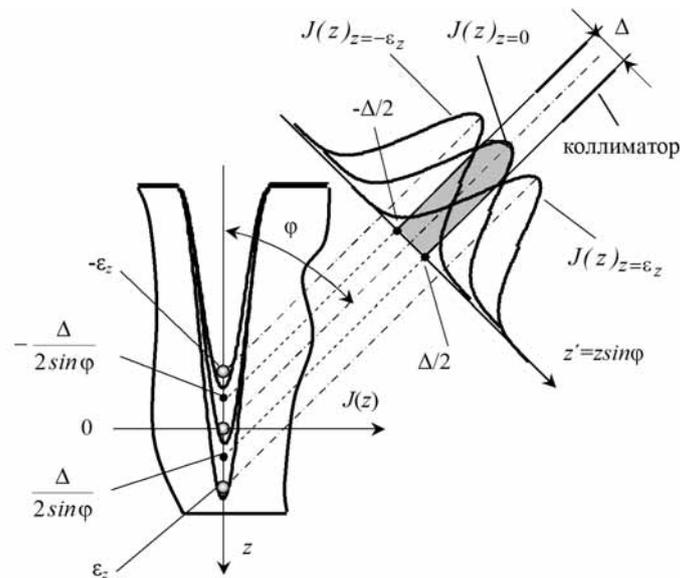


Рис. 3. К определению интенсивности РИ, регистрируемого датчиком

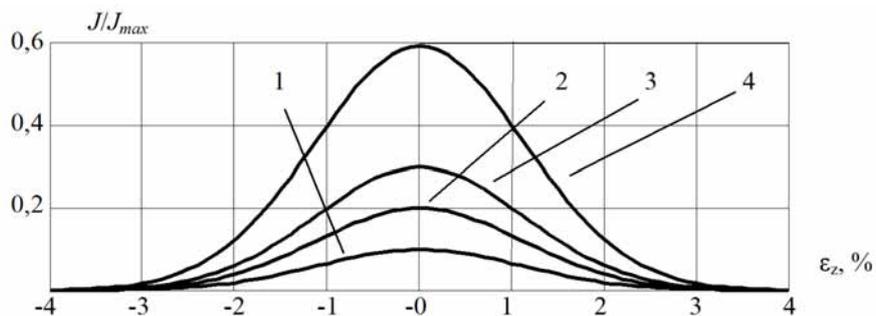


Рис. 4. Зависимость интенсивности РИ от смещения пятна нагрева: материал АМг-6; глубина проплавления 30 мм; $\varphi = 45^\circ$; 1 – $\Delta = 0,05$; 2 – $\Delta = 0,1$; 3 – $\Delta = 0,15$; 4 – $\Delta = 0,2$ мм

ε_{zm} – амплитуда переменной составляющей смещения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления; $\alpha = \omega t$, здесь ω = частота переменной составляющей, t – время.

Представление (3) отражает тот факт, что в положение пятна нагрева введено поисковое движение с частотой ω и амплитудой ε_{zm} . Это может быть реализовано, например, введением переменной составляющей в ток электронного сварочного луча или в ток фокуса при ЭЛС с фокусировкой, при которой формируется максимальная глубина проплавления, либо колебаниями коллиматора относительно проекции пятна нагрева.

При подстановке (3) в (2) последнее выражение может быть представлено рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$J_{\delta}(\varepsilon_{z0}) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos \alpha + b_k \sin \alpha),$$

где a_0 – постоянная составляющая:

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left[J_{\max} \int_{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_{z0}-\varepsilon_{zm}\sin\alpha)^2} dz \right] d\alpha; \quad (4)$$

a_k, b_k – коэффициенты Фурье:

$$a_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left[J_{\max} \int_{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_{z0}-\varepsilon_{zm}\sin\alpha)^2} dz \right] \cos k\alpha d\alpha, \quad (5)$$

$$b_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left[J_{\max} \int_{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_{z0}-\varepsilon_{zm}\sin\alpha)^2} dz \right] \sin k\alpha d\alpha. \quad (6)$$

Выражения (4)–(6) представляют собой математическую модель рентгеновского датчика глубины проплавления.

Анализ приведенных соотношений и графиков, построенных в соответствии с ними, свидетельствует о том, что при наличии в положении пятна нагрева поискового движения по глубине канала проплавления спектральный состав РИ дополняется составляющими с частотами, кратными частоте поискового движения, и амплитудами, находящимися в определенной зависимости от положения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления. Так, если положение пятна нагрева совпадает с осью рентгеновского датчика, то a_0 и амплитуды косинусоидальных составляющих a_2, a_4, \dots (четные гармоники) максимальны (рис. 5).

В то же время амплитуды синусоидальных составляющих с частотами $(2n + 1)\omega$, где $n = 0, 1, \dots$, пропорциональны в некоторых пределах смещению пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления. Они равны нулю при отсутствии смещения и меняют знак при изменении направления смещения пятна нагрева относительно заданного положения (рис. 6), что свидетельствует об изменении фазы колебаний данной составляющей на 180° .

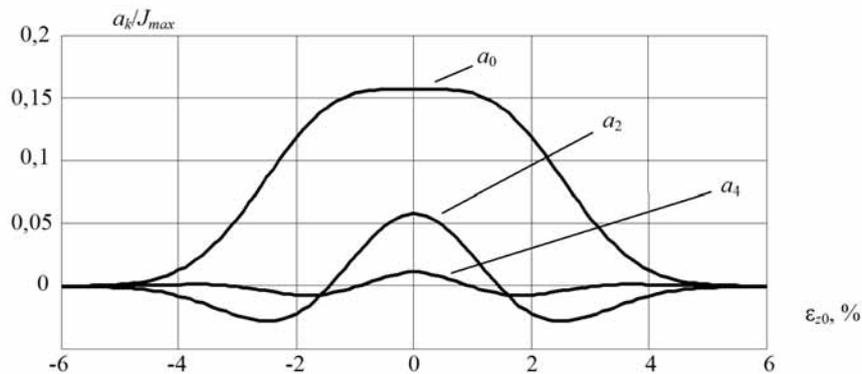


Рис. 5. Зависимости постоянной a_0 и амплитуд косинусоидальных составляющих от смещения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления: $\Delta = 0,1$ мм; $\varphi = 45^\circ$

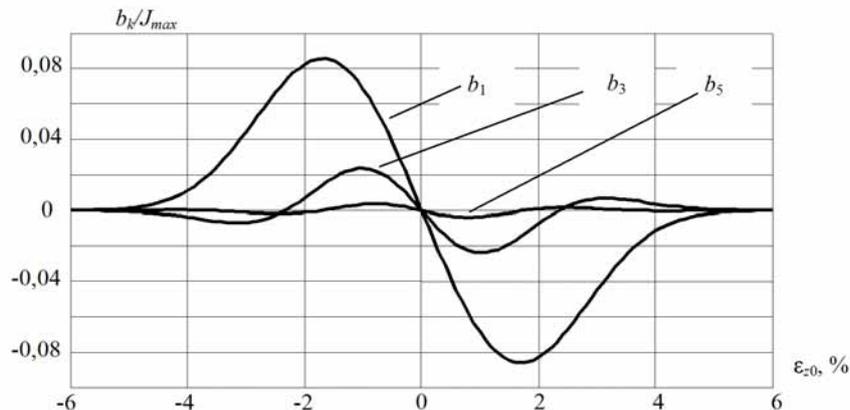


Рис. 6. Зависимости амплитуд синусоидальных составляющих от смещения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления: $\Delta = 0,1$ мм; $\varphi = 45^\circ$

Проведенные исследования позволяют предложить простой способ получения информации о глубине проплавления, заключающийся в частотной селекции сигнала датчика рентгеновского излучения, т. е. в выделении, например, составляющей с частотой ω и ее использовании для управления параметрами ЭЛС (током луча или его фокусом). Для управления глубиной проплавления целесообразно использовать составляющую с частотой, равной частоте поискового движения, так как ее амплитуда b_1 (наибольшая по сравнению с амплитудами b_2 и b_3) и фаза однозначно определяют положение пятна нагрева в канале проплавления.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– интенсивность рентгеновского излучения, возникающего при ЭЛС, несет информацию о глубине проплавления;

– контроль глубины проплавления при регистрации рентгеновского излучения со стороны ввода электронного луча основан на определении положения источника излучения в канале проплавления коллимированными рентгеновскими датчиками по максимуму интенсивности;

– введение поискового движения приводит к появлению в спектре рентгеновского излучения составляющих

с частотами, кратными частоте поискового движения, которые несут информацию о глубине проплавления. Так, амплитуда спектральной составляющей с частотой поискового движения пропорциональна смещению пятна нагрева относительно оси рентгеновского датчика. При этом характер изменения этой составляющей не зависит от параметров ЭЛС (тока луча, тока фокуса), т. е. если пятно нагрева (источник излучения) совпадает с осью коллимированного датчика, то амплитуда составляющей равна нулю. Изменение параметров ЭЛС влияет на крутизну амплитуды при смещении пятна нагрева относительно оси датчика, т. е. на коэффициент преобразования;

– математические модели коллимированного рентгеновского датчика могут быть использованы для разработки схемотехнических решений устройств управления глубиной проплавления при ЭЛС.

Библиографическая ссылка

1. Браверман, В. Я. Экспериментальные исследования рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке / В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, А. Н. Успенский // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева : сб. науч. тр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Вып. 6. Красноярск, 2005. С. 196–200.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev, T. G. Veisver

CONTROL OF MELTING DEPTH BY X-RAY RADIATION DURING ELECTRON-BEAM WELDING

The possibility of control of melting depth by X-RAY radiation during electron-beam welding is considered.

Keywords: electron beam welding, x-ray radiation, melting depth.

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., Вейсвер Т. Г., 2010

УДК 621.791

С. Л. Бусыгин, А. П. Рукосуев, С. К. Крушатина, А. И. Демченко, А. С. Рафальский

ПРИМЕНЕНИЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ*

Разработаны ресурсосберегающая технология и универсальная установка для изготовления электродов контактной сварки из утилизированных медных отходов.

Ключевые слова: контактная сварка, электроды для контактной сварки.

На сегодняшний день контактная сварка занимает второе место в мире по распространенности и применяется в машиностроении, автомобилестроении, авиационно-космической промышленности, строительстве и др. Элек-

троды контактной сварки являются основным инструментом, технически осуществляющим процесс образования сварной точки, и состоят из рабочей части $L1$, основной части $L2$, посадочной части $L3$ и охлаждающего отвер-

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 62-КФ).