

Metoda wyznaczenia kąta zderzenia płyt w procesie zgrzewania wybuchowego

Method of the impact angle determination during explosive welding

MARIUSZ PRAŻMOWSKI
KRZYSZTOF MUSKAŁA
HENRYK PAUL *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.515

W procesie zgrzewania wybuchowego ważnym zagadnieniem jest dobór parametrów procesu, takich jak: kąt zderzenia płyt, prędkość detonacji oraz prędkość punktu kontaktu. Możliwość pomiaru oraz teoretycznego wyznaczenia tych parametrów ma kluczowe znaczenie na etapie projektowania układów dla technologii zgrzewania wybuchowego. W pracy przedstawiono metodę umożliwiającą wyznaczenie kąta zderzenia płyt oraz opracowano model matematyczny, który był podstawą przeprowadzenia symulacyjnych pomiarów kąta zderzenia.

SŁOWA KLUCZOWE: zgrzewanie wybuchowe, parametry procesu, kąt zgrzewania, metoda skośnych sond

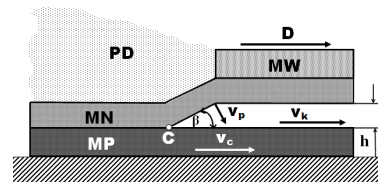
In the process of explosive welding important issue is the selection of process parameters such as: impact angle, detonation velocity and the velocity of the collision point. The experimental measurements and theoretical determination of these parameters is of key importance at the stage of designing systems for explosive welding technology. New method for the determination of the impact angle during explosive welding was presented and the mathematical model was formulated in this paper. They were a basis to carry out simulation measurements of the impact angle.

KEYWORDS: explosive welding, process settings, impact angle, oblique probes method

Zaletą zgrzewania wybuchowego w stosunku do powszechnie stosowanych metod spajania jest brak strefy wpływu ciepła oraz ciągłego przetopu materiałów łączonych, a także możliwość łączenia różnego rodzaju metali, przy zachowaniu dobrej jakości złącza.

W technologii platerowania wybuchowego w wyniku zainicjowania procesu detonacji następuje wytworzenie frontu przemieszczającego się z prędkością detonacji D wzdłuż płyt łączonych. Front ten wytwarza ciśnienie uginające początkowo blachę nakładaną, by następnie przesuwając ją pod odpowiednim kątem (β), łączyć z materiałem podstawowym. W wyniku zderzenia z odpowiednią prędkością (v_P) i pod odpowiednim kątem, pomiędzy blachą nakładaną (MN) i podstawową (MP) formowany jest strumień odwrotny (v_K) wywołujący zjawisko samooczyszczenia powierzchni. Zjawisko to pozwala usunąć z powierzchni łączonych płyt cienkie warstewki tlenków oraz różnego rodzaju zanieczyszczenia, stwarzając tym samym idealne warunki do ich wzajemnego oddziaływania [1–2, 4]. Przebieg zderzenia płyt podczas platerowania wybuchowego przedstawiono na rys. 1.

Dobór parametrów procesu ma decydujący wpływ na charakterystykę i morfologię uzyskanego połączenia,



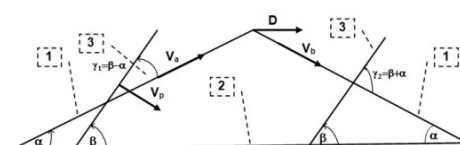
Rys. 1. Schemat zderzenia płyt podczas platerowania wybuchowego w układzie równoległym [5]

a tym samym własności wytrzymałościowe otrzymanego plateru.

Uzyskanie połączenia podczas zgrzewania wybuchowego możliwe jest tylko w pewnym zakresie parametrów zderzenia, które są ograniczone minimalnymi i maksymalnymi parametrami krytycznymi. Według Walczaka [4] parametrami zderzenia są kąt zderzenia β oraz prędkość kontaktu v_c , a ich wyznaczenie pozwala zbudować wykres zgrzewalności $\beta = f(v_c)$, na podstawie którego można określić obszar, w jakim możliwe jest uzyskanie połączenia monometalicznego. Możliwość pomiaru oraz teoretycznego wyznaczenia powyższych parametrów ma kluczowe znaczenie przy projektowaniu układów dla technologii platerowania wybuchowego.

Wyznaczenie kąta zderzenia metodą dwóch skośnych sond

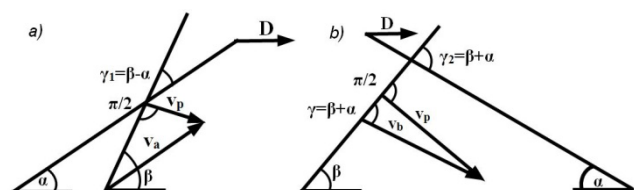
W celu wyznaczenia kąta zgrzewania można wykorzystać proponowany przez Babulę układ do ciągłego pomiaru prędkości spajania. W układzie tym wykorzystano sondy pomiarowe działające na zasadzie skracanego rezystora. Opis układu oraz zasadę pomiaru zaprezentowano w pracy [1]. Znając długość sond, kąt ich ustawienia oraz czas skracania, można wyznaczyć średnie prędkości przebiegów spajania, a uzyskane wartości, po wyprowadzeniu odpowiednich zależności geometrycznych, pozwolą na wyznaczenie kąta zderzenia β . Układ pomiarowy składa się z dwóch drutów oporowych (1) ułożonych w stosunku do płyty podstawowej (2) pod kątem α oraz przemieszczającego się pod kątem β fragmentu płyty ruchomej (3). Na rys. 2 zamieszczone zostały odpowiednie wektory poszczególnych prędkości.



Rys. 2. Schemat pomiaru kąta zderzenia: 1 – drut oporowy, 2 – płyta podstawowa, 3 – fragment płyty ruchomej podczas zgrzewania, D – prędkość detonacji, v_p – prędkość zderzenia, v_a – prędkość skracania wstępującego drutu „a”, v_b – prędkość skracania zstępującego drutu „b”, β – kąt zderzenia, α – kąt ustawienia drutu

* Dr Mariusz Prażmowski (m.prazmowski@po.opole.pl), inż. Krzysztof Muskała – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny; prof. dr hab. inż. Henryk Paul – IMIM PAN w Krakowie

W celu wyznaczenia zależności geometrycznych pomiędzy przedstawionymi prędkościami należy dokonać analizy lewej i prawej strony układu przedstawionego na rys. 2.



Rys. 3. Zależności geometryczne pomiędzy prędkościami dla drutu: a) wstępującego, b) zstępującego

Opierając się na geometrycznym schemacie zderzenia płyt, proponowanym przez Babulę [1], prędkość zderzenia możemy wyznaczyć z równania:

$$V_p = D \cdot \sin \beta \quad (1)$$

gdzie: V_p – prędkość zderzenia płyt, D – prędkość detonacji, β – kąt zderzenia.

Analizując rys. 3a i stosując wynikające z niego zależności trygonometryczne dla równania (1), otrzymujemy wyrażenie na prędkość skracania drutu wstępującego (V_a) w postaci równania:

$$V_a = \frac{D \cdot \sin \beta}{\sin \beta \cdot \cos \alpha - \cos \beta \cdot \sin \alpha} \quad (2)$$

Analogicznie postępując z prawą częścią schematu przedstawionego na rys. 2, wyznaczamy zależności trygonometryczne pomiędzy prędkością skracania drutu zstępującego (V_b), a prędkością zderzenia (V_p). Zależność tę opisano równaniem:

$$V_p = V_b \cdot \sin \gamma_2 \quad (3)$$

Wykorzystując zależności przedstawione na rys. 3b oraz odpowiednie przekształcenia geometryczne, uzyskano końcowe wyrażenie na prędkość skracania drutu zstępującego w postaci równania:

$$V_b = \frac{D \cdot \sin \beta}{\sin \beta \cdot \cos \alpha + \cos \beta \cdot \sin \alpha} \quad (4)$$

Opisane równaniami (2) i (4) prędkości skracania poszczególnych drutów są podstawą do określenia kąta zderzenia β , jednakże jest to możliwe przy założeniach, że detonacja jest ciągła, a jej prędkość jest stała na całej długości drutów. Warunek ten opisuje równanie:

$$D_a = D_b \quad (5)$$

Przekształcając równania (2) i (4), a następnie podstawiając je do równania (5), otrzymamy równanie (6), które pozwoli wyznaczyć tangens kąta zderzenia β :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V_a + V_b}{V_a - V_b} \operatorname{tg} \alpha \quad (6)$$

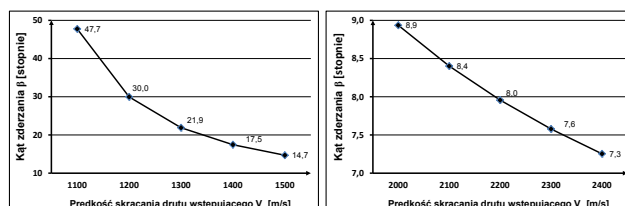
Mnożąc równanie (6) przez funkcję cyklotometryczną $\operatorname{arctg}(x)$, można wyznaczyć wartość kąta zderzenia β w zależności od prędkości skracania drutów oporowych oraz wstępnego kąta ich ustawienia. Zależność tę opisuje równanie:

$$\beta = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{V_a + V_b}{V_a - V_b} \operatorname{tg} \alpha \right) \quad (7)$$

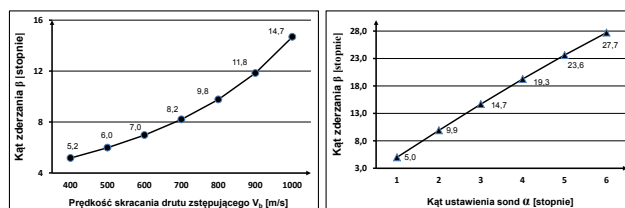
Wartości prędkości skracania poszczególnych sond można wyznaczyć na podstawie odczytów wskazań oscyloskopu podłączonego do układu pomiarowego opisanego przez Babulę [1].

Symulacyjne wyniki pomiarów

Na podstawie przedstawionego modelu matematycznego opracowano algorytm numeryczny, który pozwolił na wyznaczenie kąta zderzenia w zależności od prędkości skracania się drutu wstępującego (V_a) i zstępującego (V_b) oraz wstępnego kąta ustawienia drutu α . Obliczenia przeprowadzono w oparciu o wybrane dane literaturowe [1, 4]. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 4–5.



Rys. 4. Wartość kąta zgrzewania β w zależności od zmian prędkości skracania V_a sondy wstępującej dla: a) niskich prędkości, b) wysokich prędkości. Prędkość skracania sondy zstępującej $V_b = \text{const} = 1000$ m/s



Rys. 5. Wartość kąta zgrzewania β w zależności od: a) zmian prędkości skracania V_b sondy zstępującej, b) kąta ustawienia sond α , w stosunku do płyty podstawowej; prędkość skracania sond V_a oraz $V_b = \text{const}$.

Podsumowanie

Badania podstawowych parametrów procesu platerowania wybuchowego, do których zaliczamy między innymi kąt zderzenia płyt, ma bardzo istotny wpływ na prowadzenie tego procesu i tym samym na jakość uzyskanego połączenia. Szczegółowa analiza obliczeń symulacyjnych kąta zgrzewania, przeprowadzonych w oparciu o zaproponowany model, pozwala stwierdzić, że:

1. Wartość kąta zderzenia przy pomiarze metodą dwóch skośnych drutów zależy od prędkości skracania drutu wstępującego i zstępującego oraz kąta ustawienia sond pomiarowych w stosunku do płyty podstawowej.
2. Pomiar parametrów proponowaną metodą pozwala w sposób ciągły rejestrować kąt zderzenia, a tym samym interpretować zjawiska związane z jego zmianą.

LITERATURA

3. Babul W. „Odształcenie metali wybuchem”. Warszawa: WNT, 1980.
4. Banker J., Reineke E. „Explosion Welding, ASM Handbook, vol. 6 Welding Brazing and Soldering”. ASM International, 1993.
5. Dya H., Maranda A., Trębiński R. „Zastosowanie technologii wybuchowych w inżynierii materiałowej”. Częstochowa: Wyd. Wydziału Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Politechniki Częstochowskiej, 2001.
6. Walczak W. „Zgrzewanie wybuchowe metali i jego zastosowanie”. Warszawa: WNT, 1989.
7. Prazmowski M., Paul H. „The effect of stand-off distance on the structure and properties of zirconium – carbon steel bimetal produced by explosion welding”. *Archives of Metallurgy and Materials*. Vol. 57, No. 4 (2012): pp. 1201–1210.