

Ewa Harapińska
ZBM Ultra Sp. z o. o.

Badania ultradźwiękowe zgrzein punktowych w aspekcie ich standaryzacji

Ultrasonic inspection of spot welds concerning their standardization

STRESZCZENIE

Normy jakościowe w obszarze zgrzein punktowych obejmują laboratoryjne badania niszczące oraz ręczne próby odrywania. Nie istnieją natomiast aktualnie żadne uniwersalne wytyczne dotyczące przeprowadzania i kryteriów oceny jakości zgrzein punktowych w obszarze badań nieniszczących, pomimo że są wymogi by je przeprowadzać. W artykule opisano budowę zgrzeiny punktowej oraz problemy w przeprowadzaniu badań ultradźwiękowych. Pomimo braku uniwersalnych wytycznych jakościowych zaproponowano rozwiązanie w postaci zestawu do badań ultradźwiękowych ZBM Ultra Sp. z o. o., na który składa się defektoskop, głowica oraz dedykowane oprogramowanie, dzięki któremu można wprowadzać własne kryteria jakościowe w zależności od zapotrzebowania. Oprogramowanie jest intuicyjne, dzięki czemu badanie przebiega szybko, a ocena jest jednoznaczna i pewna.

Słowa kluczowe: zgrzewanie rezystancyjne; budowa zgrzeiny punktowej; normalizacja procesu zgrzewania; badania ultradźwiękowe; system do

ABSTRACT

The standardization in the area of spot welds is limited to laboratory destructive testing and manual peel testing. However, there are currently no universal guidelines regarding the performance and quality criteria of non-destructive testing, despite the requirement to conduct such tests. The article describes the structure of a spot weld and the problems in conducting ultrasonic testing. Despite the lack of universal quality guidelines, a solution was proposed in the form of the ZBM Ultra Sp. z o. o. ultrasonic testing kit, which consists of a flaw detector, a probe, and dedicated software which allows for custom quality criteria depending on the needs. The software is user-friendly and intuitive, which ensures the testing is fast and the evaluation is clear and reliable assessment.

Keywords: resistance spot welding; spot weld construction; spot welding process standardization; ultrasonic testing; system for automatic spot weld evaluation.

1. Rezystancyjne zgrzewanie punktowe

Zgrzewanie punktowe jest procesem technologicznym, w którym w przeciwieństwie do spawania otrzymuje się połączenie lokalne, impulsowe, ale równie wytrzymałe dla podobnych wymiarów pola przekroju poprzecznego. Źródłem ciepła jest opór elektryczny na granicy styku łączonych elementów, przez które przepływa prąd [1]. Dodatkowo elementy poddaje się odkształceniu plastycznemu w postaci osiowego docisku w celu powstania jednorodnego jądra zgrzeiny.

Ciepło w trakcie zgrzewania oporowego uzyskuje się w wyniku rezystancji na styku łączonych blach, zgodnie z zasadą Joule'a-Lenza (1):

$$Q(t) = \int_0^t R(t) \cdot I^2(t) \cdot dt \quad (1)$$

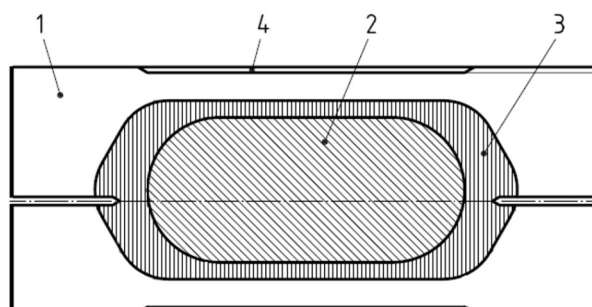
Temperaturę jaką należy osiągnąć jest temperatura topnienia łączonych elementów. Proces ten komplikuje się jednak, jeśli elementy łączone są pokryte powłoką np. są stalowymi blachami ocynkowanymi. Występujące skomplikowane i złożone zjawiska prowadzą [1]:

- do chemicznej degradacji końcówek elektrod;
- do powstania kruchych faz międzymetalicznych powodujących w przyszłości powstanie pęknięć;

- niska temperatura wrzenia (sublimacji) tlenku cynku względem materiału łączonego, może prowadzić do powstania zamkniętych pęcherzy wewnątrz jądra zgrzeiny.

2. Budowa zgrzeiny

Budowa zgrzeiny punktowej w przekroju poprzecznym została przedstawiona na Rys.1.



Rys. 1. Strefy w przekroju poprzecznym zgrzeiny punktowej; 1 – materiał podstawowy, 2 – jądro zgrzeiny, 3 – strefa wpływu ciepła (SWC), 4 – wgniot [2].

Fig. 1. Zones in the cross-section of a spot weld; 1 – material, 2 – weld nugget, 3 – heat-affected zone, 4 – dent [2].

*Autor korespondencyjny.

E-mail: ewa.harapinska@ultra.wroclaw.pl

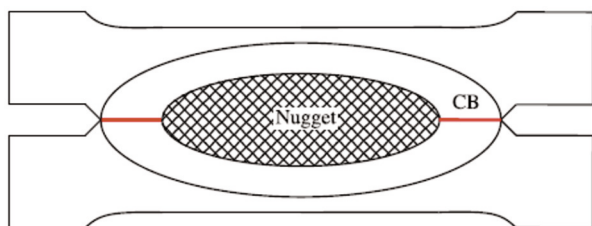


Fig. 2. Corona bond zone [4].

w przeciwnym przypadku stanowi jedyną formę połączenia dwóch elementów między sobą [3,4]. W trakcie pracy takiego połączenia corona bond jest miejscem strategicznym połączenia, ponieważ od niego będą inicjować się pęknięcia w strefie transkrystalizacji. Niepodważalną jego zaletą jest ograniczenie występowania zjawiska ekspulsji, które w sposób znaczący osłabia wytrzymałość złącza zmniejszając jego przekrój poprzeczny. Jest ono również kluczowe przy badaniu ultradźwiękowym, o czym w dalszej części niniejszego artykułu.

Normalizacja bardzo skąpo traktuje o zgrzeinach rezystancyjnych punktowych. O ile wytyczne dotyczące projektowania, kwalifikowania i oceny niezgodności złączy spawanych są znormalizowane, to w przypadku zgrzewanych złączy punktowych na próżno szukać takich odpowiedników. Do tej pory ogromne źródło wiedzy mogą stanowić normy z lat siedemdziesiątych, w których znajdują się tablice z wprost podanymi wartościami do przeprowadzenia procesu zgrzewania dla odpowiadających im materiałów w przypadku niniejszego artykułu stali niestopowych (Tab. 1.).

Tab. 1. Initial sheet metal spot welding parameters [5].

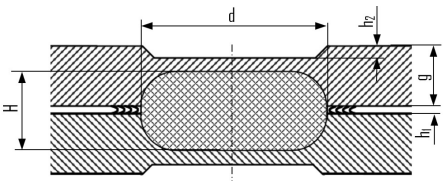
Parametry miękkie							
Grubość blach <i>mm</i>	Siła docisku elektrod <i>daN</i>	Natężenie prądu zgrzewania <i>A</i>	Czas zgrzewania <i>s</i>	Wymiary elektrod			Średnica zgrzeiny <i>d_z</i> <i>mm</i>
				<i>D_{min}</i> <i>mm</i>	<i>d_e</i> <i>mm</i>	<i>R</i> <i>mm</i>	
0,5	60	4000	0,2	10	4,0	50	3,5
1,0	100	5000	0,4	12	5,0	75	4,5
1,5	150	6000	0,8	16	6,0	75	5,5
2,0	200	7000	1,0	16	7,0	75	6,5
2,5	250	8000	1,5	19	8,0	75	7,5
3,0	300	9000	2,0	19	9,0	100	8,5
Parametry twarde							
0,5	150	6500	0,06	10	4,0	50	3,5
1,0	250	9000	0,12	12	6,0	75	4,5
1,25	300	10000	0,16	12	6,0	75	5,0
1,50	350	11000	0,2	16	6,0	75	5,5
2,0	500	14000	0,3	16	7,0	75	6,5
2,5	700	16000	0,5	19	8,0	75	7,5
3,0	800	18000	0,6	19	9,0	100	8,5
Przy stosowaniu narastania prądu należy zwiększyć czas zgrzewania o około połowę czasu narastania. Zwiększoną zawartość zgrzein uzyskuje się wprowadzając po czasie przepływu prądu zgrzewania dodatkowy docisk przekuwania.							

W normie PN-74/M-69020 zawarto informacje dotyczące kontroli jakości połączeń nierozłącznych oraz określono trzy klasy jakości zgrzein punktowych: A, B, C, gdzie klasa A odpowiada klasie najwyższej, natomiast C najniższej klasyfikowanej. Norma określa jaka powinna być minimalna

siła niszcząca zgrzeinę – dla badań niszczących, jakie są wymiary charakterystyczne dla zgrzeiny (wymiar jądra, wysokość wgniotu), opisuje dopuszczalność występowania niezgodności wewnętrznych oraz stan wizualny zgrzeiny (Tab. 2.) [6].

Tab. 2. Klasyfikacja jakości zgrzein wg PN-74/M-69020 [6].

Tab. 2. Classification of spot welds quality according to PN-74/M-69020 [6].

Klasa jakości	Grubość części zgrzewanych g	Minimalna siła niszcząca zgrzeinę w daN dla stali o R_m MPa			Wymiary zgrzeiny mm		Niezgodności wewnętrzne dopuszczalne w zgrzeinie	Ocena wizualna zgrzeiny
		300	340	380	d_{min}	H, h_1 , h_2		
A	0,5+0,5	230	250	290	4,0	$H=(0,8-1,6)g$ $h_1 \leq 0,1g$	Niezgodności wewnętrznych nie dopuszcza się	Dopuszcza się pierścieniową strefę utlenienia metalu wokół zgrzeiny
	1,0+1,0	430	500	550	5,0			
	1,5+1,5	710	800	910	6,0			
	2,0+2,0	1050	1200	1320	7,0			
	2,5+2,5	1470	1670	1870	8,0			
	3,0+3,0	1920	2180	2430	9,0			
B	0,5+0,5	130	140	160	3,0	$h_2 \leq 0,1g$	Sumaryczna powierzchnia niezgodności w postaci jamy usadowej, pęcherzy, pęknięć itp. nie może być większa niż 5% powierzchni zgrzeiny; największy wymiar liniowy niezgodności nie może przekroczyć 20% średnicy zgrzeiny; występujące niezgodności skupione w części środkowej jądra zgrzeiny muszą być w odległości od granic jądra nie mniejszej niż 15% średnicy	Dopuszcza się pierścieniową strefę wokół zgrzeiny oraz częściowe utlenienie powierzchni
	1,0+1,0	280	320	350	4,0			
	1,5+1,5	490	550	630	5,0			
	2,0+2,0	770	880	970	6,0			
	2,5+2,5	1120	1280	1430	7,0			
	3,0+3,0	1520	1720	1920	8,0			
C	0,5+0,5	90	100	110	nie określa się	nie określa się	nie określa się	
	1,0+1,0	210	240	270				
	1,5+1,5	400	450	510				
	2,0+2,0	650	740	810				
	2,5+2,5	970	1100	1240				
	3,0+3,0	1330	1510	1690				
d – średnica jądra zgrzeiny, g – grubość części, H – wysokość jądra zgrzeiny, h_1 – wysokość odstępu między częściami, h_2 – wysokość wgniotu zgrzeiny.								

Całość opisana jest w sposób jasny i czytelny dla użytkownika normy. Większość kombinacji grubości połączeń nie wymaga przeliczeń, ponieważ jest wprost wypisana w tablicach do szybkiego odczytu. Jest to zatem niepodważalne źródło wiedzy teoretycznej i praktycznej, które do tej pory potrafi usprawnić procesy projektowania, wykonywania i kontroli zgrzein punktowych.

Niestety normy te, choć zawierają wiedzę poprawną ze strony technicznej projektowania, zostały wycofane bez zastąpienia. Oznacza to, że o ile mogą być stosowane właśnie do projektowania konstrukcji o tyle ciężko jest zaimplementować zawarte w nich wytyczne do oceny jakości w aktualnych systemach zarządzania jakością podczas procesu produkcji zgrzein punktowych.

Obecny stan normalizacji z zakresu zgrzewania oporowego punktowego w głównej mierze obejmuje charakterystykę oprzyrządowania - urządzenia oraz elementy eksploatacyjne, a także projektowanie samego procesu zgrzewania. Dokumenty te, choć bardzo obszerne, nie podają w równie przystępny i bezpośredni sposób parametrów zgrzewania, jak miało to miejsce w polskich normach sprzed pięćdziesięciu lat. Na polu badania jakości jest dostępna norma PN-EN ISO 10447, która zawiera dwa rodzaje badania: z wykorzystaniem tzw. młotka i przecinaka oraz próba wyłuskiwania. Są to metody niszczące, które jednoznacznie zobrazują charakter przełomu złącza. Niepodważalną ich zaletą jest to, że są niezawodne – jednoznacznie oceniają aktualny stan danej zgrzeiny. Wadą natomiast jest ogromna ilość produkowanego złomu oraz wysokie prawdopodobieństwo wypadków przy wykonywaniu prób. Jeśli chodzi o wady samej normy to wprowadza ona ograniczenie do złączy, których grubsza blacha ma maksymalnie 3 mm – co wynika z limitu ręcznego przeprowadzania badań [7]. Oczywiście istnieją normy z zakresu badań laboratoryjnych prób technologicznych tj. próby zmęczeniowe, weryfikacji takich parametrów złącza jak udarność, odporność na skręcanie, ściskanie, rozciąganie czy próby zmechanizowane, natomiast nie są one przedmiotem tej publikacji.

To czego na próżno aktualnie szukać to jednoznacznych kryteriów jakościowych by móc w pewny sposób, z jak najmniejszym prawdopodobieństwem popełnienia błędu dokonać oceny i przypisać poziom jakości, jak ma to miejsce w przypadku złączy spawanych i normy PN-EN ISO 5817. Przez to, każdy zakład wykorzystujący połączenia zgrzewane punktowo musi we własnym zakresie opracować kryteria jakości, najczęściej OK/NOK w oparciu, o które będzie dokonywać oceny stanu zgrzein punktowych. Warto dodać, że w przypadku złączy spawanych istnieje tłumaczenie z normy PN-EN ISO 5817 na inne normy dla poszczególnych metod badań nieniszczących w postaci normy PN-EN ISO 17635. Natomiast dla zgrzein punktowych również należałoby przełożyć wartości oceny, najlepiej po wykonaniu badań makrograficznych oraz fraktografii.

Jedyną normą, o którą aktualnie można się oprzeć przy konstruowaniu wytycznych oceny zgrzein punktowych wewnątrz przedsiębiorstwa, jest norma PN-EN ISO 6520-2: Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych

w metalach – Część 2 Zgrzewanie. Norma ta zawiera katalog niezgodności, które mogą wystąpić z podziałem na 6 grup:

1. pęknięcia,
2. pustki,
3. wtrącenia stałe,
4. braki przetopu,
5. niezgodności kształtu i wymiaru (geometrii),
6. niezgodności różne.

Warto nadmienić, że nie wszystkie wymienione niezgodności będą dotyczyć zgrzewania rezystancyjnego punktowego. W załączniku A, są uwzględnione procesy zgodne z PN-EN ISO 4063, które obejmuje dany katalog. Dodatkowo każda niezgodność została przypisana do produktów konkretnych procesów, w których może wystąpić (Rys. 3 – zgrzewanie punktowe oporowe proces nr 21) [8].

Warto jeszcze raz podkreślić, że nie podano informacji dotyczących konsekwencji powstania wspomnianych niezgodności, ponieważ zależą one od wymagań określonych dla złącza. Stąd wymogi co do oceny złącza są niezbędne do kwalifikowania elementów zdalnych do pracy.

Badania niszczące zgrzein punktowych istnieją w normalizacji oraz w mniejszym lub większym stopniu wyczerpują temat w zależności od wymagań. Nie ma natomiast żadnego dokumentu dotyczącego przeprowadzania badań nieniszczących. Niniejsza publikacja powstała w oparciu o współpracę z klientami z różnych dziedzin przemysłu, dzięki której udało się opracować system do badania ultradźwiękowego zgrzein punktowych wykorzystujący głowicę jednoprzetwornikową. Co ważne, system wykorzystuje uniwersalny defektoskop ultradźwiękowy stosowany chociażby do badań złączy spawanych lub odkuwek.

4. Badania ultradźwiękowe

Badania ultradźwiękowe konwencjonalne, co do zasady można podzielić na dwa głównie stosowane w przemyśle rodzaje: technikę echa i transmisji. W technice transmisji stosuje się dwie głowice do badań – jedną nadawany jest kwant energii w postaci fali mechanicznej o częstotliwości ultradźwiękowej, drugą odbiera się pozostałości nierozproszonej energii. W zależności od zastosowania, głowica może znajdować się na przeciwległej ścianie w przypadku głowic prostych lub kątowych lub na tej samej powierzchni co przyłożona głowica – w przypadku głowic kątowych. Informacją zwrotną jest wzmocnienie echa dna. Jeśli na drodze wiązki znajdzie się jakikolwiek reflektor i ją przysłoni to ilość energii, która zostanie zarejestrowana przez odbiornik będzie niższa. W innym przypadku będzie niższa tylko o energię utraconą na szerokość wiązki, tłumienie oraz pochłanianie materiału, a także rozpraszanie na powierzchniach przyłożenia głowic. Problemem jaki jest kluczowy przy zastosowaniu tej techniki jest zachowanie idealnego ułożenia głowic w osi wiązki.

Technika echa ma w samej nazwie zawartą zasadę jej działania, która polega na rejestrowaniu zwrotnego impulsu fali ultradźwiękowej. Pozwala na zastosowanie jednej głowicy, co znacznie ułatwia przeprowadzanie badań. Istotną zaletą tej techniki badania jest określanie głębokości zalegania

EN ISO 4063	21	221	222	225	23	24	25	291	41	42	43	441	45	47	48	783 bis 787	782	74
Schweißprozess	Widerstands-Punktschweißen	Überlapp-Rollennahschweißen	Quetschnahschweißen	Foliennahschweißen	Buckelschweißen	Abbrennstumpfschweißen	Pressstumpfschweißen	Widerstandspressschweißen mit Hochfrequenz	Ultraschallschweißen	Reibschweißen	Feuerschweißen	Sprengschweißen	Diffusionsschweißen	Gaspressschweißen	Kaltpressschweißen	Lichtbogenbolzenschweißen	Widerstandsbolzenschweißen	Induktionsschweißen
Nummer																		
P 100																		
P 1001	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
P 101																		
P 1011		x	x	x		x	x	x	x			x	x		x			x
P 1013		x	x	x		x	x	x	x			x	x					x
P 1014			x								x	x	x		x			x
P 102																		
P 1021		x	x	x		x	x	x	x			x	x		x			x
P 1023		x	x	x		x	x	x	x			x	x		x			x
P 1024			x									x			x			
P 1100	x	x			x											x	x	
P 1200	x				x												x	
P 1300	x	x			x			x										
P 1400	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x			x			x	x
P 1500	x	x	x	x	x	x	x	x					x					
P 1600	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x		x	x			
P 1700						x	x	x			x			x	x			
P 200																		
P 201																		
P 2011	x	x		x	x	x		x		x		x		x		x	x	x
P 2012	x	x		x	x	x		x	x	x		x		x		x	x	x
P 2013	x	x		x	x	x		x	x			x		x		x	x	x
P 2016		x		x										x				x
P 202	x	x	x	x	x	x								x		x	x	
P 203	x	x																
P 300																		
P 301						x	x	x			x			x		x	x	x
P 303	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x		x	x	x
P 304	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
P 306						x												

Rys. 3. Pierwsza część tabeli A.1 z PN-EN ISO 6520-2 [8].

Fig. 3. The first part of table A.1 from PN-EN ISO 6520-2 [8].

reflektora (o ile zachowana jest odpowiednia rozdzielczość badania), a także możliwość zgrubnego szacowania wielkości reflektora równoważnego. Bezpośrednim wynikiem badania jest czas przejścia impulsu w materiale. Znając prędkość propagacji, gdyż jest to jego właściwość – prędkość dźwięku – można określić drogę przebytą przez falę. Dzięki prostej zależności pomiędzy drogą, czasem, a prędkością wyznaczana jest głębokość zalegania reflektora. Oceny można dokonywać na przykład na podstawie krzywych odniesienia OWR lub DAC.

5. Badanie ultradźwiękowe zgrzein punktowych

Problem badania ultradźwiękowego zgrzein punktowych polega na tym, że są to elementy niewielkiej grubości, więc trzeba liczyć się z ograniczoną rozdzielczością badania. Warto jednak przeanalizować w jakim celu są robione badania tych połączeń. Kontrolerowi może zależeć na wykryciu wtrąceń i pojedynczych pęcherzy albo lokalizacji przetopu materiału oraz jednoznaczne różnicowanie złączy przyklejonych. W większości przypadków należy właśnie dokonać oceny złącza ze względu na możliwość wystąpienia przyklejenia bądź całkowitego braku przetopu i na tym

skoncentrowano się w rozwiązaniu przedstawionym w dalszej części artykułu.

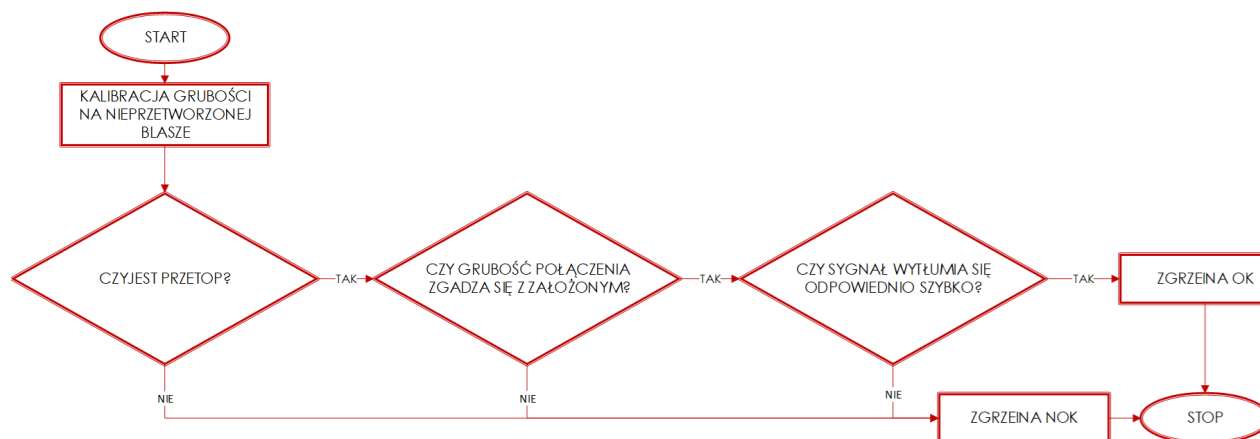
Aparatura badawczo-pomiarowa składa się z defektoskopu uniwersalnego wraz z oprogramowaniem oraz głowicy ultradźwiękowej z linią opóźniającą (Rys. 4.). Głowicę należy dobrać pośrednio ze względu na grubość zgrzewanych blach, ponieważ będzie determinowała średnicę użytych nasadek zewnętrznych elektrod do zgrzewania. Im grubsze blachy tym większą średnicę przetwornika należy dobrać.

Linia opóźniająca spełnia rolę odsunięcia strefy badania od strefy martwej. Dodatkowo linia opóźniająca wykonana ze specjalnego rodzaju polistyrenu została zaprojektowana w taki sposób by impuls nadawczy został wzmocniony, a nie wyciszony, uzyskując najlepszy stosunek energetyczny bez dodatkowego udziału wzmocnienia. Użyta głowica ma częstotliwość 10MHz, co umożliwia ocenę występowania przyklejeń w połączeniach blach grubości 1,15 mm. Uniwersalny defektoskop ultradźwiękowy firmy ZBM Ultra wyposażono w dedykowaną aplikację do oceny zgrzein punktowych. Schemat działania aplikacji przedstawiono na Rys. 5, a jej przykładowy zrzut menu przedstawiono na Rys. 6.



Rys. 4. Sprzęt do badania zgrzein punktowych firmy ZBM Ultra Sp. z o. o.; 1 – głowica ultradźwiękowa, 2 – próbka z połączeniami zgrzewanymi punktowo, 3 – defektoskop UT.

Fig. 4. ZBM Ultra Sp. z o. o. spot weld testing equipment; 1 – ultrasonic probe, 2 – sample with spot welded joints, 3 – UT flaw detector.



Rys. 5. Schemat blokowy działania dedykowanej aplikacji do badań ultradźwiękowych zgrzein punktowych.

Fig. 5. Flowchart of the dedicated application for ultrasonic testing of spot welds.



Rys. 6. Menu aplikacji do badania zgrzein punktowych firmy ZBM Ultra Sp. z o. o..

Fig. 6. Application menu for spot weld testing by ZBM Ultra Sp. z o. o..

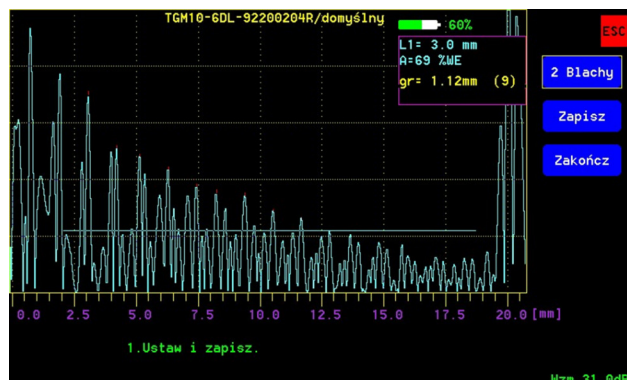
W aplikacji można wpisać typ urządzenia, jego numer oraz inne dane w celu generowania automatycznego raportu na koniec dziennej zmiany. Jest również możliwość dodania modułu, który będzie realizować statystykę spoin prawidłowych (OK) i nieprawidłowych (NOK) w zależności od ich umiejscowienia na elemencie. Merytorycznymi danymi koniecznymi do wprowadzenia są: zakres grubości dla połączeń 2 oraz 3 blach (o ile takie złącza występują). Jest to parametr jakościowy zależny od wymagań wytrzymałościowych. Ilemaxów oznacza dynamikę wy tłumienia dla poprawnego złącza, delta_max. jest parametrem serwisowym.

Rys. 7 przedstawia zrzut ekranu w trakcie kalibracji grubości blachy, do której będzie przykładana głowica pomiarowa (ciąg impulsów malejących z dna blachy). Jeśli miejsce jej przyłożenia będzie leżało na płaszczyźnie innej blachy należy ponownie kalibrację. Czas kalibracji to około 1-2 s.

Zrzut ekranu aplikacji ukazujący przebieg impulsów fali UT dla zgrzeiny poprawnej (wysokiej jakości) przedstawiono na Rys. 8. Można zauważyć, że liczba impulsów przekraczających bramkę jest niewielka i wynosi 2. Jest zastosowany mechanizm automatycznego wzmacniania impulsów by użytkownik nie musiał manualnie korygować wzmacnienia. Defektoskop sam dobiera optymalne wzmacnienie by maksimum pierwszego impulsu mieściło się pomiędzy 60%-80% wysokości ekranu. Następnie, jeśli wszystkie kryteria z menu są spełnione, ekran się zamraża i pojawia się komunikat „Zgrzeina OK, zatwierdź”. Warto na tym etapie dodać, że ostateczna decyzja co do zatwierdzenia oceny zawsze będzie należeć do operatora. Jeśli operator uzna, że jednak w jego ocenie nie należy uznać takiej zgrzeiny jako poprawnej, sam manualnie może ocenić dany punkt jako NOK.

Do porównania obraz z defektoskopu i przebieg impulsów fali UT dla zgrzeiny niepoprawnej (Rys. 9). W takim przypadku nie nastąpi zamrożenie ekranu. Pomimo uzyskania odpowiedniej grubości nie ma spełnienia kryteriów szybkiego wytłumienia sygnału. Można zauważyć, że algorytm korekcji wzmacnienia musiał dodać parę decybeli względem poprzedniego przypadku.

W takim przypadku kontroler przyciska czerwoną ikonę



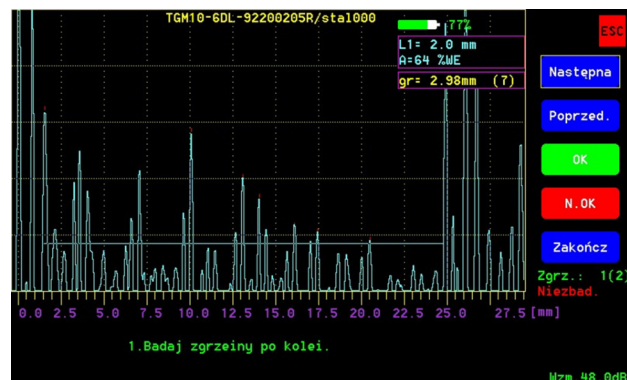
Rys. 7. Zrzut ekranu obrazujący kalibrację.

Fig. 7. Screenshot showing calibration.



Rys. 8. A-scan (przebieg impulsów fali UT) przedstawiający zgrzeinę poprawną.

Fig. 8. A-scan showing the correct spot weld.



Rys. 9. A-scan (przebieg impulsów fali UT) przedstawiający zgrzeinę niepoprawną.

Fig. 9. A-scan showing the incorrect spot weld.

NOK i przechodzi do kolejnego punktu.

Warto dodać, że ze względu na zastosowany sztywny falowód do badania należy zastosować gęsty ośrodek sprzęgający w postaci żelu wypełniającego wgniot. Nie wpływa to na jakość badania, ponieważ zakres obserwacji obejmuje obszar pomiędzy impulsem wejścia w materiał a impulsem odbitym.

6. Wnioski

Polska normalizacja z lat siedemdziesiątych w pełni wyczerpywała zagadnienia projektowania, badania i oceny zgrzein punktowych i cała wiedza była zawarta w normach, które były dostępne i przejrzyste opisane dla ich użytkowników. Aktualne dokumenty o ile wyczerpujące na wielu płaszczyznach w dalszym ciągu nie opisują w jaki sposób przeprowadzać badania nieniszczące połączeń zgrzewanych punktowo pomimo tego, że norma PN EN ISO 14554-1 tego wymaga. Próżno jest również szukać norm jakościowych jako uniwersalnych wytycznych, do których można porównywać wyniki badań.

Jako jedno z rozwiązań problemów zaproponowano uniwersalny ultradźwiękowy defektoskop, w którym można samemu projektować proces badania, ze względu na brak ogólnych wytycznych co do oceny połączeń zgrzewanych punktowo.

7. Literatura

- [1] A. Klimpel, „Spawanie, zgrzewanie i cięcie metali”, wyd. WNT, Warszawa 1999.
- [2] PN-EN ISO 17677-1:2021-08; Zgrzewanie rezystancyjne. Słownictwo. Część 1: Zgrzewanie punktowe, garbowe i liniowe.
- [3] V. Feizollahi, A. Bahmani, N. Nadimi, M. R. Salmani, M. Pouranvari, Y.-D. Park, R. Ashiri, „Factors affecting weld quality in resistance spot welding of advanced high strength steels”, *Scientific Reports* 15, 30012 (2025), Dostęp: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-14174-x>
- [4] L. Santoro, V. Razza, M. De Maddis, „Nugget and corona bond size measurement through active thermography and transfer learning model” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 133, 5883–5896 (2024)., Dostęp: <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14096-4>
- [5] H. Papkala „Zgrzewanie oporowe metali”, wyd. Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe” s.c., Krosno 2003.
- [6] PN-74/M-69020, Spawalnictwo. Klasyfikacja jakości zgrzein punktowych.
- [7] PN-EN ISO 10447:2023, Zgrzewanie rezystancyjne. Badania spoin. Badanie na odrywanie i na odrywanie przecinakiem zgrzein punktowych i garbowych.
- [8] PN-EN ISO 6520-2:2013, Spawanie i procesy pokrewne. Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach. Część 2: Zgrzewanie.