

Hałas słyszalny i ultradźwiękowy przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali

Ultrasonic and audible noise during ultrasonic welding of metals

Streszczenie

Stanowiska zgrzewania ultradźwiękowego do łączenia elementów metalowych związane są z zagrożeniem, jakie dla pracownika stwarza hałas słyszalny i ultradźwiękowy. Zgrzewarki ultradźwiękowe są źródłem niskich częstotliwości ultradźwiękowych. Według istniejącego w Polsce stanu prawnego hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy traktuje się, obok hałasu słyszalnego, jako czynnik szkodliwy, powodujący zagrożenia dla zdrowia pracowników. W widmie hałasu ultradźwiękowego występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich ultradźwiękowych od 10 do 40 kHz

W artykule przedstawiono wyniki badania poziomu ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego oraz hałasu słyszalnego przy zgrzewaniu ultradźwiękowym różnych materiałów metalowych. Badania prowadzono na stanowisku doświadczalnym w Instytucie Spawalnictwa przy zgrzewaniu ultradźwiękowym połączeń jednoimiennych miedź + miedź i stop aluminium + stop aluminium oraz połączeń różnoimiennych typu miedź + stop aluminium. Przedstawiono wyniki symulacji ekspozycji 8-godzinnej na hałas ultradźwiękowy i hałas słyszalny dla operatora na hipotetycznym stanowisku zgrzewania ultradźwiękowego. W artykule przedstawiono również zalecenia techniczne i organizacyjne do profilaktyki zagrożeń akustycznych przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali opracowane na podstawie badań doświadczalnych.

Abstract

Ultrasonic welding of metal elements is a process connected with health hazard caused by ultrasonic and audible noise. Ultrasonic welding machines are source of low frequency ultrasonic noise. According the Polish legal status ultrasonic noise in work environment is treated, apart from audible noise, as a harmful factor which can cause health hazards. Ultrasonic noise covers sounds and ultrasounds of frequency from about 10 to 40 kHz.

This paper presents the results of measurements of sound pressure level of ultrasonic noise and audible noise during ultrasonic welding of different metal elements. Research was carried out on the experimental workstation in Instytut Spawalnictwa during ultrasonic welding of joints like copper + copper, aluminium alloy + aluminium alloy and joints like copper + aluminium alloy. Results of simulation of 8-hour working day exposure on ultrasonic and audible noise for the operator at hypothetical workstation are also shown in the paper. This paper presents also technical and organizational recommendations for prevention from acoustic hazards during ultrasonic welding of metals which were elaborated on the basis of experimental research.

Wstęp

Zgrzewanie ultradźwiękowe stosowane jest obecnie w produkcji różnego typu złączy w przemyśle elektrotechnicznym oraz w telekomunikacji i motoryzacji.

Dr inż. Jolanta Matusiak, mgr inż. Joanna Wyciślik – Instytut Spawalnictwa, Gliwice; **mgr Piotr Szłapa** – Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec.

Z uwagi na rosnące zainteresowanie metodą zgrzewania ultradźwiękowego zagadnienia zagrożenia zdrowia pracowników obsługujących zgrzewarki ultradźwiękowe są tematem prac badawczych prowadzonych w Instytucie Spawalnictwa [1]. Zakres badań obejmował określenie widm hałasu ultradźwiękowego, pomiar poziomów równoważnych hałasu ultradźwiękowego i słyszalnego oraz symulację wartości ekspozycji ośmiogodzinnych na hipotetycznym stanowisku pracy.

Zgrzewanie ultradźwiękowe

Metoda zgrzewania ultradźwiękowego umożliwia na uzyskanie trwałych połączeń całej gamy metali i stopów metali, również takich, które innymi metodami są trudno spawalne lub niespawalne. Dobrej jakości złącza uzyskuje się przy zgrzewaniu metali plastycznych, jak aluminium i miedź, czy trudno topliwych, takich jak molibden, tantal, wanad, tytan, cyrkon. Z powodzeniem zgrzewa się także materiały utwardzalne wydzieleniowo, spieczony proszek tlenku aluminium i umocniony torem nikiel, folie z nałożonymi powłokami metalicznymi z materiałami ceramicznymi, szkłem lub krzemem [2]. Szczególnie korzystne jest zastosowanie zgrzewania ultradźwiękowego do łączenia materiałów wymagających dużej energii w przypadku zastosowania zgrzewania rezystancyjnego, jak np. aluminium, miedź i ich stopy.

Zgrzewanie ultradźwiękowe jest metodą łączenia w stanie stałym, w której do wytworzenia złącza na docięniętych do siebie elementach wykorzystuje się energię drgań mechanicznych o częstotliwości od ok. 10 do 75 kHz [2]. Trwałe połączenie zgrzewanych elementów następuje w wyniku zachodzących w płaszczyźnie zgrzewania procesów tarcia i dyfuzji. Oscylacyjne siły tarcia tworzą dynamiczne naprężenia w obszarze wzajemnego styku zgrzewanych powierzchni, powodując sprężysto-plastyczne odkształcenie materiału. Procesowi temu towarzyszy nagrzewanie obszaru styku do temperatury nieprzekraczającej zazwyczaj 0,3÷0,5 temperatury topnienia. Podczas zgrzewania ultradźwiękowego temperatura obszaru zgrzewania początkowo wzrasta bardzo szybko, a następnie stabilizuje się na stałym poziomie, zależnym od parametrów zgrzewania. Ponieważ nie przekracza ona temperatury topnienia, przy zgrzewaniu ultradźwiękowym następują minimalne zmiany fizykochemiczne właściwości metali [2].

Połączenia wykonane metodą zgrzewania ultradźwiękowego charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi, dużą odpornością korozyjną, wysoką przewodnością elektryczną i cieplną, minimalnymi odkształceniami w złączu. Zgrzewanie ultradźwiękowe umożliwia wykonywanie połączeń zarówno elementów z tych samych materiałów, jak również z materiałów znacznie różniących się właściwościami czy też grubościami. Metoda ta umożliwia łączenie bardzo cienkich folii metalowych (poniżej 0,01 mm) z materiałami o dowolnej grubości. Ograniczenie stanowi jedynie grubość elementu od strony sonotrody, która w przypadku dobrze zgrzewalnych stopów aluminium lub miedzi na ogół nie może przekraczać 3,0 mm, natomiast w przypadku metali twardych 1,0 mm [2, 3].

Elementy do zgrzewania ustawia się na podstawie zwanej kowadełkiem i dociska z określoną siłą poprzez drgającą sonotrodę z końcówką roboczą. Przepływ energii w zgrzewarce zapewnia wprowadzenie prądu

o częstotliwości sieci (50 Hz) do przetwornika częstotliwości, który przekształca go na prąd o częstotliwości 10÷75 kHz. Następnie w przetworniku energia elektryczna zamieniana jest na energię mechaniczną, a potem przez transformator (falowód) i sonotrodę doprowadzana jest do obszaru zgrzewania. Metodą zgrzewania ultradźwiękowego można wykonywać zgrzeiny punktowe, odcinkowe, liniowe i pierścieniowe, zależnie od budowy zgrzewarki i kształtu końcówki roboczej sonotrody.

Przy zgrzewaniu ultradźwiękowym parametrami zgrzewania są [2, 3]:

- **amplituda drgań:** główny czynnik określający charakter wydzielenia ciepła, rozłożenie i wymiary strefy odkształcania, intensywność niszczenia warstw powierzchniowych, a w wyniku tego i jakość zgrzeiny. Dla każdego zestawu materiałów o określonych grubościach, przy określonej sile docisku, występuje amplituda drgań, przy której uzyskuje się maksymalną wytrzymałość złącza [3, 4];
- **siła docisku sonotrody:** zapewnia prawidłowy kontakt końcówki roboczej z powierzchnią zgrzewanego elementu. Wartość siły docisku dobierana jest w zależności od rodzaju zgrzewanych materiałów, ich grubości i twardości oraz rodzaju powierzchni końcówki roboczej sonotrody [3, 4];
- **czas zgrzewania:** odpowiedni dobór czasu zgrzewania zależy od pozostałych parametrów procesu oraz wymiarów i rodzaju zgrzewanych materiałów. Najczęściej mieści się on w zakresie 0,1÷1,0 s [2÷4];
- **energia zgrzewania:** ustalana jest w zależności od rodzaju i grubości zgrzewanego materiału [3, 4].

Częstotliwość drgań sonotrody jest stała dla danego układu przetwornik – falowód i nie może być regulowana podczas procesu. W zastosowaniach przemysłowych najczęściej stosuje się zgrzewarki pracujące z częstotliwością 20 kHz [3].

Hałas ultradźwiękowy przy procesach zgrzewania ultradźwiękowego

Stanowiska zgrzewania ultradźwiękowego do łączenia elementów metalowych związane są z zagrożeniem, jakie dla pracownika stwarza hałas słyszalny i ultradźwiękowy. Zgrzewarki ultradźwiękowe są źródłem niskich częstotliwości ultradźwiękowych [5]. Według obowiązującego w Polsce stanu prawnego hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy traktuje się, obok hałasu słyszalnego, jako czynnik szkodliwy powodujący zagrożenia dla zdrowia pracowników [6]. Hałas ultradźwiękowy obejmuje dźwięki i ultradźwięki o częstotliwościach od ok. 10 do 40 kHz (składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich częstotliwościach ultradźwiękowych). Ultradźwięki rozchodzące się w powietrzu mogą wnikać do ciała człowieka przez narząd słuchu i również całą powierzchnią ciała – drogą

Tablica I. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego i hałasu słyszalnego w środowisku pracy [6]
Table I. Admissible exposure limit for ultrasonic noise and audible noise in the work environment [6]

Częstotliwość środkowa pasm tercjowych; kHz	Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, wymiaru czasu pracy; dB	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego; dB
10; 12,5; 16	80	100
20	90	110
25	105	125
31,5; 40	110	130
Hałas słyszalny		
Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$); dB	Maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}); dB	Szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}); dB
85	115	135

kontaktową [7, 8]. Docierając do organizmu człowieka, mogą oddziaływać negatywnie, powodując ubytki słuchu [5]. Stwierdzono również ujemny wpływ ultradźwięków na narząd przedsionkowy w uchu wewnętrznym, objawiający się bólami i zawrotami głowy, zaburzeniami równowagi, nudnościami, sennością w ciągu dnia, nadmiernym zmęczeniem itp. Liczne badania laboratoryjne i środowiskowe wykazały, że potencjalne skutki oddziaływania ultradźwięków powietrznych można sklasyfikować jako skutki słuchowe i termiczne oraz objawy subiektywne i zaburzenia czynnościowe [7]. Ultradźwięki niskich częstotliwości wnikają do organizmu człowieka drogą kontaktową przez bezpośrednie oddziaływanie np. na ręce. Działanie ultradźwięków ma wtedy z reguły charakter miejscowy, przy czym nie wyklucza się również oddziaływania ogólnego na czynności układu nerwowego, czy też pracę serca [8]. Przy zgrzewaniu ultradźwiękowym drogi przekazywania ultradźwięków do organizmu pracownika obsługującego zgrzewarkę to przekazywanie przez powietrze i przez zgrzewany element [8]. Ultradźwięki rozchodzące się w powietrzu charakteryzują się bardzo krótkimi falami ($\lambda < 0,02$ m), co powoduje, że obszar oddziaływania jest znacznie ograniczony, stosunkowo łatwo więc ograniczyć szkodliwy wpływ ultradźwięków na człowieka w środowisku pracy [7].

Według rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy jest charakteryzowany przez (tabl. I)[6]:

- równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz odniesione do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu;
- maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz.

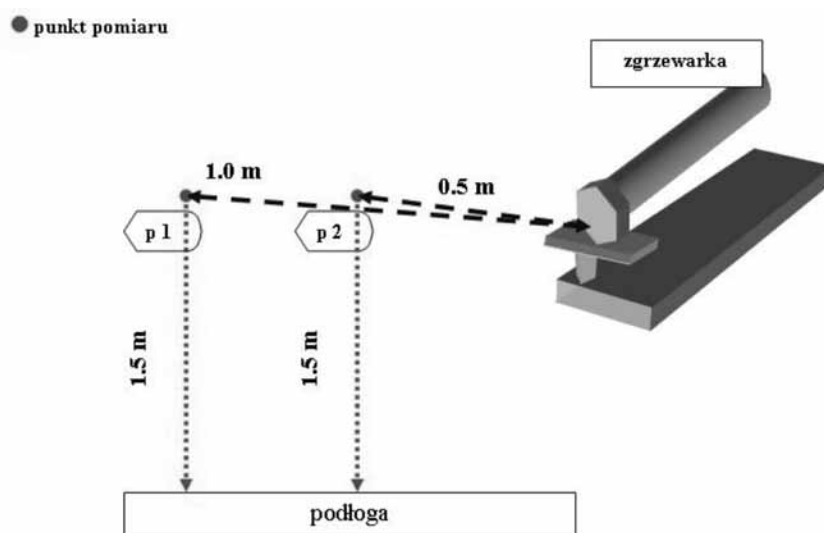
Badania. Metodyka i stanowisko doświadczalne

Badania hałasu ultradźwiękowego i hałasu słyszalnego przy zgrzewaniu ultradźwiękowym wykonano dla połączeń jednoimiennych miedź + miedź (Cu+Cu) i stop aluminium + stop aluminium (Al+Al) oraz dla połączenia miedź + stop aluminium (Cu+Al) (tabl II) [1]. Stanowisko do zgrzewania punktowego ultradźwiękowego metali w Instytucie Spawalnictwa, na którym prowadzono pomiary, składa się z generatora ultradźwiękowego SE-4020 firmy Sirius Electric o częstotliwości drgań 20 kHz i mocy 4000 W, układu drgającego (przetwornik, transformator) z sonotrodą i stolika do mocowania próbek z kowadełkiem. Urządzenie zostało dodatkowo wyposażone w obudowę zabezpieczającą operatora przed szkodliwym działaniem hałasu ultradźwiękowego. Obudowa dźwiękochłonno-izolacyjna zgrzewarki ultradźwiękowej została wykonana z płyt ze szkła akrylowego (Plexiglassu) oraz maty dźwiękochłonnej typu gąbka akustyczna (piramidki 50 mm).

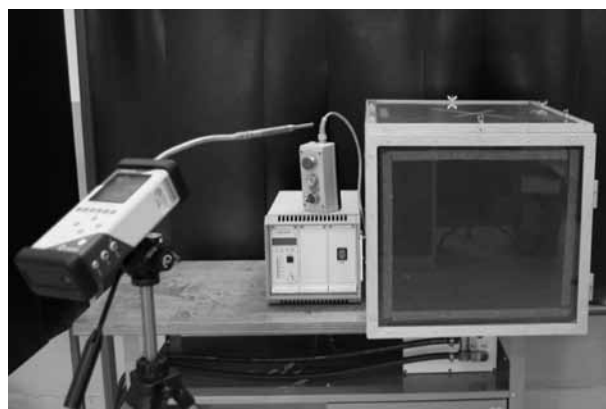
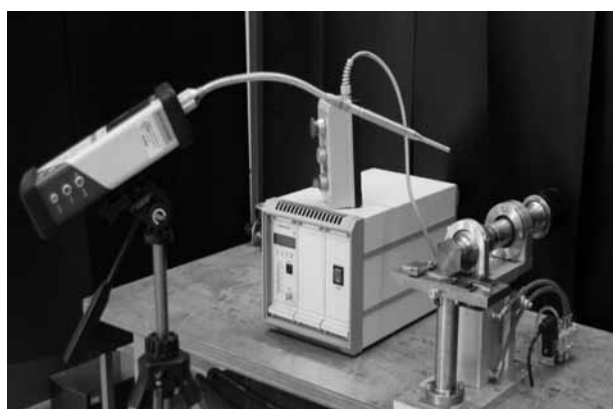
Pomiar poziomów ciśnienia akustycznego przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali przeprowadzono przy użyciu zestawu składającego się z 1/4 calowego mikrofonu pojemnościowego 4135, przedwzmacniacza SV 01 A oraz analizatora dźwięku i drgań Svan 912 AE firmy Svantek, analizującego w czasie rzeczywistym pasma ultradźwiękowe. Badania wykonano przy pracy zgrzewarki w opcji bez obudowy i z obudową. Rozkład punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1, widok stanowiska doświadczalnego przedstawiono na rysunku 2. Założono, że lokalizacja punktów pomiarowych 1 i 2 odzwierciedla narażenia pracowników przy urządzeniu, zarówno obsługi zgrzewarki, jak i osób pracujących w otoczeniu. Dla wszystkich wybranych rodzajów połączeń przeprowadzono pomiary hałasu ultradźwiękowego i hałasu w zakresie słyszalnym emitowanego w trakcie wykonywania pięciu kolejnych jednostkowych zgrzein. Pomiary polegały na rejestracji chwilowych

Tablica II. Zestawienie materiałów i parametrów technologicznych dla zgrzewania ultradźwiękowego zastosowane w badaniach [1]
Table II. The set of materials and technological parameters used during ultrasonic welding [1]

Oznaczenie złącza	Materiał zgrzewany (układ sonotroda/kowadełko)	Parametry technologiczne
A	Cu (2,0 mm) + Cu (2,0 mm)	Amplituda 16 μ m Siła docisku 82 daN Energia 2800 Ws
B	Cu (2,0 mm) + EN AW 5251 (2,0 mm)	Amplituda 16 μ m Siła docisku 82 daN Energia 2400 Ws
C	EN AW 5251 (2,0 mm) + EN AW 5251 (2,0 mm)	Amplituda 16 μ m Siła docisku 82 daN Energia 1520 Ws
D	EN AW 5251 (2,0 mm) + EN AW 2017 (2,0 mm)	Amplituda 16 μ m Siła docisku 82 daN Energia 1520 Ws
E	EN AW 5251 (1,5 mm) + EN AW 5251 (1,5 mm)	Amplituda 16 μ m Siła docisku 82 daN Energia 1440 Ws
F	EN AW 5251 (1,0 mm)+ EN AW 5251 (2,0 mm)	Amplituda 16 μ m Siła docisku 82 daN Energia 1440 Ws



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych wokół zgrzewarki ultradźwiękowej [1]
Fig. 1. The location of measuring points around the ultrasonic welding machine [1]



Rys. 2. Stanowisko do pomiaru hałasu ultradźwiękowego i słyszalnego przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali: zgrzewarka bez obudowy / zgrzewarka z obudową

Fig. 2. The laboratory workstation for ultrasonic and audible noise measurements during ultrasonic welding of different metal elements; ultrasonic welding machine with housing/ultrasonic welding machine without housing

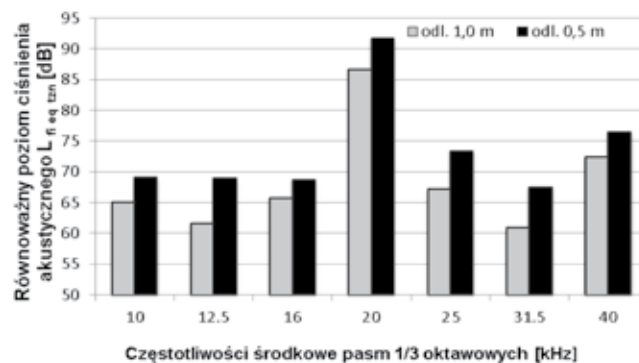
wartości poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktawowych o częstotliwościach środkowych od 10 kHz do 40 kHz.

Wyniki badania widm hałasu ultradźwiękowego emitowanego przy zgrzewaniu ultradźwiękowym różnych typów złączy

Badania wykazały, że dominującym tercjowym pasmem częstotliwości hałasu ultradźwiękowego przy procesach zgrzewania z zastosowaniem generatora ultradźwiękowego SE-4020 firmy Sirius Electric jest pasmo o częstotliwości środkowej 20 kHz. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego dla pasma o częstotliwości 20 kHz dla wszystkich badanych złączy zgrzewanych był najwyższy. W przypadku pozostałych tercjowych pasm częstotliwości ultradźwiękowych równoważne poziomy ciśnienia akustycznego były zbliżone dla wszystkich zgrzewanych materiałów. Analizę graficzną wyników badania poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach częstotliwości w zakresie hałasu ultradźwiękowego dla zgrzewania stopów aluminium przy pracy zgrzewarki w opcji z obudową w odległości 0,5 i 1 m od urządzenia przedstawiono rysunkach 3 i 4. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego w 1/3 oktawowych pasmach częstotliwościowych hałasu ultradźwiękowego odnosi się do czasu trwania procesu zgrzewania - t_{zn} – czas emisji hałasu ultradźwiękowego w 1/3 oktawowym paśmie o częstotliwości f_i występujący w trakcie n -tego procesu zgrzewania.

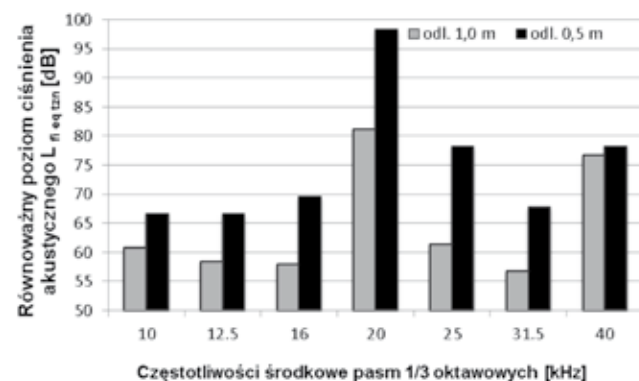
Uzyskane rezultaty wskazują, że poziom ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego zależy od rodzaju i grubości zgrzewanego materiału. Badania wpływu rodzaju zgrzewanego materiału na poziom ciśnienia akustycznego w paśmie o częstotliwości środkowej 20 kHz wykazały, że w miejscu pracy operatora (0,5 m od zgrzewarki, na wysokości 1,5 m) najwyższy poziom ciśnienia występuje przy złączach jednoimiennych typu stop aluminium + stop aluminium (złącza D i C) (rys.5). Najniższy poziom równoważny ciśnienia akustycznego w miejscu pracy operatora występuje przy zgrzewaniu złącza różnoimiennego miedź + stop aluminium (złącze B). W odległości 1 m od zgrzewarki przed urządzeniem najwyższy poziom ciśnienia występuje również przy złączach jednoimiennych stop aluminium + stop aluminium (złącze F) oraz przy złączach miedź + miedź (złącze A) (rys. 5).

Celem badań było również wykazanie, jak wpływa zastosowana obudowa zgrzewarki ultradźwiękowej na proces tłumienia hałasu ultradźwiękowego. Interpretację graficzną wyników pomiaru poziomów równoważnych ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego – częstotliwość środkowa



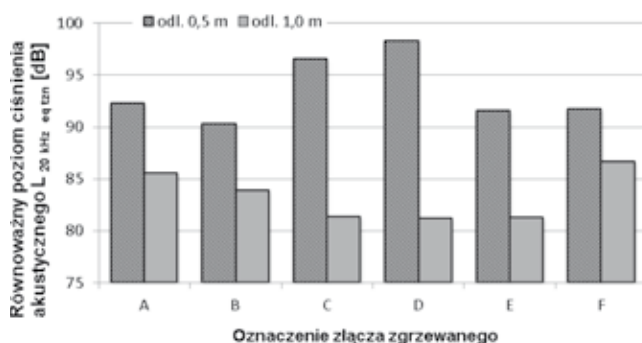
Rys. 3. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego w 1/3 oktawowych pasmach częstotliwościowych hałasu ultradźwiękowego przy zgrzewaniu ultradźwiękowym stopu aluminium; złącze EN AW 5251 (1,0 mm)+ EN AW 5251 (2,0 mm), zgrzewarka z obudową

Fig. 3. The equivalent sound pressure level in 1/3 octave bands of ultrasonic noise during ultrasonic welding of aluminium alloys; type EN AW 5251 (1,0 mm)+ EN AW 5251 (2,0 mm), ultrasonic welding machine with housing



Rys. 4. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego w 1/3 oktawowych pasmach częstotliwościowych hałasu ultradźwiękowego przy zgrzewaniu ultradźwiękowym stopu aluminium; złącze EN AW 5251 (2,0 mm) + EN AW 2017 (2,0 mm), zgrzewarka z obudową

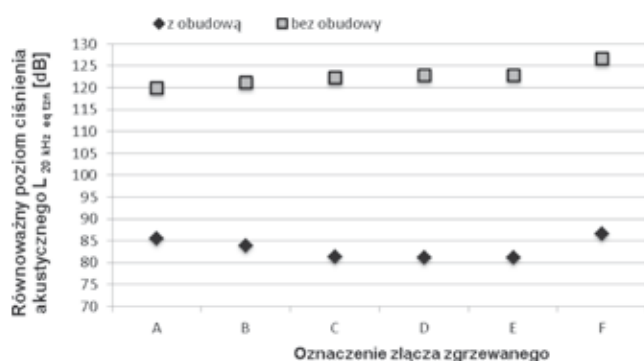
Fig. 4. The equivalent sound pressure level in 1/3 octave bands of ultrasonic noise during ultrasonic welding of aluminium alloys; type EN AW 5251 (2,0 mm) + EN AW 2017 (2,0 mm), ultrasonic welding machine with housing



Rys. 5. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego w dominującym 1/3 oktawowym paśmie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego (20 kHz) przy zgrzewaniu różnych materiałów. Zgrzewarka ultradźwiękowa z obudową

Fig. 5. The equivalent sound pressure level in dominant 1/3 octave band of ultrasonic noise with the centre frequency 20 kHz during ultrasonic welding of different metals. The ultrasonic welding machine with housing

wa 20 kHz ($L_{20\text{kHz}eq}$) przy pracy zgrzewarki z obudową i bez obudowy przedstawiono na rysunku 6. Przedstawione wyniki badań dotyczą punktu pomiarowego nr 1 umieszczonego w odległości 1 m od zgrzewarki na wysokości 1,5 m. Badania wykazały, że zastosowanie obudowy dźwiękochłonna-izolacyjnej wpływa na obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego w dominującym 1/3 oktawowym paśmie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego – 20 kHz przy zgrzewaniu wszystkich badanych połączeń. Zastosowanie obudowy dwuwarstwowej wykonanej z płyt ze szkła akrylowego (Plexiglassu) oraz maty dźwiękochłonnej typu gąbka akustyczna (piramidki 50 mm) powoduje obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego o częstotliwości hałasu ultradźwiękowego wynoszącej 20 kHz średnio o 40 dB.



- A - Cu (2,0 mm) + Cu (2,0 mm),
- B - Cu (2,0 mm) + EN AW 5251 (2,0 mm)
- C - EN AW 5251 (2,0 mm) + EN AW 5251 (2,0 mm)
- D - EN AW 5251 (2,0 mm) + EN AW 2017 (2,0 mm)
- E - EN AW 5251 (1,5 mm) + EN AW 5251 (1,5 mm)
- F - EN AW 5251 (1,0 mm)+ EN AW 5251 (2,0 mm)

Rys. 6. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego w dominującym 1/3 oktawowym paśmie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego o częstotliwości środkowej 20 kHz przy pracy zgrzewarki z obudową i bez obudowy. Pomiar w odległości 1 m od zgrzewarki

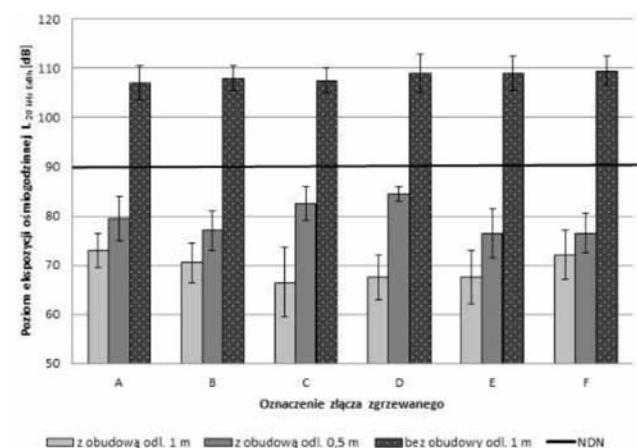
Fig. 6. Equivalent sound pressure level in dominant 1/3 octave band of ultrasonic noise with the centre frequency 20 kHz during working of the ultrasonic welding machine with and without housing. The measuring point within the distance of 1 m

Poziom ekspozycji na hałas ultradźwiękowy i słyszalny przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali

Podczas analizy wyników badania hałasu ultradźwiękowego i hałasu słyszalnego przy procesach zgrzewania ultradźwiękowego metali przeprowadzono obliczenia symulacyjne poziomu ekspozycji na hałas ultradźwiękowy i hałas słyszalny odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy. Obliczenia symulacyjne wykonano dla operatora i obsługi hipotetycznym stanowisku pracy. Symulację ekspozycji na hałas ultradźwiękowy i hałas słyszalny przeprowadzono metodą losowań MonteCarlo [10] przy zastosowaniu programu Crystal Ball 2000. Ilość zgrze-

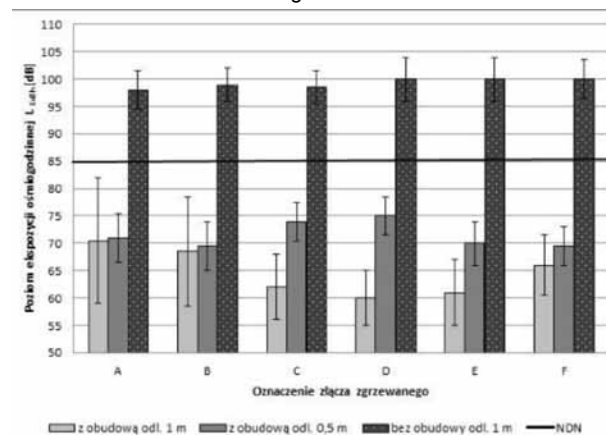
in jest określona prostokątnym rozkładem prawdopodobieństwa z zakresu od min = 500 do max = 1500 – założenie arbitralne: założono, że w ciągu 8 h pracy wykonuje się od 500 do 1500 zgrzein [1, 9÷11]. Wyniki obliczenia symulacyjnego poziomu ekspozycji na hałas ultradźwiękowy odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy dla dominującej częstotliwości hałasu ultradźwiękowego 20 kHz ($L_{20\text{kHz}Ex8h}$), przy zgrzewaniu ultradźwiękowym różnych połączeń miedzi i stopów aluminium oraz pracy zgrzewarki z obudową i bez obudowy dla dwóch stanowisk pracy (stanowisko operatora – odległość 0,5 m i strefa pracy obsługi – odległość 1,0 m) przedstawiono na rysunku 7.

Na podstawie symulacji wykazano, że dla pracy zgrzewarki bez obudowy na stanowisku w odległości 1,0 m od zgrzewarki (strefa pracy obsługi) równoważny poziom ciśnienia akustycznego dla 8-godzinnej ekspozycji w dominującym paśmie o częstotliwości środkowej 20 kHz kształtuje się zależnie od rodzaju zgrzewanego materiału w zakresie od $L_{20\text{kHz}Ex8h} = 107$ dB dla zgrzein typu miedź + miedź



Rys. 7. Poziom ekspozycji na hałas ultradźwiękowy dla częstotliwości 20 kHz odniesiony do 8-godzinnego wymiaru czasu pracy. Zgrzewarka ultradźwiękowa z obudową i bez obudowy.

Fig. 7. The level of exposure on ultrasonic noise for frequency 20 kHz referred to an 8-hour working day. The ultrasonic welding machine with and without housing.



Rys. 8. Poziom ekspozycji na hałas słyszalny odniesiony do 8-godzinnego wymiaru czasu pracy. Zgrzewarka ultradźwiękowa z obudową i bez obudowy.

Fig. 8. The level of exposure on audible noise referred to an 8-hour working day. The ultrasonic welding machine with and without housing

Tablica III. Techniczne zalecenia do profilaktyki zagrożeń akustycznych przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali
Table III. Technical recommendations for prevention from acoustic hazards during ultrasonic welding of metals

ZALECENIA TECHNICZNE

- W procesie projektowania technologii zgrzewania ultradźwiękowego metali należy uwzględnić wpływ rodzaju łączonych materiałów na poziom ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego i słyszalnego. Zgrzewanie ultradźwiękowe aluminium związane jest z wysokim poziomem ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego i słyszalnego.
- Na stanowiskach zgrzewania ultradźwiękowego metali należy stosować obudowy dźwiękochłonna-izolacyjne.
- W przypadku pracy zgrzewarki ultradźwiękowej bez obudowy na stanowisku pracy operatora zgrzewarki istnieje ryzyko przekroczenia NDN (Najwyższych Dopuszczalnych Natężeń) dla hałasu ultradźwiękowego i hałasu słyszalnego.
- W przypadku pracy zgrzewarki ultradźwiękowej bez obudowy pracownik obsługujący urządzenie – operator powinien bezwzględnie stosować indywidualne ochronniki słuchu.
- W przypadku pracy zgrzewarki ultradźwiękowej bez obudowy stanowiska pracy zlokalizowane wokół zgrzewarki powinny być ekranowane przegrodami dźwiękochłonnymi.
- Przy pracy zgrzewarki z obudową na stanowisku pracy operatora może wystąpić ryzyko przekroczenia NDN dla hałasu ultradźwiękowego i hałasu słyszalnego. Ryzyko przekroczenia NDN dla hałasu ultradźwiękowego i hałasu słyszalnego zależy od chronometrażu pracy oraz warunków technologicznych zgrzewania.
- W pomieszczeniach produkcyjnych, w których znajduje się zgrzewarka ultradźwiękowa, pozostałe stanowiska pracy powinny zostać usytuowane w możliwie największej odległości od zgrzewarki.
- Zgrzewarki ultradźwiękowe należy usytuować jak najdalej od ścian i innych powierzchni odbijających.
- W przypadku pracy kilku zgrzewarek ultradźwiękowych w pomieszczeniu należy je zgrupować w celu ograniczenia zasięgu hałasu ultradźwiękowego oraz odpowiednio ekranować
- W przypadku obsługi ręcznej zgrzewarki ultradźwiękowej, kiedy jest możliwy kontakt operatora ze zgrzewanym elementem metalowym, należy stosować rękawice ochronne.
- W przypadku korzystania z oprzyrządowania mocującego zgrzewany element, operator powinien trzymać ręce jak najdalej od zgrzewanego elementu.
- W celu ochrony pracowników przed hałasem ultradźwiękowym zalecane jest wprowadzanie automatyzacji/mechanizacji procesów zgrzewania ultradźwiękowego metali.

Tablica IV. Organizacyjne zalecenia do profilaktyki zagrożeń akustycznych przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali
Table IV. Organizational recommendations for prevention from acoustic hazards during ultrasonic welding of metals

ZALECENIA ORGANIZACYJNE

Zalecenia organizacyjne pozwalające na ograniczenie zagrożenia pracowników hałasem ultradźwiękowym:

- skracanie czasu pracy w obszarze zagrożenia hałasem ultradźwiękowym do możliwego minimum w czasie zmiany roboczej,
- stosowanie przerw w pracy przez okresowe wyłączanie zgrzewarek ultradźwiękowych,
- stosowanie, właściwy dobór oraz kontrola stosowania ochronników słuchu,
- ograniczanie liczby osób przebywających w pomieszczeniach, w których pracują zgrzewarki ultradźwiękowe,
- oznakowanie pomieszczeń w których pracują zgrzewarki ultradźwiękowe
- wydzielanie pomieszczeń na odpoczynek pracowników obsługujących zgrzewarki ultradźwiękowe,
- przenoszenie do pracy na innych stanowiskach osób szczególnie wrażliwych na działanie ultradźwięków,
- informowanie pracowników o zagrożeniu hałasem ultradźwiękowym i słyszalnym oraz ich skutkach dla zdrowia i bezpieczeństwa pracy,
- szkolenie pracowników w zakresie poprawnego i bezpiecznego stosowania zgrzewarek ultradźwiękowych.

(złącze A) do $L_{20\text{kHzEx}8\text{h}} = 110$ dB dla zgrzeiny typu stop aluminium + stop aluminium (złącze D). Dopuszczalny równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy dla częstotliwości środkowej 20 kHz w paśmie tercjowym wynosi 90 dB. Przy założonym chronometrażu zgrzewania i pracy zgrzewarki bez obudowy w strefie pracy obsługi w odległości 1,0 m od urządzenia stwierdzono ryzyko przekroczenia dopuszczalnego równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego dla hałasu ultradźwiękowego o częstotliwości 20 kHz odniesionego do 8-godzinnej ekspozycji dla wszystkich badanych typów złączy zgrzewanych.

Analizę graficzną wyników obliczeń poziomu ekspozycji ($L_{\text{Ex}8\text{h}}$) na hałas słyszalny odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy przy zgrzewaniu ultradźwiękowym z obudową i bez obudowy dla dwóch stanowisk pracy; stanowisko operatora – odległość

0,5 m i strefa pracy obsługi – odległość 1,0 m przedstawiono na rysunku 8.

Na podstawie przeprowadzonych badań i w oparciu o symulację poziomu ekspozycji na hałas słyszalny przy założonym chronometrażu zgrzewania i zgrzewarce z obudową, w strefie pracy obsługi i w miejscu pracy operatora (w odległości 0,5 m od urządzenia) dla wszystkich badanych typów złączy zgrzewanych nie stwierdzono ryzyka przekroczenia dopuszczalnego poziomu ekspozycji na hałas słyszalny odniesionego do 8-godzinnej ekspozycji. Natomiast przy zgrzewarce ultradźwiękowej bez obudowy w strefie pracy obsługi (w odległości 1,0 m od urządzenia) dla wszystkich badanych kategorii zgrzein stwierdzono ryzyko przekroczenia dopuszczalnego poziomu ekspozycji na hałas słyszalny odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy.

Tablica V. Wnioski do profilaktyki zagrożeń akustycznych przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali
Table V. Conclusions for prevention from acoustic hazards during ultrasonic welding of metals

WNIOSKI Z BADAŃ
<p><i>Wnioski z badania hałasu ultradźwiękowego i hałasu słyszalnego przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Przy zgrzewaniu ultradźwiękowym najwyższe wartości ciśnienia akustycznego występują w paśmie częstotliwości pracy generatora zgrzewarki ultradźwiękowej. – Przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali stosowane są zgrzewarki z generatorem pracującym na częstotliwości 20 kHz. – Przy zgrzewaniu ultradźwiękowym spośród badanych połączeń zakładkowych najwyższy poziom ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego występuje przy jednoimiennych połączeniach typu aluminium + aluminium. – Najniższy poziom ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego i hałasu słyszalnego występuje przy różnoimiennych połączeniach typu miedź + stop aluminium. – Zastosowanie obudowy wpływa na obniżenie poziomów ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego. – Zastosowanie na stanowisku zgrzewania ultradźwiękowego obudowy dwuwarstwowej wykonanej z płyty ze szkła akrylowego (typu Plexiglass) oraz maty dźwiękochłonnej typu gąbka akustyczna (piramidki 50 mm) powoduje obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego w dominującym 1/3 oktawowym paśmie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego – 20 kHz o ok. 40 dB.

Podsumowanie

Zalecenia do profilaktyki zagrożeń akustycznych przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali

Procesy zgrzewania ultradźwiękowego metali powodują emisję fal akustycznych w zakresie słyszalnym i ultradźwiękowym, charakteryzujących się wartościami energii mogących stanowić istotne zagrożenia dla narządu słuchu operatora obsługującego zgrzewarkę. Zastosowanie prawidłowo zaprojektowanej obudowy źródła (zgrzewarki ultradźwiękowej) pozwala znacząco obniżyć poziomy omawianych ekspozycji akustycznych do wartości bezpiecznych [1, 12, 13].

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych w Instytucie Spawalnictwa opracowano zalecenia do profilaktyki zagrożeń akustycznych przy zgrzewaniu ultradźwiękowym metali (tabl. III ±V). Zalecenia przeznaczone są dla specjalistów z obszaru technik spawalniczych, którzy we współpracy ze służbami bezpieczeństwa pracy w zakładach produkcyjnych będą kształtować dobór materiałów, parametrów technologicznych i wybór metod łączenia materiałów konstrukcyjnych oraz będą organizować stanowiska pracy do procesów zgrzewania ultradźwiękowego [13].

Literatura

- [1] Matusiak J., Wyciślik J., Szłapa P. i in.: Ocena zagrożeń w środowisku pracy przy zgrzewaniu rezystancyjnym punktowym, zgrzewaniu tarciovym z mieszaniem materiału zgrzeiny oraz zgrzewaniu ultradźwiękowym i wibracyjnym różnych materiałów konstrukcyjnych. Opracowanie zaleceń do profilaktyki zagrożeń z uwzględnieniem modyfikacji warunków technologicznych, IB.04/2012, Program Wieloletni pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” etap II realizowany w latach 2011-2013.
- [2] Papkała H., Pietras A. i in.: Technologia zgrzewania ultradźwiękowego. Poradnik inżyniera. Spawalnictwo. WNT 2005.
- [3] Mikno Z., Rams B.: Technologia zgrzewania ultradźwiękowego elementów metalowych o wysokim przewodnictwie cieplnym i elektrycznym; praca badawcza IS ST-282/Hd-117, Gliwice 2010.
- [4] Węglowska A., Bams B.: Badanie warunków technologicznych zgrzewania wibracyjnego i ultradźwiękowego wybranych materiałów konstrukcyjnych; praca badawcza IS ST-290/Bb-108, Gliwice 2011.
- [5] Mikulski W., Smagowska B.: Metoda oceny ryzyka zawodowego związanego z hałasem ultradźwiękowym. Bezpieczeństwo Pracy nr 3/2007.
- [6] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U nr 217, poz. 1833 ze zmianami.
- [7] Pawlaczyk-Łuszczczyńska M.: Hałas słyszalny, infradźwiękowy i ultradźwiękowy. Higiena pracy t. II 1999, Instytut Medycyny Pracy.
- [8] Koton J.: Ultradźwięki. IWZZ W-wa 1986.
- [9] Szłapa P., Łaciak M., Zachara J.: Badanie charakterystyk emisji hałasu ultradźwiękowego i hałasu A występujących w trakcie pracy zgrzewarki ultradźwiękowej. IMPiZŚ, nr 21/Z/ZSFFPiE/2012.
- [10] Biesiada M.: Simulations in health risk assessment. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, Vol. 14, No. 4, 397-402, 2001.
- [11] Pierre Bernard, Bruel & Kjaer Leq? SEL? What? Why? When? www.bksv.com/doc/BO0051.pdf.
- [12] Matusiak J., Szłapa P., Wyciślik J.: Measurements of ultrasonic and audible noise during ultrasonic welding of different metals. Materiały 16th International Conference on Noise Control 26-29.05.2013.
- [13] Matusiak J., Wyciślik J., Krztoń H., Szdzuj J., Szłapa P.: Zalecenia do profilaktyki zagrożeń zdrowia pracowników przy zgrzewaniu rezystancyjnym, tarciovym z mieszaniem materiału zgrzeiny oraz zgrzewaniu ultradźwiękowym i wibracyjnym z uwzględnieniem modyfikacji warunków technologicznych, Wydawnictwa Instytutu Spawalnictwa, Gliwice 2012.