

Narzędzia ultradźwiękowe (sonotroda) – wykonanie

1. Wstęp.

Narzędzie ultradźwiękowe służy do przekazywania energii drgań z przetwornika lub falowodu do powierzchni roboczej, a także zazwyczaj do zmiany wielkości amplitudy drgań.

Projekt i wykonanie narzędzia ultradźwiękowego wymaga staranności i wiedzy. Niepoprawnie wykonane narzędzie może nie dawać poprawnej jakości zgrzewów w łączonych detalach, może odstroić układ drgający od częstotliwości roboczej, a w skrajnym przypadku może doprowadzić do zniszczenia przetwornika lub/i generatora.

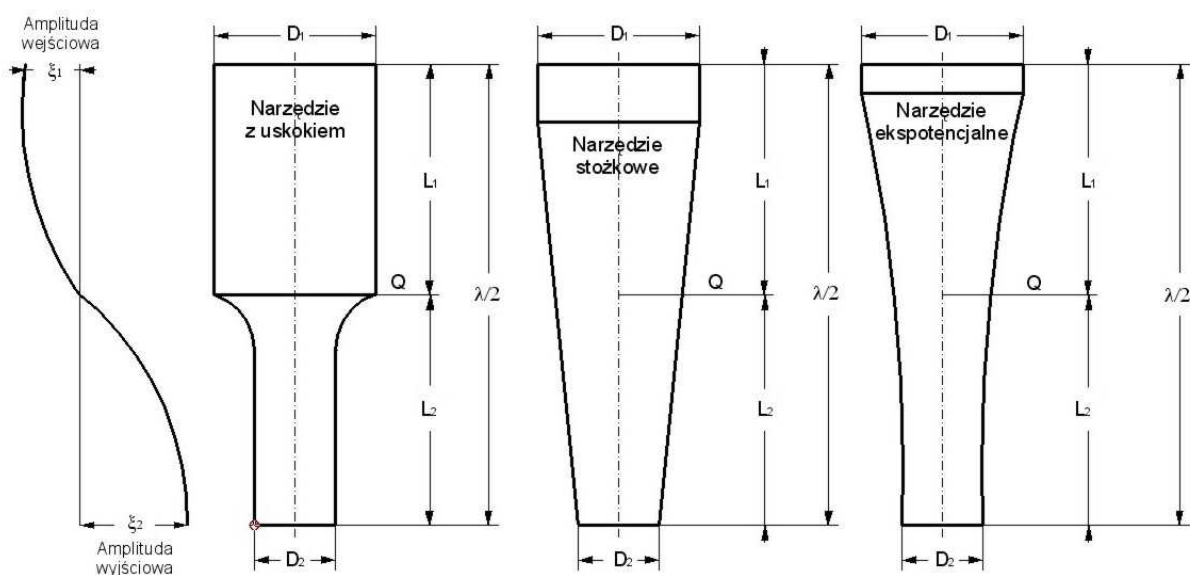
To jest głównie powodem, że firmy produkujące urządzenia ultradźwiękowe zalecają stosowanie narzędzi przez nie zaprojektowanych i wykonanych lub przynajmniej autoryzowanych. Stosowanie nieautoryzowanych narzędzi może być przyczyną utraty gwarancji na podzespoły ultradźwiękowe.

W kontaktach z Klientami odniosłem wrażenie, że ze względu na wysokie ceny narzędzi, nie dowierzają tym informacjom i gotowi są eksperymentować samodzielnie. W tej sytuacji pragnę przybliżyć Państwu zagadnienie i umożliwić wykonanie prostszych narzędzi samodzielnie, podaje podstawowe informacje związane z ich projektowaniem.

Podkreślam, że są to metody przybliżone i uproszczone.

Autor w żadnym przypadku nie ponosi odpowiedzialności za ich stosowanie i wyniki z tego konsekwencje.

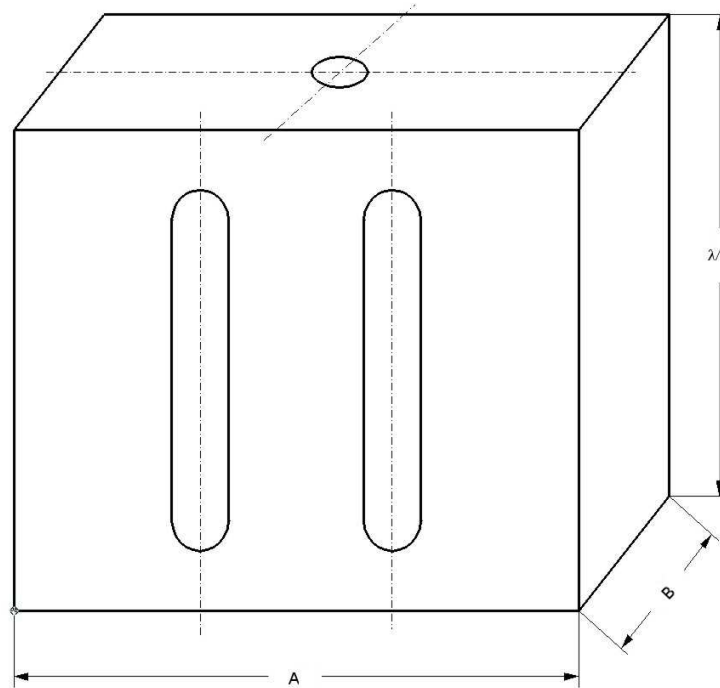
2. Podstawowe typy narzędzi.



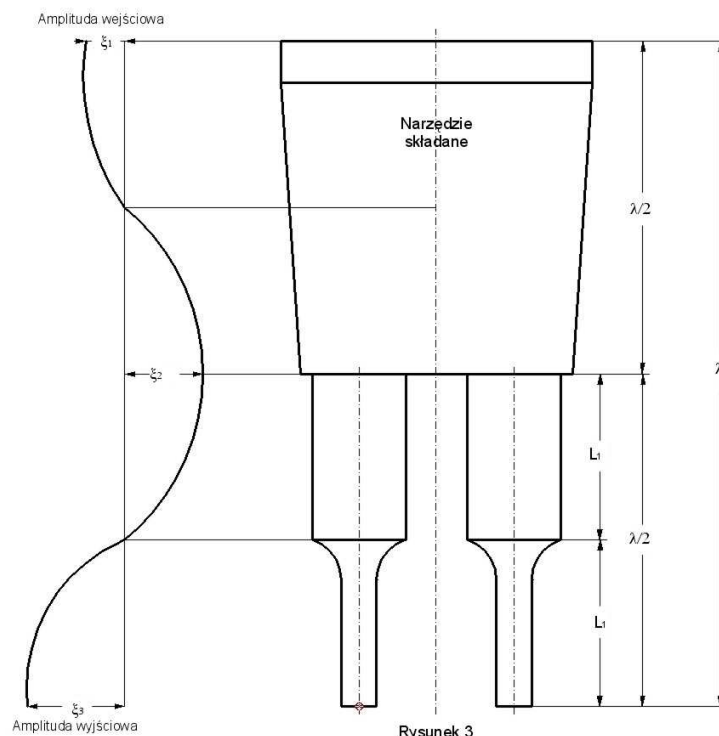
Rysunek 1

Na rysunku 1 pokazano typowe przykłady najczęściej spotykanych narzędzi o przekrojach kołowych. Średnicą D_1 narzędzia są przykręcane do przetwornika lub falowodu, D_2 jest średnicą powierzchni roboczej. Najczęściej stosowaną konstrukcją ze względu na prostotę obliczeń i możliwość łatwej korekty są narzędzia z uskokiem. Najkorzystniejszym rozwiązaniem, ale i najtrudniejsze do wykonania i korekty jest narzędzie z powierzchnią boczną wykładniczą.

Na rysunku 2 pokazano często występujące narzędzia prostopadłościennie. Widoczne na rysunku podłużne otwory służą do łamania fali poprzecznej i skierowania głównego strumienia drgań od powierzchni przejmującej do powierzchni roboczej. Tego typu narzędzia mają znaczne powierzchnie robocze i ważne jest, żeby występujący na nich rozkład drgań był możliwie równomierny. Odradzam samodzielne wykonywanie tego typu narzędzi, gdyż bez możliwości symulacji rozkładu amplitudy drgań, na podstawie obliczeń przybliżonych ich poprawne zaprojektowanie jest prawie niemożliwe.



Rysunek 2



Rysunek 3

Na rysunku 3 pokazano narzędzie składane. Jeżeli materiały części będącej korpusem i elementów roboczych są różne to i wartość $\lambda/2$ dla tych części też są różne.

3. Przybliżone obliczenia narzędzi.

Jeśli są znane parametry narzędzia:

- częstotliwość pracy,
- przełożenie (transformacja amplitudy),

to można się pokusić o samodzielne wykonanie narzędzia.

Sugerujemy żeby dla narzędzi, pracujących przy 20 kHz nie przekraczać średnicy ok. 60 mm, a dla narzędzi z przedziału 35÷40 kHz ok. 30 mm.

Najpewniejszym rozwiązaniem będzie wykonanie narzędzia z uskokiem (dwustopniowego rys. 1).

Długość narzędzia wynosi pół długości fali, częstotliwości z jaką ono drga.

$$\lambda/2 = L_1 + L_2, \text{ (rys. 1).}$$

Do specjalnych zastosowań wykonuje się narzędzia o długości będącej wielokrotnością $\lambda/2$ lub łączne z narzędzi o długości $\lambda/2$ (rys. 3).

Długość fali dźwiękowej wynosi:

$$\lambda = v/f,$$

gdzie: v - prędkość dźwięku w ośrodku, f - częstotliwość fali,

W wersji standardowej narzędzie będzie się charakteryzować:

S_1 – powierzchnia odbierająca drgania od przetwornika lub falowodu,

S_2 – powierzchnia robocza,

Q – węzeł drgań (miejsce o drganiach zerowych)

ξ - amplituda,

ξ_2 / ξ_1 = przełożenie narzędzia (zmiana amplitudy).

3.1 Materiały na narzędzia ultradźwiękowe (sonotrody)

Narzędzia ultradźwiękowe w trakcie pracy drgają, a drgania te są jeszcze hamowane przez docisk do zgrzewanych detali. Materiały stosowane na nie muszą, więc mieć dużą wytrzymałość zmęczeniową. Ze względu na dobrą przewodność drgań powinny mieć niski współczynnik tłumienia (pochłaniania drgań).

Firmy produkujące narzędzia w wyniku praktycznych prób stwierdziły, że najlepsze do tego celu są stopy podane w tabeli.

Tabela 1.

Materiał	Prędkość dźwięku v [m/s]	Rozrzut v [m/s]
Stop tytanu TiAl6V	4900	± 100
Stopy aluminium z grupy AlCuMg2	5100	± 100
Stal 1550 hartowana	5250	± 50
Ferrotytan WFN utwardzany	6950	± 150

Stopy tytanu i aluminium są najpopularniejsze. Obydwa stopy mają wysoką odporność na zniekształcenia w wyniku drgań i wytrzymują amplitudy drgań przekraczające 40 μm przy 20 kHz. Przy wyższych częstotliwościach stosowane są niższe amplitudy drgań.

Prędkość rozchodzenia się dźwięku w wybranych materiałach podano w tabeli.

Stop tytanu (szczególnie z powłoką ochronną na powierzchni roboczej) nadaje się do wielkoseryjnej produkcji elementów z tworzyw wzmocnionych włóknem szklanym.

Stop aluminium też nadaje się do wielkoseryjnej produkcji „łatwiejszych” tworzyw szczególnie z powierzchnią wzmocnioną dodatkowym pokryciem.

Stal 1550 stal utwardzoną stosuje się głównie do osadzania elementów metalowych w plastikach.

- Ferro - tytan: niezwykle odporny na ścieranie, szczególnie dobry do zgrzewania tworzyw wzmocnionych włóknem szklanym.

3.2. Parametry narzędzi ultradźwiękowych.

Tabela 2

Prędkość dźwięku w materiale narzędzia	v	Średnica wyjściowa falowodu	D_3
Półkowa długość fali = $\lambda/2$	L_0	Powierzchnia wyjściowa falowodu	A_3
Częstotliwość robocza	f	Amplituda wyjściowa drgań falowodu	ξ_3
Średnica narzędzia kołowego od strony falowodu	D_1	Amplituda wejściowa drgań narzędzia	ξ_1
Średnica narzędzia kołowego od strony roboczej	D_2	Amplituda wyjściowa drgań narzędzia	ξ_2
Powierzchnia narzędzia od strony falowodu	A_1	Przekładnia (transformacja) narzędzia	β
Powierzchnia narzędzia od strony roboczej	A_2		

Następujące parametry powinny być określone przez producenta urządzenia:

- częstotliwość pracy $f \pm$ tolerancja,
- amplituda wyjściowa falowodu ξ_3 ,
- powierzchnia lub średnica wyjściowa falowodu A_3 lub D_3 .

3.3. Obliczanie narzędzia z uskokiem – rys 1.

Długość narzędzia ultradźwiękowego (sonotrody) składają się z:

$$\lambda/2 = L_0 = L_1 + L_2 \text{ (Rys. 1)}$$

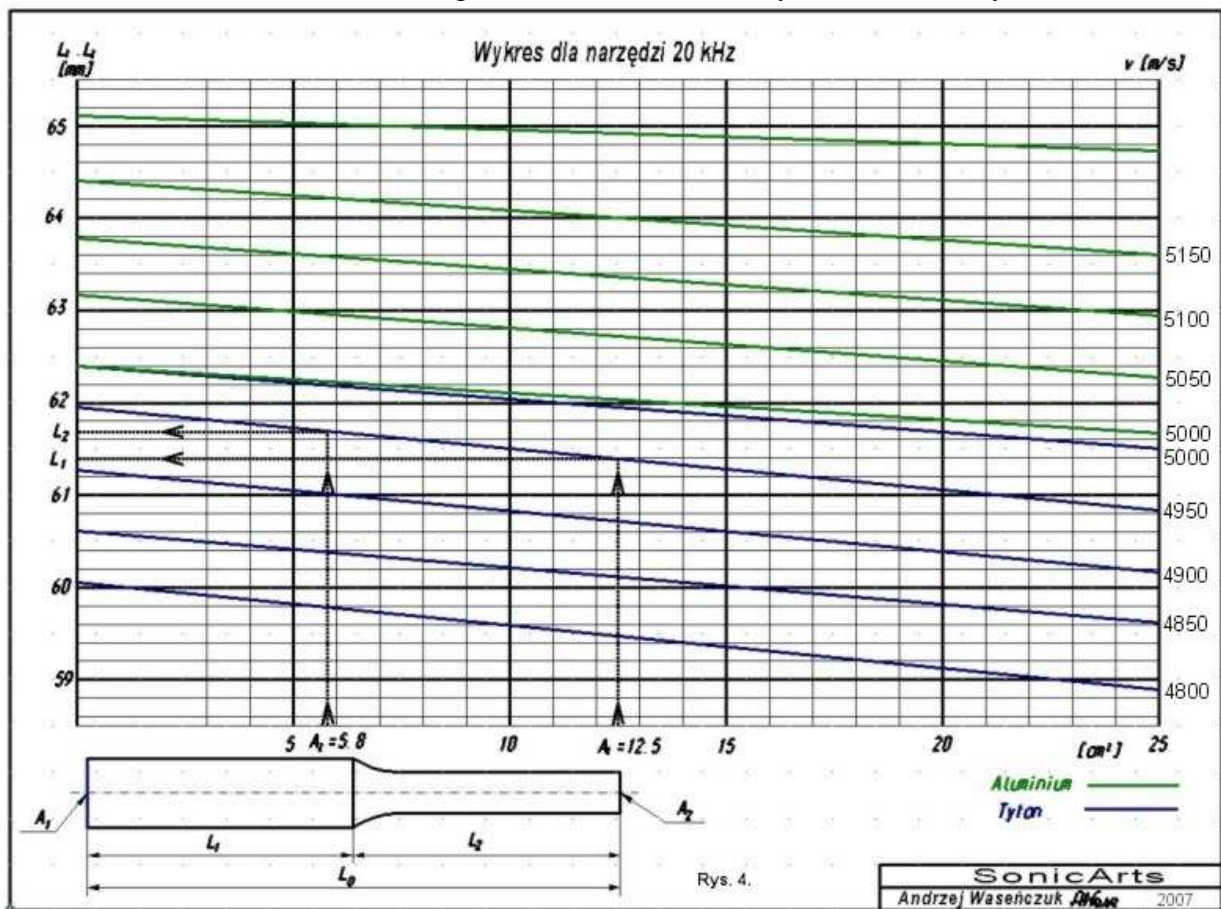
Przejście z większej do mniejszej średnicy powinno następować w węzle drgań punkt Q. Przejście powinno być po promieniu, żeby uniknąć zjawiska karbu narażającego narzędzie na pęknięcie.

Narzędzia z przedziału średnic $60 \div 10$ mm o prostym walcowym kształcie obliczmy z:

$$L_0 = L_1 + L_2 = k_1 V/4f + k_2 V/4f$$

Współczynniki korekcji k_1 i k_2 zależą od stosunku podziału narzędzia na części o różnych średnicach.

Prędkość dźwięku v oraz długości L_1 i L_2 można odczytać z tabeli 1 i rys 4.



Strojenie narzędzia może ułatwić wydłużenie długości L_0 o $2 \div 3$ mm. Korygując te długości doświadczalnie można dostroić narzędzie ultradźwiękowe - skracając je.

3.4. Przykład.

Obliczyć narzędzie ultradźwiękowe (sonotrodę) zrobioną z tytanu do zgrzewania polistyrenu o średnicy roboczej $D_2 = 27$ mm ($A_2 = 5,8$ cm²).

Dane:

- Amplituda na czole falowodu $\xi_3 \approx 10$ μm,
- Średnica wyjściowa falowodu $D_3 = 35$ mm,
- Częstotliwość robocza $f = 20$ kHz,
- Rekomendowana amplituda do pracy z polistyrenem 15 – 25 μm
(patrz strona www.sonicarts.pl) $\xi_2 \approx 21$ μm (przyjęta),
- Transformacja amplitudy $\beta = \xi_2/\xi_1 = 21\mu\text{m}/10\mu\text{m} = 2,1$ (przyjęta 2,15),
- Prędkość dźwięku w posiadanym tytanie $v = 4950$ m/s

Narzędzie stopniowe (z uskokiem średnicy) rys1.

Przełożenie narzędzia wynosi:

$$\beta = A_1/A_2 \Rightarrow A_1 = \beta \times A_2 = 2,15 \times 5,8 \text{ cm}^2 = 12,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow D_1 = 39,9 \text{ mm} \approx 40,0 \text{ mm},$$

Dane narzędzia:

$$D_1 = 27,0 \text{ mm z założenia, } A_1 = 5,8 \text{ cm}^2,$$

$$D_2 = 40,0 \text{ mm, } A_2 = 12,5 \text{ cm}^2,$$

$$v = 4950 \text{ m/s prędkość dźwięku w tytanie,}$$

Na podstawie tych danych przy pomocy rys. 4 wyznaczamy długości L_1 i L_2 .

$$L_1 = 61,4 \text{ mm,}$$

$$L_2 = 61,7 \text{ mm,}$$

$$L_0 = L_1 + L_2 = 61,4 + 61,7 = 123,1 \text{ mm} + \text{naddatek } 2 \text{ mm dla } L_2,$$

4 Regeneracja narzędzia.

W skutek pracy niszczy się powierzchnia robocza narzędzia. Czasami też ulega niewielkim uszkodzeniom powierzchnia przylegania do falowodu.

Powierzchnie te należy zregenerować przez ich przeszlifowanie, a przy znaczniejszych uszkodzeniach przez przetoczenie i przeszlifowanie. Po regeneracji narzędzie ulega skróceniu i częstotliwość jego pracy f staje się wyższa, może się znaleźć poza dozwoloną tolerancją pracy generatora. Narzędzie, a właściwie cały układ drgający może zacząć źle pracować. Możliwe jest niewielkie obniżenie częstotliwości narzędzia przez podciągnięcie w górę promienia przejściowego (skrócenie części L_1). Czasami pozwala, to wydłużyć czas pracy narzędzia.

Po pewnym czasie (kolejnych skracaniach) korekty przestaną być skuteczne.

5. Uwagi końcowe.

Autor jeszcze raz podkreśla, że nie bierze odpowiedzialności za praktyczne stosowanie powyższych wiadomości.

Należy pamiętać, że generator „widzi” układ przetwornik, falowód, narzędzie jako układ RLC, który powinien pracować w częstotliwości rezonansowej. Parametry generatora są tak przez producenta dobrane, żeby były spasowane z parametrami RLC układu drgającego. Oprócz „głównego” piku rezonansowego, w jego okolicy znajdują się jeszcze inne piki, ale już poza maksimum optymalnej pracy. Należy zadbać żeby dostroić się do właściwego punktu pracy układu. Może się zdarzyć, że pomimo dostrojenia częstotliwości układu drgającego do częstotliwości będącej w przedziale tolerancji generatora, układ będzie pracował niewłaściwie, przeciążał generator lub nie osiągał oczekiwanej mocy.

Jest to wynikiem tego, że zmieniając wymiary geometryczne narzędzia zmieniamy też jego masę czyli głównie pojemność i impedancję – tak to „dobiera” generator.

W przypadku Państwa kłopotów z prawidłowym zestrojeniem układów ultradźwiękowych, SonicArts ma możliwość sprawdzenia częstotliwości rezonansowej układu drgającego i rozkładu amplitudy drgań na powierzchni narzędzia.

SonicArts Andrzej Waseńczuk

sonicarts@sonicarts.pl, www.sonicarts.pl.