

# SonicArts

## Ultradźwiękowe zgrzewanie tworzyw sztucznych

### Mini informator



SonicArts, ul. Dorodna 16; 03-195 Warszawa,  
tel/fax. 0 22 811 02 52; [www.sonicarts.pl](http://www.sonicarts.pl), [sonicarts@sonicarts.pl](mailto:sonicarts@sonicarts.pl)

## Spis treści

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Wprowadzenie.....                                                                 | 3  |
| Urządzenia i technologie ultradźwiękowe w zastosowaniu do tworzyw sztucznych..... | 3  |
| Minimum historii.....                                                             | 3  |
| Minimum teorii.....                                                               | 4  |
| Przykłady zgrzewarek ultradźwiękowych.....                                        | 5  |
| Zastosowanie urządzeń ultradźwiękowych.....                                       | 6  |
| Trochę o tworzywach sztucznych.....                                               | 7  |
| Kompatybilność tworzyw sztucznych do łączenia ultradźwiękowego.....               | 8  |
| Podatność tworzyw sztucznych na obróbkę ultradźwiękową.....                       | 9  |
| Wpływ dodatków do tworzyw na jakość połączeń ultradźwiękowych.....                | 9  |
| Projektowanie części do łączenia ultradźwiękowego.....                            | 10 |
| Zgrzewanie ultradźwiękowe.....                                                    | 10 |
| Zgrzewanie punktowe.....                                                          | 13 |
| Zgrzewanie, cięcie folii i tkanin syntetycznych.....                              | 13 |
| Wycinanie ultradźwiękowe.....                                                     | 14 |
| Nitowanie i formowanie.....                                                       | 14 |
| Osadzanie.....                                                                    | 16 |
| Ultradźwiękowe pakowanie, zamykanie i uszczelnianie.....                          | 16 |
| Jeszcze kilka uwag konstrukcyjnych.....                                           | 16 |
| Wybór urządzenia ultradźwiękowego.....                                            | 17 |
| Bezpieczeństwo w pracy z urządzeniami ultradźwiękowymi.....                       | 18 |

## Wprowadzenie

Z tworzywami sztucznymi spotykamy się dziś na każdym kroku. Stosowane są w urządzeniach gospodarstwa domowego, elektronice, motoryzacji, przemyśle tekstylnym, rolnictwie, medycynie, opakowaniach i wielu innych przejawach działalności człowieka. Właściwie nie ma dziedziny życia, w której w jakiejś postaci nie byłyby stosowane.

Tworzywa sztuczne to jedyne materiały wymyślone przez człowieka, wcześniej w przyrodzie nie występowały.

Powszechność stosowania tworzyw sztucznych wymusiła rozwój technologii i urządzeń do ich obróbki.

Łączenie i cięcie tworzyw sztucznych

W obróbce elementów z tworzyw sztucznych występuje konieczność ich łączenia i cięcia. Wykonać te operacje można różnymi sposobami. Do dyspozycji mamy:

- połączenia mechaniczne (na wkręty lub śruby),
- łączenie na zaczepy (zatrzaski),
- łączenie przez rozpuszczanie,
- klejenie,
- połączenia termiczne,
- spawanie i cięcie gorącym powietrzem,
- spawanie z zastosowaniem wysokich częstotliwości,
- łączenie przez zacieranie (siłami tarcia),
- zgrzewanie elektromagnetyczne,
- zgrzewanie wibracyjne,
- spawanie laserowe,
- zgrzewanie ultradźwiękowe.

Technologie ultradźwiękowe obejmują:

- zgrzewanie ciągłe i punktowe,
- osadzanie i zakleszczanie,
- spęczanie,
- formowanie,
- uszczelnianie,
- cięcie (wycinanie).

W informatorze zajmujemy się zastosowaniem technologii ultradźwiękowych w odniesieniu do tworzyw sztucznych.

Mamy nadzieję, że podane poniżej informacje pomogą Państwu nieco bliżej poznać tę technologię, jej możliwościami, urządzenia i narzędzia niezbędne do jej wdrożenia. Mamy też nadzieję, że dostrzegą Państwo korzyści z jej stosowania.

## Urządzenia i technologie ultradźwiękowe w zastosowaniu do tworzyw sztucznych

### *Minimum historii*

Historia techniki ultradźwiękowej rozpoczęła się od 1848 r., w którym J. P. Joule zauważył zjawisko magnetostrykcji w metalach ferromagnetycznych (odkształcenie mechaniczne pod wpływem pola magnetycznego). W 1880 r. P. Curie spostrzegł, że na powierzchni niektórych

kryształów pod wpływem ścisnięcia powstają ładunki elektryczne i nazwał to zjawisko piezoelektrycznością.

Praktyczne zastosowanie tych zjawisk stało się możliwe po wynalezieniu lampy elektronowej, gdy można było generować i wzmacniać prądy wysokiej częstotliwości. Żywiłowy rozwój różnorodnych technik ultradźwiękowych rozpoczął się w czasie I wojny światowej i trwa do dziś.

## Minimum teorii

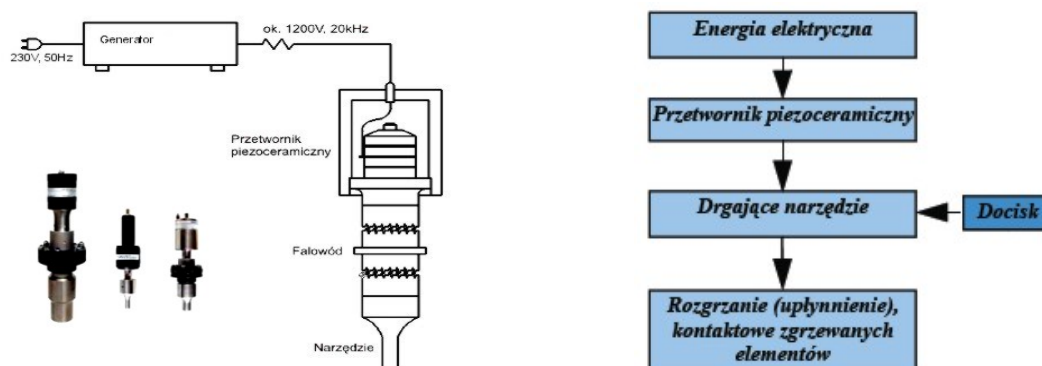
Ujmując w największym skrócie, ultradźwięki powstają poprzez zamianę energii elektrycznej na mechaniczną za pomocą przetwornika piezoceramicznego. Drgania powodują powstanie dźwięku. Jest on formą energii mechanicznej, rozchodzi się jako fala podłużna, a do rozprzestrzeniania się potrzebuje ośrodka materialnego. Z dźwiękiem (energiją akustyczną) mamy kontakt na co dzień zwłaszcza gdy sami mówimy (jesteśmy biologicznym generatorem dźwięku) lub gdy kogoś słuchamy (jesteśmy biologicznym odbiornikiem dźwięku).

Przeciętnie człowiek słyszy dźwięki podstawowe w paśmie od 16 Hz do 16 kHz. Częstotliwości poniżej 16 Hz nazywamy infradźwiękami, a powyżej 16 kHz ultradźwiękami.

### W praktyce dzieje się to następująco:

Generator przetwarza prąd z sieci elektrycznej 230V i częstotliwości 50 Hz na prąd o napięciu 800 - 1500 V i częstotliwości np. 20 kHz. Prąd doprowadzony do przetwornika piezoceramicznego powoduje jego drgania. Drgania odbierane są przez element metalowy zblokowany ze pakietem ceramicznym i poprzez falowód przekazywane do narzędzia, które jest elementem roboczym układu.

Poniżej schemat zgrzewarki i procesu grzewania ultradźwiękowego.



Zgrzewarki ultradźwiękowe buduje się z reguły na indywidualne zamówienie dopasowane do potrzeb odbiorcy. Najbardziej typowa konstrukcja jest następująca:

Układ jest zasilany z generatora umieszczonego w oddzielnej obudowie. Znajdują się w niej także układy sprzężenia zwrotnego, sterowania, regulacji i zabezpieczające. Urządzenie zbudowane jest na bazie solidnej podstawy, do której mocowane są statyw podtrzymujący i prowadzący układ ultradźwiękowy oraz kowadło (przeciw opór), do którego dociskane są spajane elementy. Układ ultradźwiękowy najczęściej jest poruszany siłownikiem pneumatycznym, który zapewnia także odpowiedni docisk narzędzia do obrabianych przedmiotów. Średnica tłoka jest dobrana do siły jaka jest niezbędna do spajania elementów. Najczęściej średnica tłoka wynosi 50 - 75 mm, a skok 50 - 100 mm. Urządzenie wymaga więc zasilania sprężonym powietrzem o regulowanym ciśnieniu w przedziale 3 - 6 bar.

Kilka rozwiązań zgrzewarek ultradźwiękowych do różnych zastosowań przedstawiono dalej.

## Przykłady zgrzewarek ultradźwiękowych.



*Zgrzewarka ręczna*



*Zgrzewarka z przystawką do wycinania*



*Typowa zgrzewarka stacjonarna*



*Zgrzewarka ze stołem obrotowym*



*Wyspecjalizowana zgrzewarka jako maszyna "szyjąca"*

z tkanin z tworzyw sztucznych.

Do lżejszych prac pomocniczych, tam gdzie wystarczy nacisk ręczny stosuje się ręczne zgrzewarki „pistoletowe”.

Do cięższych prac i tam gdzie są niezbędne powtarzalne parametry zgrzewania stosuje się zgrzewarki stacjonarne. W celu zwiększenia wydajności zgrzewarkę można wyposażać np. w stół obrotowy do podawania części do zgrzewania. Przy prostszych operacjach np. zgrzewania i wycinania elementów z tkanin czy folii z tworzywa, maszynę można wyposażać w specjalną przystawkę. Czasami niezbędne jest zbudowanie specjalnej maszyny produkcyjnej, której tylko jednymi z elementów są podzespoły ultradźwiękowe.

Przykładem takiej maszyny jest maszyna do „szycia” rzeczy

## Zastosowanie urządzeń ultradźwiękowych

Tworzywa sztuczne występują obecnie w każdym przejawie ludzkiej działalności, więc zgrzewarki ultradźwiękowe znajdują zastosowanie w różnych rodzajach przemysłów i do różnych wyrobów. Poniżej przedstawiono tylko kilka przykładów.

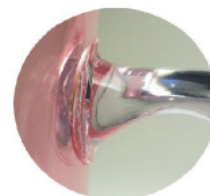


Zgrzewanie i wycinanie kształtów z wielowarstwowych tkanin syntetycznych na wkładki do masek przeciwpyłowych oraz mocowanie do nich nosowego zacisku uszczelniającego.

Przykład łączenia różnokolorowych elementów przy produkcji trójkąta ostrzegawczego (przód wyrobu) i osadzania śruby mocującej (tył wyrobu).



' Łączenie dwóch połówek filtra paliwa i przygrzewanie uszka do kubeczka reklamowego.



Możliwości stosowania urządzeń do produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych są oczywiście przeogromne i tych kilka przykładów dalece nie wyczerpuje tematu.

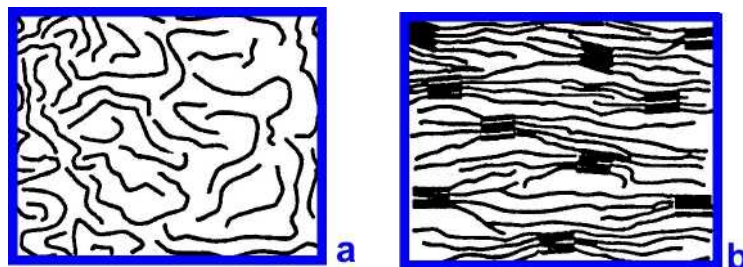


## Trochę o tworzywach sztucznych.

Występuje ogromna różnorodność tworzyw sztucznych o różnych właściwościach. Nie wszystkie z nich można obrabiać ultradźwiękowo i nie wszystkie łączyć ze sobą.

Ze względu na mechanizm powstawania połączenia do obróbki ultradźwiękowej nadają się tylko tworzywa termoplastyczne. Powód jest prosty można je uplastyczyć (upłynnić) przez rozgrzanie, a po ostygnięciu utrwalić kształt.

Tworzywa termoplastyczne mogą być amorficzne (a) (ze strukturą bezpostaciową) i semi-krystaliczne (b) (ze strukturą częściowo uporządkowaną).



Tworzywa amorficzne mają szeroki przedział temperatur, w którym przechodzą od postaci stałej do uplastycznionej, przez półpłynną do płynnej. Przy oziębieniu zachowują się odwrotnie. Dobrze przewodzą energię ultradźwiękową.

Tworzywa semi-krystaliczne mają wąski przedział temperatur, w którym przechodzą ze stanu stałego do płynnego i odwrotnie. Znacznie gorzej przewodzą energię ultradźwiękową oraz potrzeba jej więcej do ich zmiękczenia (upłynnienia), przez co są tworzywami trudniej obrabialnymi ultradźwiękowo.

Więź molekularna może być nawiązana pomiędzy dwoma tworzywami, gdy są zgodne chemicznie. Dobrze jest, gdy i ich cechy fizyczne też są zbliżone, głównie chodzi o to by ich temperatury upłynniania nie leżały dalej od siebie niż 15 °C.

Ogólnie ujmując najlepsze wyniki zgrzewania uzyskuje się, gdy łączone materiały są polimerami amorficznymi o dużym podobieństwie. W innych przypadkach proces ten bywa możliwy, ale jest trudniejszy.

W dalszej części zestawiono kompatybilność niektórych tworzyw oraz ich podatność na różne rodzaje obróbki ultradźwiękowej.

## Kompatybilność tworzyw sztucznych do łączenia ultradźwiękowego.

|        | A<br>B<br>S | AB<br>S/P<br>C | P<br>M<br>M<br>A | S<br>B<br>S | C<br>A | P<br>P<br>O | P<br>A | P<br>C | P<br>S<br>G<br>P | P<br>S<br>H<br>I | P<br>S<br>U | P<br>V<br>C<br>U | P<br>V<br>C<br>P | S<br>N<br>A | P<br>O<br>M | P<br>E<br>T | P<br>E | P<br>P<br>S<br>U | P<br>P<br>S | P<br>P | P<br>B<br>T | P<br>E<br>E<br>K | P<br>E<br>I | P<br>E<br>K | P<br>E<br>S |
|--------|-------------|----------------|------------------|-------------|--------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|--------|------------------|-------------|--------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| ABS    | •           | •              | •                |             |        |             |        |        | ◇                | ◇                |             | ◇                |                  | ◇           |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| ABS/PC | •           | •              | ◇                |             |        |             |        | •      |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PMMA   | •           | ◇              | •                |             |        | ◇           |        | ◇      |                  |                  |             |                  |                  | ◇           |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| SBS    |             |                |                  | •           |        |             |        |        | ◇                | ◇                |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| CA     |             |                |                  |             | •      |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PPO    |             |                |                  |             |        | •           |        |        | •                |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PA     |             |                |                  |             |        |             | •      |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PC     |             | •              | ◇                |             |        | ◇           |        | •      |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  | ◇           |             |             |
| PS-GP  | ◇           |                |                  | ◇           |        | •           |        |        | •                |                  |             |                  |                  | •           |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PS-HI  | ◇           |                |                  | ◇           |        |             |        |        |                  | •                |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PSU    |             |                |                  |             |        |             |        | ◇      |                  |                  | •           |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PVC-U  |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             | •                |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PVC-P  |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  | •                |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| S-N-A  | ◇           |                | ◇                |             |        | ◇           |        | •      |                  |                  |             |                  |                  | •           |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PO M   |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             | •           |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PET    |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             | •           |        |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PE     |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             | •      |                  |             |        |             |                  |             |             |             |
| PPS U  |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        | •                |             |        |             |                  |             |             |             |
| PPS    |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  | •           |        |             |                  |             |             |             |
| PP     |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             | •      |             |                  |             |             |             |
| PBT    |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        | •           |                  |             |             |             |
| PEE K  |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             | •                |             |             |             |
| PEI    |             |                |                  |             |        |             |        | ◇      |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  | •           |             |             |
| PEK    |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             | •           |             |
| PES    |             |                |                  |             |        |             |        |        |                  |                  |             |                  |                  |             |             |             |        |                  |             |        |             |                  |             |             | •           |

- - tworzywa zgodne, połączenie dobre,
- ◇ – tworzywa powinowate, połączenie możliwe,
- € - brak zgodności.



## Podatność tworzyw sztucznych na obróbkę ultradźwiękową

| Rodzaj tworzywa | Zgrzewanie     |                | Osadzanie | Nitowanie | Uszczeln. | Punktowe zgrzewanie |
|-----------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
|                 | W bliskim polu | W dalekim polu |           |           |           |                     |
| ABS             | BD             | D              | BD        | BD        | BD        | BD                  |
| ABS/PC          | BD             | D              | BD        | D         | D         | D                   |
| PMMA            | D              | DST            | D         | D         | D         | D                   |
| SBS             | BD             | D              | D         | D         | DST       | D                   |
| CA, CB, CAB     | Z              | Z              | D         | D         | D         | Z                   |
| PPO             | D              | D              | BD        | D         | D         | D                   |
| PA              | D              | Z              | D         | DST       | DST       | D                   |
| PC              | D              | D              | D         | DST       | DST       | D                   |
| PS-GP           | BD             | BD             | D         | DST       | DST       | DST                 |
| PS-HI           | D              | DST            | BD        | BD        | BD        | BD                  |
| PSU             | D              | DST            | D         | DST       | DST       | DST                 |
| PVC-U           | DST            | Z              | D         | D         | D         | DST                 |
| PVC-P           | Z              | Z              | DST       | Z         | Z         | Z                   |
| SAN-NSA-ASA     | BD             | BD             | D         | DST       | DST       | DST                 |
| POM             | D              | DST            | D         | DST       | DST       | DST                 |
| PET             | D              | DST            | D         | DST       | DST       | DST                 |
| PE              | DST            | Z              | D         | DST       | DST       | D                   |
| PPSU            | D              | DST            | D         | D         | D         | D                   |
| PPS             | D              | DST            | D         | DST       | DST       | Z                   |
| PP              | D              | Z              | D         | BD        | BD        | BD                  |
| PBT             | D              | DST            | D         | DST       | DST       | D                   |
| PEEK            | DST            | Z              | D         | DST       | DST       | DST                 |
| PEI             | D              | DST            | D         | DST       | DST       | D                   |
| PEK             | D              | DST            | D         | D         | D         | D                   |
| PES             | D              | DST            | D         | D         | D         | D                   |

BD - Bardzo dobrze,  
D - Dobrze,  
DST - Dostatecznie,  
Z - Źle.

## Wpływ dodatków do tworzyw na jakość połączeń ultradźwiękowych

Do tworzyw dodawane są różnego rodzaju dodatki, które też wpływają na obrabialność tworzyw sztucznych.

**Wypełniacze** – zwiększają zdolność do przewodzenia energii ultradźwiękowej, co jest szczególnie dobre dla tworzyw semi-krystalicznych. Zawartość wypełniaczy na poziomie 10-20% jest pozytywna, ale już powyżej 30% destruktywny. Wiąże się to z tym, że ultradźwiękom poddaje się tylko tworzywo, a wypełniacze nie. W dużej ilości mogą pogarszać wytrzymałość spoiny i jej jednorodność.

**Higroskopijność** – wilgoć wchłonięta przez plastik wrze w procesie zgrzewania, co powoduje niejednorodne warunki łączenia. Pogarsza jakość spoiny i estetykę połączenia. Dobrą praktyką jest przechowywanie higroskopijnych elementów w szczelnych opakowaniach, a jeżeli to niemożliwe to suszyć je przed zgrzewaniem.

**Dodatki przeciwpalne** - mają skłonność do obniżania wytrzymałości spoiny, w przypadkach gdy są stosowane warto zwiększyć powierzchnię spoiny.

**Smary** i środki powierzchniowo czynne - substancje te są wykorzystywane w procesie formowania wtryskowego. Pogarszają one warunki zgrzewania i trwałość spoiny. Jeżeli występują w nadmiarze należy je przed zgrzewaniem usunąć.

**Plastyfikatory** - szczególnie metaliczne mają tendencję do migrowania w spoinę, co ją osłabia z biegiem czasu.

**Przemiał** - jego wpływ jest zależny od jego jakości. Nie należy dodawać nieznanego przemiału. Statystycznie przyjmuje się, że do 15% dodatku przemiału, nie pogarsza on warunków obróbki ultradźwiękowej.

## Projektowanie części do łączenia ultradźwiękowego

Dobre wyniki zgrzewania uzyskuje się przy poprawnym zaprojektowaniu części do tego przeznaczonych. Wielu producentów chcąc zastąpić klejenie czy łączenie termiczne zgrzewaniem ultradźwiękowym, niechętnie podchodzi do wzrostu kosztów związanych ze zmianami w formach wtryskowych bądź stosowania materiałów lepszej jakości. Uzyskują wówczas gorsze rezultaty. Proces zgrzewania ultradźwiękowego ma swoje wymagania i decydując się na jego stosowanie warto szereg problemów rozwiązać kompleksowo, co gwarantuje dobre rezultaty. Projekt powinien uwzględniać:

- => geometrię zgrzewanych powierzchni,
- => rodzaj tworzywa sztucznego,
- => parametry zgrzewania.

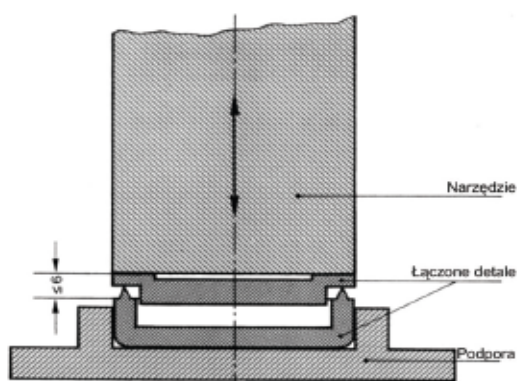
## Zgrzewanie ultradźwiękowe.

W ultradźwiękowym zgrzewaniu jeden z łączonych elementów jest sztywno podparty, a drugi kładzie się na nim. Detale powinny być tak zaprojektowane by łatwo je można było złożyć i aby były stabilne względem siebie. Narzędzie kontaktuje się z górnym detalem, wywiera na nie nacisk i przekazuje energię ultradźwiękową. Detal ten musi mieć odpowiednie powierzchnie zdolne do odbierania energii.

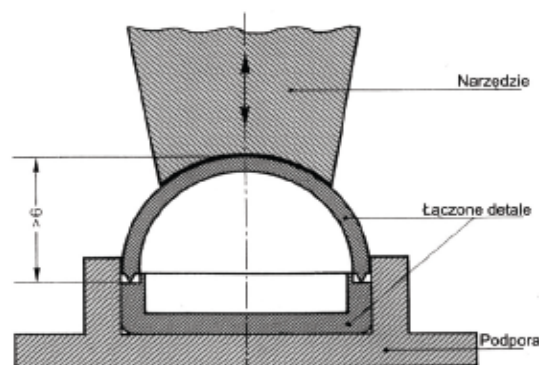
Energia przez materiał górnego detalu jest przewodzona do powierzchni styku, z dolnym detalem, wydziela się na niej, upłynnia materiały i pod wpływem docisku łączy je.

Po zakończeniu działania ultradźwięków bywa wskazane utrzymanie przez jakiś czas docisku do ostygnięcia łączonych detali i ustabilizowania się ich wzajemnego położenia. Całość musi być pewnie osadzona w podporze.

Zgrzewane powierzchnie powinny być w kontakcie na całej długości. O ile to możliwe powinny też być w jednym planie (na tej samej płaszczyźnie).

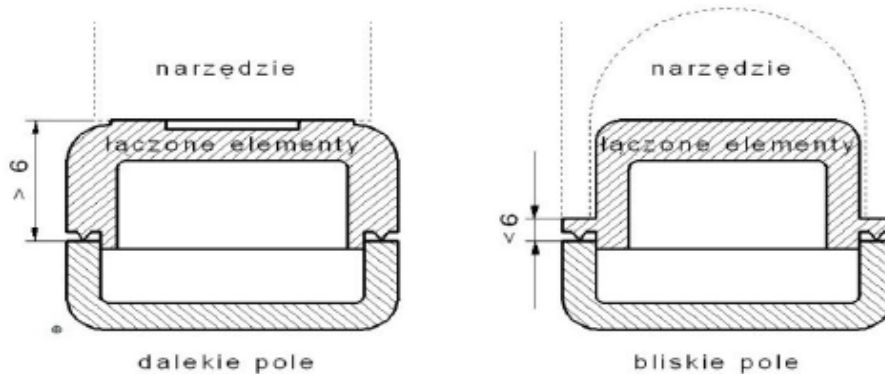


Łączenie w bliskim polu



Łączenie w dalekim polu

Na rysunkach pokazano dobre pozycjonowanie i podparcie detali, a także możliwie duży obszar kontaktu z narzędziem. W jednym z przykładów droga energii ultradźwiękowej przez materiał jest krótsza niż 6 mm. Takie zgrzewanie określa się zgrzewaniem w bliskim polu, na drugim droga ta jest dłuższa od 6 mm i jest to zgrzewanie w dalekim polu.



Sposób uniknięcia zgrzewania w dalekim polu.

Należy dążyć (o ile się da) do takiej konstrukcji detali by zgrzewanie zachodziło w bliskim polu. Powyżej przedstawiono taki przykład.

O ile się nie da uniknąć łączenia w dalekim polu, należy tak skonstruować górny detal, żeby droga przez materiał od narzędzia do punktu łączenia była taka sama. Do łączenia w dalekim polu lepsze są materiały amorficzne.

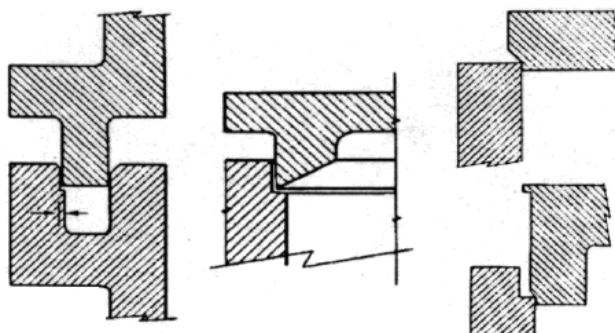
Najczęściej wykorzystywane są dwa rodzaje konstrukcji detali przeznaczonych do zgrzewania:

- **progi energetyczne (rys wyżej),**
- **progi ścinane (rys niżej).**

Próg energetyczny uzyskuje się przez uformowanie na powierzchni łączonej górnego detalu karbu. Jest on miejscem kumulacji energii. W związku z małą objętością szybko rozgrzewa się i uplastycznia, co ułatwia przekazanie energii do dolnej łączonej powierzchni.

Dla materiałów amorficznych jego wymiary powinny wynosić 0,25 – 1,50 mm szerokości u podstawy i od 0,125 – 0,75 mm wysokości (w zależności od łączonych elementów). Kąt wierzchołkowy wynosi ok. 45°.

W przypadku materiałów semi-krystalicznych analogiczne wymiary wynoszą: podstawa 0,20 – 1,20 mm, wysokość ok. 0,866 podstawy, kąt 60°.



*Rodzaje połączeń ze ścinaniem*

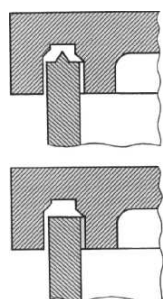
Połączenie ze ścinaniem jest odmianą połączenia z karbem (progiem energetycznym). Rolę karbu przejmuje krawędź górnego detalu. Połączenie jest tak pomyślane by pod wpływem docisku i uplastycznienia jeden detal wcisnąć w drugi. Uzyskane tak połączenia są wyjątkowo mocne. Przy projektowaniu takich połączeń warto uwzględnić dane z tabelki.

| Średnica połączenia       | Różnica w wymiarach łączonych | Tolerancja | Głębokość osadzania                   | Wysokość (głębokość) spoiny |
|---------------------------|-------------------------------|------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| ≤18mm                     | 0,20-0,30mm                   | ±0,025mm   | 0,50-0,80mm we wszystkich przypadkach | 1,25-1,50mm                 |
| 18-35mm                   | 0,30-0,40mm                   | ±0,050mm   |                                       |                             |
| ≥35mm                     | 0,40-0,50mm                   | ±0,075mm   |                                       |                             |
| Grubość ścianek min. 2 mm |                               |            |                                       |                             |

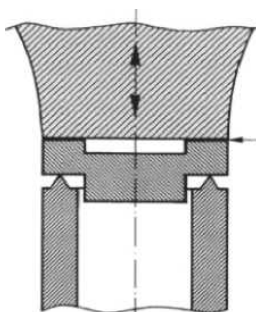
Łączenie ze ścinaniem powoduje uszczelnienie połączenia, należy pamiętać, że może powstać objętość zamknięta zawierająca powietrze, która może uniemożliwić dociśnięcie zgrzewanych powierzchni. Ponadto wzrost ciśnienia, jaki się w takim przypadku pojawia powoduje stałe naprężenia w ściankach i spoinie, co jest niekorzystne. W konstrukcji należy unikać tworzenia szczelnie zamkniętych objętości.

Połączenie ścinane wymaga znacznego docisku, podpora powinna być pewnie mocowana i dobrze stabilizować łączone detale. W trakcie łączenia ścianki mogą ulec spęczeniu w takim przypadku może być potrzebny wypychacz do wyjęcia elementów z podpory.

Poniżej zamieszczono rysunki poglądowe, które mogą być przydatne projektantom detali do łączenia ultradźwiękowego.

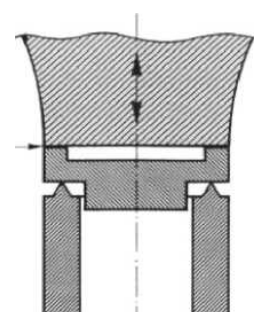


*Różne  
powierzchnie  
zgrzewania.*



*Lepiej*

Powierzchnia styku  
narzędzia i detalu.

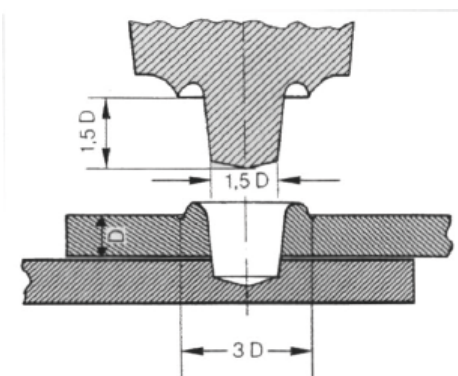


*Gorzej*

Na rysunkach pokazano lepiej i gorzej zaprojektowane powierzchnie styku narzędzia i detalu.

Warto sprawdzić objętości upłynnianego materiału i pozostające do wypełnienia nim szczeliny, żeby nie powstawały wypływki pogarszające estetykę połączenia.

## Zgrzewanie punktowe



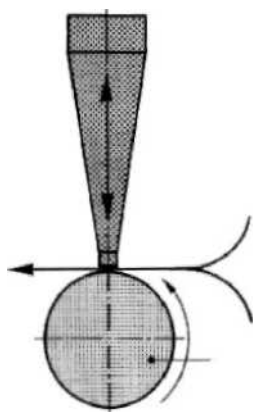
Zgrzewanie punktowe jest alternatywą dla zgrzewania ciągłego. Stosuje się je do cienkich płyt, tam gdzie jest trudny dostęp, do detali uzyskiwanych ciśnieniowo itd.

Odpowiednio zaprojektowane narzędzie przenika aż do drugiej z łączonych warstw, a wypływka formowana jest w estetyczny pierścień. Średnica połączenia powinna być 3 razy większa od grubości zgrzewanej warstwy.

## Zgrzewanie, cięcie folii i tkanin syntetycznych.

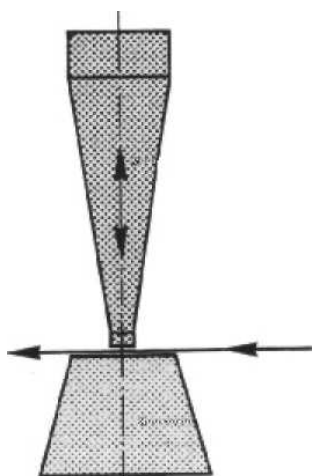
Folię można zgrzewać na trzy sposoby.

### Sposób ciągły.



Przykład szwu.

Materiał przesuwany jest między stacjonarnym narzędziem ultradźwiękowym i obracającym się kółkiem, którego powierzchnia może być pokryta ozdobnym wzorem, lub jest „nożem”. Metodę tę stosuje się powszechnie w przemyśle tekstylnym. W przypadku cięcia zostaje przetopiona krawędź materiału, co zapobiega jego strzępieniu się.



### Sposób krokowy.

O ile pozwala na to szerokość materiału (niezbyt duża), to przesuwany on jest skokowo. W trakcie zatrzymania dosuwane jest narzędzie zgrzewające. W ten sposób zgrzewa się, wycina i wytłacza wzory.

### Zgrzewanie poprzeczne.

Narzędzie przesuwane jest wzdłuż materiału leżącego na podporze.

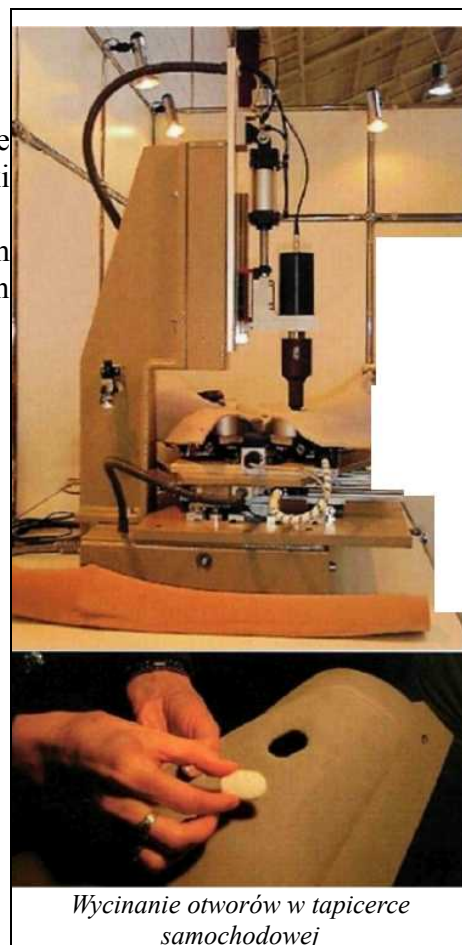
Oczywiście są możliwe jeszcze inne rozwiązania wzajemnego ruchu narzędzia i materiału. Urządzenia takie buduje się indywidualnie pod konkretne potrzeby klientów.



## Wycinanie ultradźwiękowe

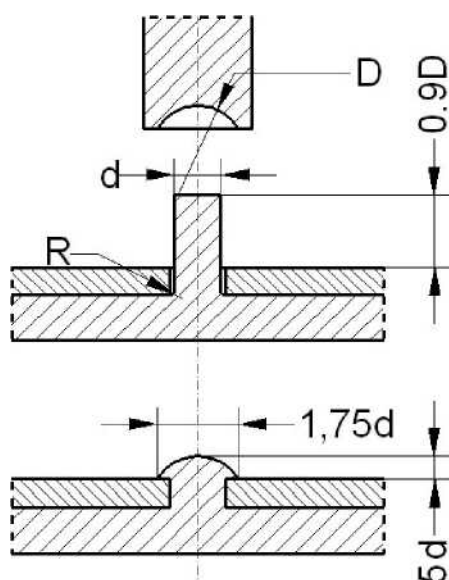
Wycinanie ultradźwiękowe jest popularne w przemyśle samochodowym do wycinania otworów w elementach tapicerki wyściełającej wnętrza samochodów lub obić drzwi.

Metodami wycinania z jednoczesnym zgrzewaniem produkuje się wiele wyrobów kosmetycznych, higienicznych i ochrony osobistej.

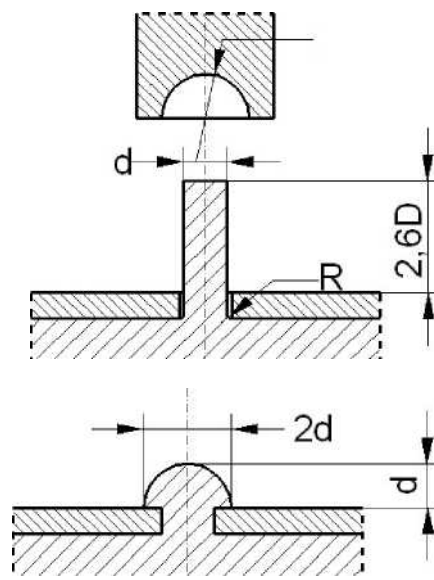


*Wycinanie otworów w tapicerce samochodowej*

## Nitowanie i formowanie



*Nit z łbem kulowym pomniejszonym  
(mniejsza wytrzymałość)*

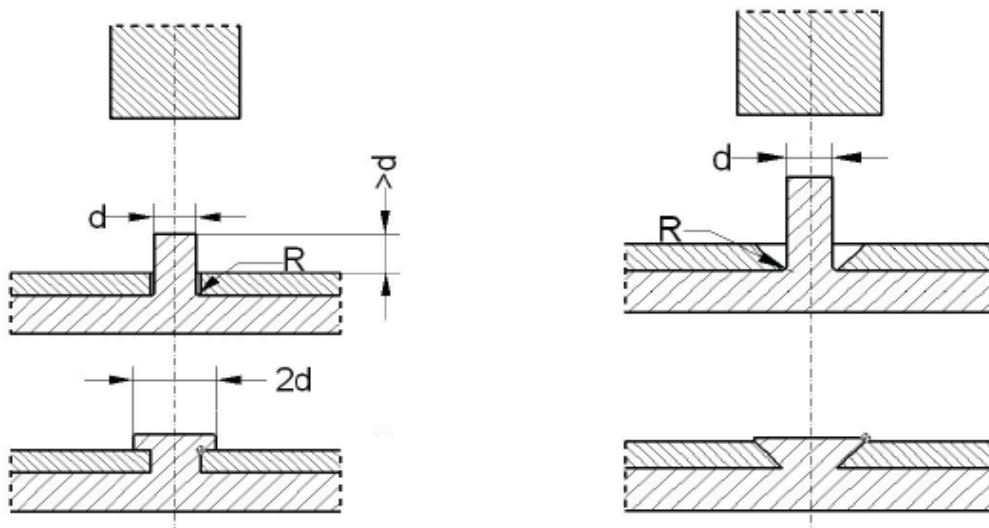


*Nit z łbem kulowym powiększonym  
(większa wytrzymałość)*

Nitowanie i formowanie jest możliwe dzięki uplastycznieniu tworzywa sztucznego poprzez

dostarczenie mu energii ultradźwiękowej. Najbardziej typowe przykłady nitowania i zalecenia dla nich pokazano na rysunkach.

Nitowaniem można łączyć materiały nie zgrzewalne np. tworzywa sztuczne z metalami. Zgodność pomiędzy objętością kołeczka wystającego do formowania wymiarami otworu w detalu nitowanym i wybrania w narzędziu pozwala uzyskać dobre uformowanie łba i uniknąć wypływek, co zapewnia estetykę połączenia.



Przykłady innego formowania łbów nitów. Po prawej uproszczone i niskiej wytrzymałości. Po lewej nitowanie w przypadkach, gdy jest szczególnie mało miejsca

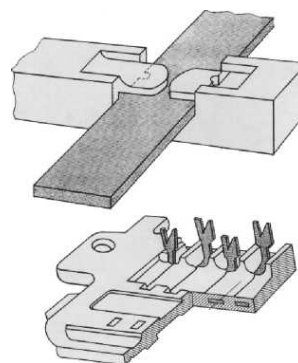
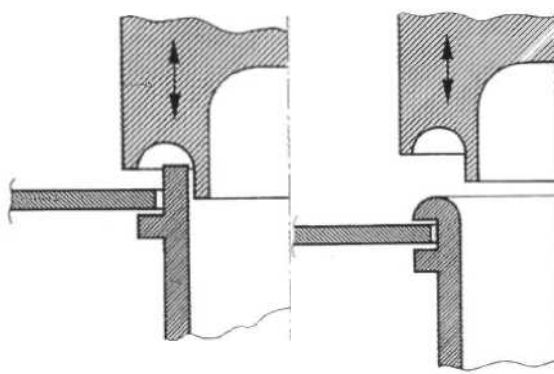
Możliwe jest formowanie kilku łbów nitów jednocześnie.



Przy projektowaniu połączeń nitowanych należy pamiętać o promieniach u nasady kołeczka do formowania, co znakomicie zwiększa wytrzymałość połączenia.

Po lewej praktyczny przykład nitowania.

Ultradźwiękowe **formowanie** umożliwia zakotwiczenie w detalu plastikowym elementu z materiału nie dającego się zgrzewać np.: szybki w ramce do obrazków, elementów metalowych w plastikowym korpusie i inne. Przykłady pokazano niżej.

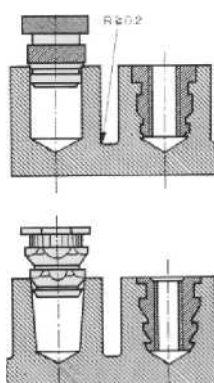




## Osadzanie

Zdarza się, że w plastikowym elemencie powinny być osadzone elementy metalowe. Tradycyjnie robi się to tak, że w formie wtryskowej mocuje się odpowiednie detale, a następnie wtryskuje tworzywo. Przy wielu wkładkach jest to produkcja bardzo pracochłonna.

Metalowe elementy można osadzać ultradźwiękowe. Przy powtarzających się operacjach proces można zautomatyzować.



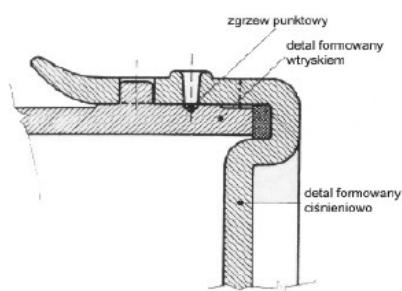
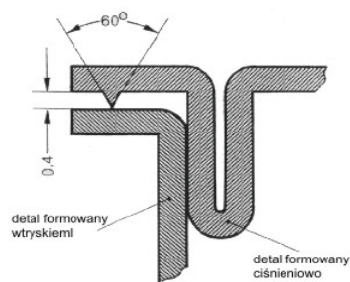
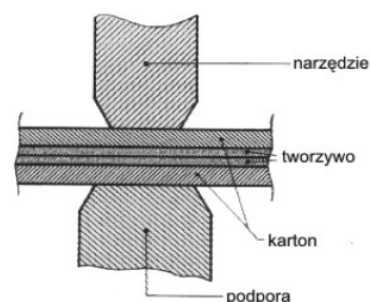
Otwór, w którym osadza się element powinien być wstępnie uformowany, ale mieć średnicę nieco mniejszą od osadzanego detalu. Elementy, na które działa moment obrotowy, lub które mogą być wyrwane powinny być odpowiednio ukształtowane.

Ultradźwięki przyłożone do wkładki przekazują przez nią energię, uplastycznia się tworzywo i można wcisnąć osadzany element.

Podawanie energii przez metalową wkładkę powoduje szybsze zużywanie się narzędzia i może być przyczyną hałasu. W takim przypadku projektuje się narzędzia z utwardzonych materiałów lub łatwo wymienne. O ile jest to konstrukcyjnie możliwe sugeruje się odwrócenie sytuacji tzn. aby narzędzie kontaktowało się z tworzywem i element plastikowy był nasuwany na metalowy.

## Ultradźwiękowe pakowanie, zamykanie i uszczelnianie

O ile opakowanie jest z tworzywa sztucznego (plastikowej folii), to zamknięcie opakowania metodą ultradźwiękową jest oczywiste. O ile materiał opakowania jest z tkaniny naturalnej lub kartonu (papieru) lub to musi on być wcześniej powleczony (laminowany) folią z tworzywa. W niektórych rodzajach opakowań możliwe jest ich szczelne i trwałe zamykanie ultradźwiękami.



Przykłady opakowań dobrych do zamykania ultradźwiękowo.

## Jeszcze kilka uwag konstrukcyjnych

Przesyłanie energii ultradźwiękowej stawia przed łączonymi detalami podobne wymagania, jakie występują w większości przypadków związanych z występowaniem naprężeń w projektowanych detalach.

Należy unikać ostrych narożników zewnętrznych i wewnętrznych, stosować przejścia po promieniu.

Otworki, szczeliny itp. w materiale przewodzącym energię powodują wzrost oporu jej przepływu i mogą być przyczyną powstawania zjawiska karbu.

Kołnierze, wypustki, uzębrowania są wrażliwe na energię ultradźwiękową u ich podstawy.

Warto zadbać by przejścia płaszczyzn były z promieniem, a jeżeli to konieczne należy je pogrubić bądź dodać wsparcia.

Zjawiska przeponowe polegają na skupianiu się energii w środku kolistych cienkich detali, co może prowadzić do ich deformacji lub wytopienia otworu.

## **Wybór urządzenia ultradźwiękowego**

Przed wyborem urządzenia należy określić do jakiej operacji technologicznej jest przewidywane i do wielkości produkcji. To umożliwi określenie takich parametrów urządzenia jak:

- częstotliwość pracy,
- moc generatora,
- siły docisku,
- stopień automatyzacji.

Ogólnie wyższe częstotliwości stosuje się do mniejszych narzędzi, a zatem i detali. Czym większy detal tym powinna być większa moc i niższa częstotliwość pracy.

Materiały semi-krystaliczne wymagają stosowania większych mocy niż amorficzne.

Moc energetyczna ultradźwięków jak i siła docisku powinny być nieco większe (o ok. 20%) od przewidywanego na nie zapotrzebowania.

Czynniki te mają wpływ na koszt urządzenia, na ogół zachodzi liniowa zależność im większa moc urządzenia, siła docisku i im większe narzędzie tym koszt urządzenia wyższy.

Warto też rozważyć zakres automatyzacji i sterowania urządzenia. Urządzenie obsługiwane ręcznie przez operatora wymieniającego obrabiane detale, może być sterowane analogowo. Urządzenie, którego przewidywana wydajność ma być duża, powinno już zawierać układy automatyzacji i z reguły powinno być sterowane mikroprocesorowo. Oczywiście w drugim przypadku będzie ono znacznie droższe niż w pierwszym, niemniej przy wielkonakładowej produkcji może być znacznie bardziej opłacalne.

Na ogół typową zgrzewarkę kupuje się do określonej operacji technologicznej i pod tym kątem jest optymalizowany tor ultradźwiękowy, kształt czoła narzędzia zgrzewającego. Można jednak adoptować konkretne urządzenie do innej operacji technologicznej o zbliżonym zapotrzebowaniu na moc ultradźwiękową. Czasami wystarczy wymiana samego narzędzia lub narzędzia i falowodu. Koszty tych elementów są już niewielkie w porównaniu z całą zgrzewarką.

Operacji tych powinien dokonywać jednak producent lub dostawca urządzenia. Chodzi przede wszystkim o dobre zestrojenie sonotrody po wymianie wspomnianych elementów.

Jeżeli jesteście Państwo na początku drogi w stosowaniu technologii ultradźwiękowych w planowanej przez siebie produkcji, kapitalne znaczenie będzie miał wybór producenta lub dostawcy urządzenia.

**Dobry dostawca urządzenia powinien Państwu doradzić w:**

- konstrukcji detali przewidywanych do obróbki ultradźwiękowej tak by proces mógł przebiegać prawidłowo,
- doborze parametrów roboczych urządzenia, tak by zoptymalizować jego koszt,
- doborze technologicznych parametrów pracy urządzenia by produkcja była najwyższej jakości i powtarzalności,
- zapewnić szkolenie pracowników przewidywanych do obsługi urządzenia,
- zapewnić serwis gwarancyjny i pogwarancyjny w możliwie krótkim terminie.

## Bezpieczeństwo w pracy z urządzeniami ultradźwiękowymi

Urządzenia ultradźwiękowe są bezpieczne w użytkowaniu, przyjazne dla środowiska pracy i naturalnego pod warunkiem przestrzegania zasad ich użytkowania i wykorzystywania zgodnie z przeznaczeniem.

Bezpieczeństwo pracy operatorów urządzeń powinno być główną troską dostawcy urządzenia i pracodawcy.

Pracę z urządzeniem należy rozpocząć od przeszkolenia jego operatora. Powinien też wiedzieć na jakie zagrożenia jest narażony i jak ich unikać. Operator powinien wiedzieć kiedy podzespoły urządzenia źle funkcjonują i nie należy na nim pracować.

Podstawowymi zagrożeniami w pracy z urządzeniami ultradźwiękowymi są oparzenia, możliwość utraty palca lub uszkodzenia dłoni (w skrajnym przypadku utrata ręki) i wstrząs elektryczny.

### **Wysokie napięcie.**

Wysokie napięcie jest wytwarzane przez generator zasilający i doprowadzane do przetwornika. Połączenie to powinno być okresowo sprawdzane i konserwowane. Należy dokładnie sprawdzać stan izolacji przewodu doprowadzającego i samego przetwornika. Urządzenie powinno być prawidłowo uziemione. Jeżeli byłoby wyczuwalne minimalne „mrowienie” w trakcie pracy lub testowania urządzenia należy przerwać pracę i dokładnie sprawdzić w/w punkty. Wskazane jest by operator był wyposażony w odpowiednie obuwie, lub stał na macie izolującej od podłoża (lub jedno i drugie). Generator nie powinien być uruchamiany bez podłączenia do przetwornika. Brak przetwornika może spowodować napięciowe przebicie do innych elementów układu i uszkodzić je.

### **Ciśnienie / nacisk.**

Ruch przetwornika ultradźwiękowego i jego docisk do obrabianych detali jest wymuszany przez siłownik pneumatyczny. Stosowane siłowniki mogą wywierać siłę nacisku kilkudziesięciu kG (50 do 100 kG). Uwzględniając, że powierzchnia robocza narzędzia może być mała, to ciśnienie (nacisk jednostkowy) może przewyższać ponad 100 kbar. Taki nacisk może już zgnieść palce operatora.

Urządzenia są na ogół wyposażone w dwa przyciski do uruchamiania cyklu pracy, które należy nacisnąć jednocześnie (jeden od drugiego nie później niż 0,1s). Takie uruchamianie urządzenia ma zmusić operatora do wyjęcia obu rąk z obszaru roboczego urządzenia. Gdyby urządzenie było uruchamiane inaczej np. przyciskiem nożnym, należy zastosować inne środki bezpieczeństwa zmuszające operatora do wyjęcia rąk z obszaru roboczego urządzenia i/lub zainstalować czujnik uniemożliwiający wyzwolenie cyklu pracy dopóki operator nie wyjmie rąk z przestrzeni roboczej.

Pracownik nie może przytrzymywać rękami łączonych części. Konstrukcja urządzenia musi zapewniać takie podparcie łączonych części by nie było to konieczne.

W urządzeniach pracujących automatycznie powinien być czujnik zapobiegający stykowi narzędzia ze stałymi elementami urządzenia gdyby np. w kasecie podającej nie było detali do łączenia. Drgające narzędzie jest prawie tak niebezpieczne jak otwarty płomień. Dociśnięcie go do elementów ciała ludzkiego może spowodować natychmiastowe objętościowe silne poparzenia tkanki. Nigdy nie można dotykać działającego przetwornika wprawiającego w drgania narzędzie. Jeśli przy serwisie niezbędne jest dotknięcie pracującego narzędzia, należy to uczynić szybko, z małym naciskiem (delikatnie musnąć palcem). Dłuższe przytrzymanie palca lub jego dociśnięcie może spowodować oparzenia. Jeśli palce operatora (lub serwisanta) zostałyby ściśnięte pomiędzy narzędziem, a kowadłem może dojść do ich amputacji.

**Ochrona środowiska pracy.**

Pomimo, że częstotliwości ultradźwiękowe są poza obszarem czułości ludzkiego ucha, to niektórzy operatorzy, a szczególnie młode kobiety mogą być wrażliwi na promieniowanie ultradźwiękowe, co może objawiać się bólami głowy. Jeżeli dodatkowe środki ochrony osobistej nie zlikwidują tych objawów, to należy zmienić operatora lub skrócić czas pracy przy urządzeniu.

O ile to możliwe należy wymieniać operatorów urządzenia np. co cztery godziny, powierzając im na kolejne godziny pracy inne obowiązki.

Zdarza się, że w czasie pracy w drgania są wprowadzane łączone części lub inne elementy urządzenia. Mogą wtedy drgać w zakresie częstotliwości słyszalnych przez człowieka. Prawidłowo zaprojektowany proces technologiczny i dobrze dobrane do niego urządzenia powodują, że hałas ten powinien być niewielki i łatwy do unieszkodliwienia osobistymi środkami ochrony (słuchawki). O ile to możliwe, to należałoby wydzielić pomieszczenie do ustawienia urządzeń ultradźwiękowych i zadbać o jego wygłuszenie. Wyjątkowo zdarza się, że łączone elementy mogą w trakcie procesu wydzielać jakieś gazy. W takim przypadku należy zastosować wyciąg miejscowy odprowadzający je do wyciągu wentylacyjnego.

**Przeglądy techniczne urządzenia.**

Bezpieczeństwo personelu ma kapitalne znaczenie. Jego utrzymaniu sprzyja należyty stan techniczny urządzenia. Rutynowe przeglądy urządzenia zajmą łącznie w tygodniu około 1 godziny. Powinny być przeprowadzone przez przeszkolonego pracownika postępującego zgodnie z zaleceniami producenta. W przypadku poważniejszych awarii należy zwrócić się o pomoc do serwisu producenta.

Żeby zapewnić długą i bezawaryjną pracę urządzeń powinny być one ustawione w warunkach normalnych dla człowieka (16 do 20 C), o normalnej wilgotności i niezapyłonych. Należy chronić urządzenia przed nadmiernym przegrzaniem.

*Mam nadzieję, że podane informacje będą dla Państwa przydatne i ułatwią podjęcie decyzji o stosowaniu technologii ultradźwiękowych w prowadzonej lub planowanej przez Was produkcji. W przypadku wątpliwości lub pytań służę konsultacjami.*

**Z poważaniem**  
**Andrzej Waseńczuk**  
**SonicArts**  
**ul. Dorodna 16,**  
**03-195 Warszawa**  
**tel/fax 022 811 02 52**

W materiale wykorzystano rysunki i zdjęcia z prac własnych SonicArts oraz z materiałów reklamowych firmy:  
I.Sirius Electric s.r.l.