

DWUOSIOWA ORIENTACJA MOLEKULARNA I ZGRZEWANIE LASEROWE RUR PVC

STRESZCZENIE

Rury z tworzyw sztucznych o ściance strukturalnej pozwalają osiągnąć najlepsze możliwe własności mechaniczne (sztywność i udurowienie) przy utrzymaniu najmniejszego ciężaru na metr.

Wiadomo, że dwuosiowa orientacja PVC zawsze znacząco przyczynia się do poprawy tych własności mechanicznych. Istnieje możliwość znaczącego ulepszenia rur PVC z podwójną ścianką dzięki zastosowaniu co najmniej jednej warstwy z orientacją molekularną. Wymaga to jednak zastąpienia tradycyjnego zgrzewania termicznego obu warstw przez technologię pozwalającą na uniknięcie zniszczenia struktury zorientowanej.

Przeprowadzono szereg prób i badań, które wykazały możliwość wysokojakościowego zgrzewania dwóch warstw PVC z zastosowaniem technologii laserowej bez zauważalnego zniszczenia struktury zorientowanej.

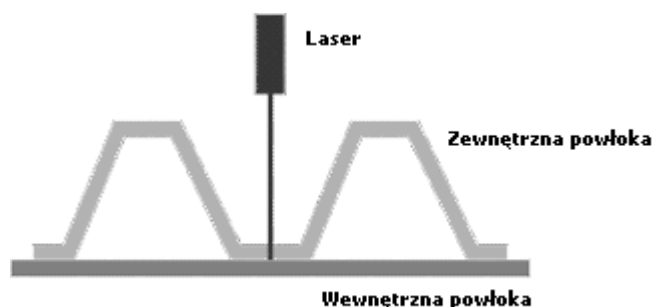
W tym artykule prześledzono postać i własności optyczne wymagane dla obu warstw, niezbędne w celu zapewnienia prawidłowej efektywności lasera i wysokiej jakości zgrzewania. Również w przypadku struktury niezorientowanej zgrzewanie laserowe pozwala uniknąć wielu niekorzystnych zjawisk występujących w tradycyjnym zgrzewaniu termicznym.

W celu porównania zmian w strukturze z dwuosiową orientacją dla obu rodzajów zgrzewania, osobno dla zgrzewania termicznego i zgrzewania laserowego, wykonano próby udurowienia i próby rozciągania. Mogliśmy wykazać, że zgrzewanie laserowe nie wpływa znacząco na strukturę zorientowaną dwuosiowo.

Podstawa i próby wstępne

Tradycyjne zgrzewanie termiczne dwóch warstw rury dwuściennej odbywa się przeważnie w temperaturze ok. 200°C. Technologia ta posiada pewne wady (przeżelowanie PVC, przegrzanie, niepożądana utrata orientacji molekularnej, itp.). Aby uzyskać odpowiednie własności należy zgrzać razem obie warstwy rury dwuściennej, jednak istnieje możliwość stosowania innych technik zgrzewania. Zastosowanie laserów w przemyśle jest coraz powszechniejsze. Stosuje się je do cięcia, trasowania lub zgrzewania z dużą dokładnością i przy niskim zużyciu energii.

Nasze badania przeprowadzono w celu ustalania warunków do zgrzewania arkuszy PVC falistych z arkuszami PVC płaskimi jako symulację zewnętrznie skorugowanej warstwy rury strukturalnej do wewnątrz gładkiej rury.



1. Próby i badania wstępne

Do oceny wykonalności laserowego zgrzewania PVC wykonano najpierw próby zgrzewania:

- na arkuszach płaskich
- wykorzystano laser z wiązką o przekroju kołowym o następujących parametrach: laser diodowy o długości fali $\lambda = 808 \text{ nm}$ i mocy $= 30 \text{ W}$ z przejściem przez włókno szklane optyczne,
- w celu dokładnej kontroli prędkości próbki umieszczono na stole z 3-wymiarowym pozycjonowaniem (Datron),
- przy przezroczystej górnej warstwie; dolna warstwa czarna – 0,2 phr (części wagowych) sadzy

Próby orientacji wykazały następujące wyniki:

- Osiągnięto zachęcające wyniki przy zgrzewaniu punktowym i liniowym.
- nadal możliwa jest niewielka ilość wypełniacza w warstwie zewnętrznej (2 phr CaCO_3),
- należy dopasować prędkość posuwu płamki lasera:

Prędkość posuwu płamki lasera (m/min.)	Arkusz gruby (1,5 mm)	Arkusz z dwuosiową orientacją (0,2 mm)
0,6	✓	Za mocne (przypalenia)
0,8	✓	✓
1,2	✓	✓
1,4	Za słabe	Za słabe

Ponieważ wiązka lasera posiada przekrój kołowy to przy jej przemieszczaniu się ilość energii kumulowanej w środku szwu jest największa i w związku z tym w środku szwu może pojawić się przypalenie.

Próby przeprowadzone w Loughborough

Kilka prób przeprowadzono również na Uniwersytecie Loughborough wykorzystując laser YAG (długość fali $\lambda = 1064 \text{ nm}$) na arkuszach zorientowanych dwuosiowo, jednak moc lasera była zbyt wysoka i nie dało się uniknąć przypalenia w punktach zgrzewu. Należy jednak wspomnieć, że nie doszło do kurczenia się arkusza, a dwuosiowo zorientowana struktura została zachowana.

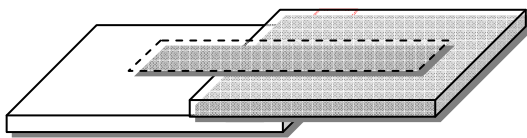
2. Przechodzenie światła lasera w zależności od postaci materiału

Druga tura badań została wykonana na arkuszach pochodzących z produkcji seryjnej. Jako warstwę dolną stosowano zawsze arkusz szary nieprzezroczysty. Jako warstwę górną stosowano różne rodzaje arkuszy, również arkusz z dwuosiową orientacją.

Przepuszczalność światła lasera (LT) była silnie uzależniona od struktury materiału:

- Przezroczysty (arkusz bez orientacji) LT > 95%
- Opalizujący (arkusz bez orientacji) LT < 20%
- Arkusz z orientacją dwuosiową (lekko mleczny) LT ~ 60%

Zgrzewanie wykonano z częściowym zachodzeniem arkuszy.



Optymalne prędkości zgrzewania (PZ) dla różnych płyt górnych wynosiły:

- Arkusz przezroczysty PZ: 0,5 m/min.
- Arkusz opalizujący PZ: 0,09 m/min.
(niska prędkość spowodowana dużą przepuszczalnością wiązki światła lasera)
- Arkusz z orientacją PZ: 0,3 m/min.

W miejscu zgrzewania wycięto próbki do wykonania prób statycznego rozciągania wykonanych zgodnie z ISO 527-01. Szerokość próbki: 10 mm



Wyniki:

	Siła zrywająca (N)	Naprężenie ścinające (N/mm ²)
Przezroczysty PVC 2 mm (niezorientowany)	384	38
Opalizujący PVC 3 mm (niezorientowany)	442	44
Arkusz BIOR (z dwuosiową orientacją) 2 mm	763	76

- Dla arkuszy przezroczystych (warstwa górna): przerwanie pojawia się **poza** szwem zgrzewu.
- Dla arkuszy z dwuosiową orientacją (warstwa górna): przerwanie pojawia się **poza** szwem zgrzewu z rozwarstwieniem arkusza z dwuosiową orientacją.
- Dla arkusza opalizującego: przerwanie pojawia się w szwie zgrzewu

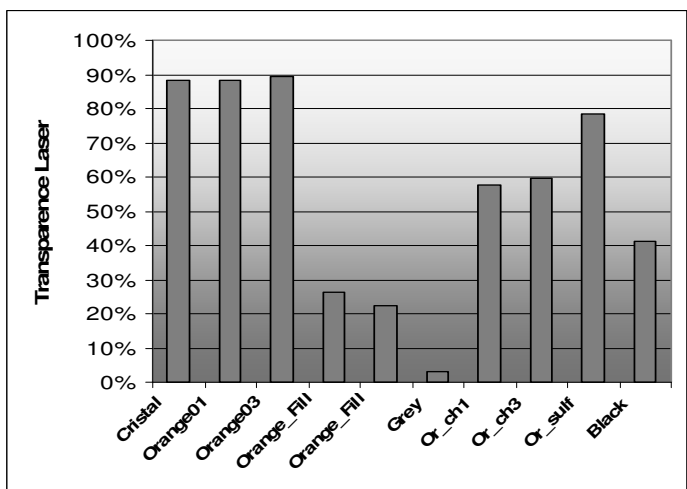
Obserwacja przechodzenia i absorpcji światła lasera

- Arkusze szare używane jako dolne warstwy pochłaniają mniej światła lasera niż arkusz czarny z próby pierwszej.
Wada: wymaga nieco więcej energii
Zaleta: ze względu na większe rozproszenie ciepła istnieje mniejsze ryzyko powstania przypalenia.
- Brak widocznego kurczenia się zgrzanych powierzchni a stopień redukcji orientacji dwuosiowej jest bardzo niewielki.
- Ze względu na jednorodne podgrzewanie szwu lepsza byłaby plamka lasera o przekroju kwadratowym.

Wpływ barwników i pigmentów na przepuszczalność światła lasera

Próbki barwione wykonano przez walcowanie i wyłaczanie zgodnie z następującymi formułami:

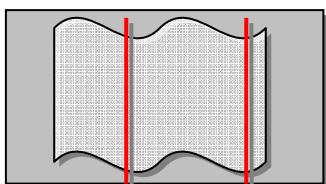
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K67	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stabilizator cynowy	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Smary i środki pomocnicze	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Pigment pomarańczowy	0	0,1	0,3	0,1	0,2	0	0,1	0,1	0,1	0
Pigment TiO₂	0	0	0	0,1	0,2	0,1	0	0	0	0
Sadza						0,01				0,01
CaCO ₃	0						1	3		
Siarczan Ca									1	
Natężenie po przejściu	Cristal	Orang01	Orang03	Orang_Ti1	Orang_Ti2	Grey	Or_ch1	Or_ch3	Or sulph.	Black
Próbka 1	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,68	1,68	1,68	1,68
Natężenie warstwa 1	1,35	1,35	1,37	0,4	0,34	0,05	0,97	1	1,32	0,69
Natężenie warstwa 2	1,2	1,21	1,23	0,22	0,18	0	0,53	0,57	1,03	0,26
Przejście 1.	88%	88%	90%	26%	22%	3%	58%	60%	79%	41%



Widzimy, że barwnik (pomarańczowy) nie powoduje redukcji przepuszczalności światła lasera rzez arkusz. Natomiast biały pigment TiO_2 drastycznie zmniejsza przepuszczalność nawet przy tak małej dawce jak 0,1 phr. Sadza daje również silny efekt nieprzezroczystości. Wypełniacz $CaCO_3$ ma działanie pośrednie i dodawany w dawce do 3 phr może utrzymywać przepuszczalność światła lasera bliską 60% (przy czym dobrze zachowuje się tu wypełniacz siarczanowy charakteryzujący się drobniejszą granulacją).

3. Próby zgrzewania wykonane na arkuszach falistych

- W celu uzyskania możliwie najlepszej symulacji struktury rury dwuosiowej arkusz falisty umieszczono na arkuszu płaskim po czym zgrzano je ze sobą



- Zgrzewanie wykonano metodą laserową (ten sam sprzęt co opisany w rozdz. 1, odległość między soczewką emitującą a próbką wynosiła > 25 mm) oraz dla celów porównawczych metodą termiczną wykorzystując zgrzewarkę doczołową).
- Próbki:

Typ budowy	Arkusz płaski (dolny)	Arkusz falisty (górnny)
S1 (dwu_Norm)	<i>Orientacja dwuosiowa</i>	Normalny
S2 (dwu_dwu)	<i>Orientacja dwuosiowa</i>	<i>Orientacja dwuosiowa</i>
S3 (Norm_Norm)	Normalny	Normalny
S4 (Nomr_dwu)	Normalny	<i>Orientacja dwuosiowa</i>

- Zgrzewarka doczołowa została zmodyfikowana w ten sposób, aby umożliwiać nagrzewanie jedynie linii zgrzewania, a nie całej płaskiej powierzchni.

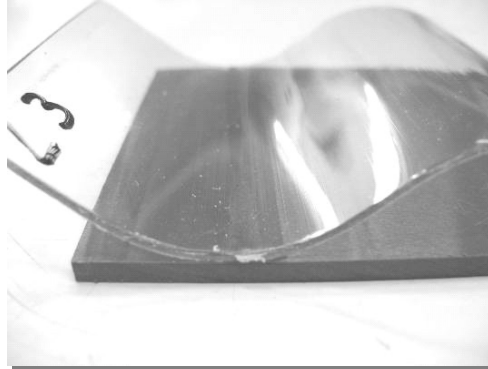
Warunki zgrzewania termicznego były następujące:

Temperatura płyty : 250°C
Czas nagrzewania : 20 sek.
Czas docisku : 1 min. (nacisk 15 kg)
Czas stygnięcia : 5 min.

Wygląd zgrzewu wykonanego metodą termiczną:



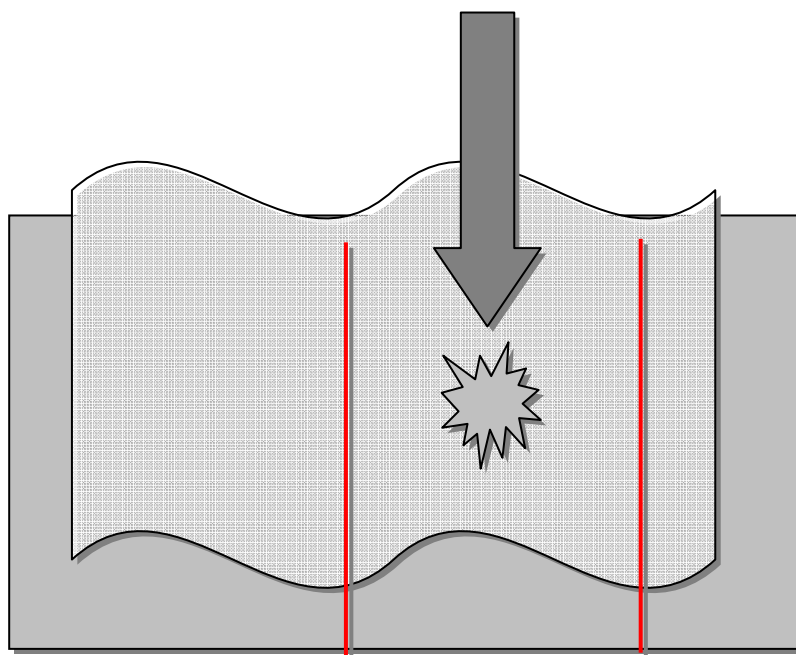
Wygląd zgrzewu wykonanego metodą laserową:



Arkusz dolny z dwuosiową orientacją posiada małą przezroczystość: kiedy próbowaliśmy zgrzewać arkusz falisty z dolnym arkuszem z dwuosiową orientacją (S1, S2) zobaczyliśmy, że przejście światła lasera przez warstwę dolną było zbyt duże. Zgrzanie takiej konstrukcji okazało się niemożliwe. W przypadku konstrukcji z szarą nieprzezroczystą warstwą dolną zgrzewanie odznaczało się wysoką jakością.

Próba udarności:

- Zgrzane próbki zostały poddane testowi udarności metodą spadającego ciężarka
- Ciężarek spadał na szczyt fali arkusza falistego.



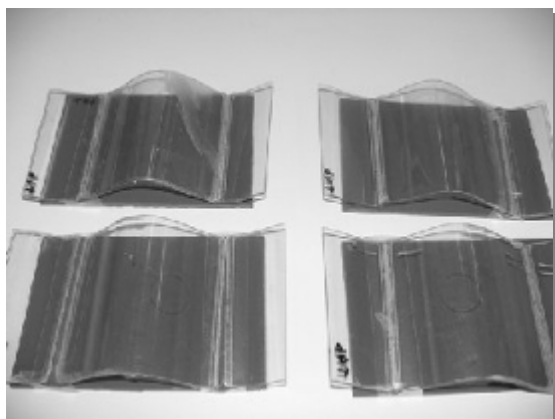
Wyniki udarności:

- Udarność była raczej powtarzalna (zob. odchylenia standardowe).

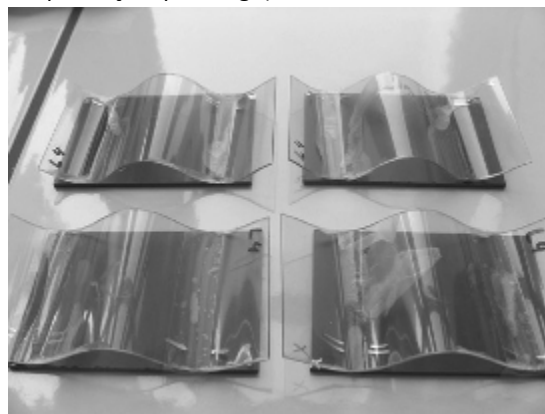
		Siła zrywania N	Przemieszczenie mm	Energia zrywania J
Termiczne S3	średnia	393,8	9,3	4,6
	odch. stand.	59,3	1,0	0,6
Laserowe S3	średnia	430,9	8,4	4,3
	odch. stand.	64,4	0,4	0,2
Termiczne S4	średnia	317,5	4,3	2,0
	odch. stand.	76,5	1,2	0,9
Laserowe S4	średnia	778,2	9,8	8,0
	odch. stand.	136,4	1,5	2,2

- W przypadku próbek zgrzanych termicznie pod wpływem uderzenia ciężarka zgrzew został zniszczony. Oba arkusze są rozdzielone, ale nie zostały złamane: zgrzewanie jest słabym punktem.
- Dla próbek zgrzanych laserowo: szew zgrzewu nie został zniszczony, ale górny arkusz (arkusz cieńszy) jest złamany: zgrzewanie nie jest słabym punktem.

Pęknięte zgrzewanie termiczne S4 (rozłączone)

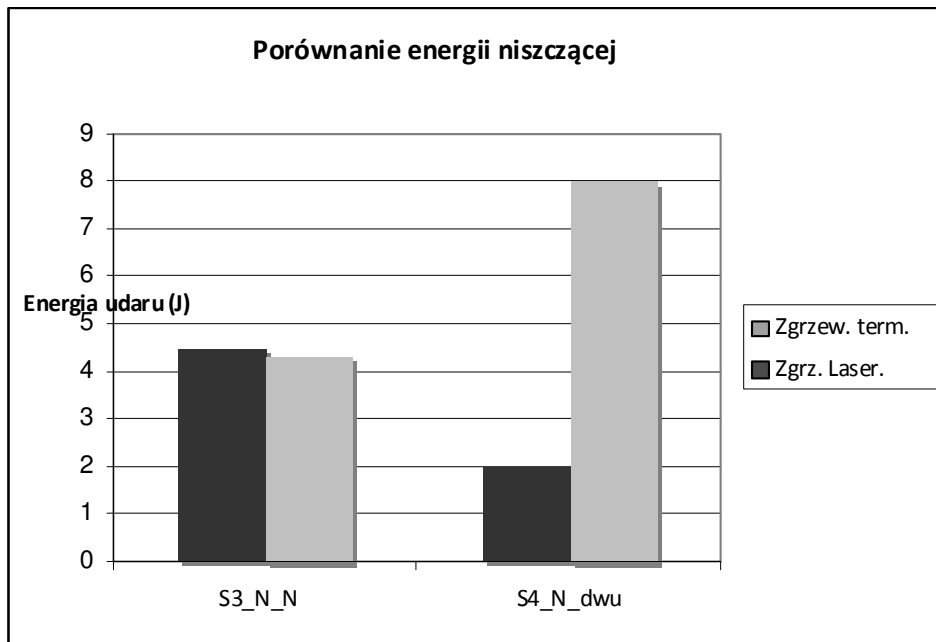


Pęknięte zgrzewanie laserowe S4 (arkusz falisty odspoił się od płaskiego)



- Dla danej konstrukcji wytrzymałość zgrzewu laserowego była taka sama lub lepsza niż w przypadku zgrzewania termicznego.
- Przy zgrzewaniu laserowym energia zużyta na zniszczenie próbki z płaskim arkuszem z dwuosiową orientacją jest dwukrotnie większa od energii zużytej na zniszczenie konstrukcji wykonanych z arkuszy bez orientacji molekularnej.

- Przy zgrzewaniu termicznym jest odwrotnie - energia zużyta na zniszczenie jest mniejsza dla arkusza z orientacją dwuosiową (najprawdopodobniej z powodu utraty orientacji).



4. Wnioski

- Jakość zgrzewania laserowego jest silnie związana z własnościami absorpcyjnymi dwóch warstw. Przezroczystość > 50% dla górnej warstwy oraz wysoka nieprzezroczystość warstwy dolnej dają dobre wyniki zgrzewania.
- Gdy te warunki są spełnione, jakość zgrzewania laserowego może być równa lub lepsza od zgrzewania termicznego.
- Arkusz z orientacją dwuosiową może poprawić udarność ścianki strukturalnej, jeśli zgrzewanie nie zmieni struktury molekularnej i naprężeń wewnętrznych.