

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **237254**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **427611**

(51) Int.Cl.

C22F 1/04 (2006.01)

C22C 21/00 (2006.01)

C21D 1/00 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **31.10.2018**

(54) **Sposób zwiększenia tężalności blach aluminiowych
ze stopów aluminium serii 6000 i 7000**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
04.05.2020 BUP 10/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
22.03.2021 WUP 06/21

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL
KIRCHHOFF POLSKA
SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Mielec, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

ZBIGNIEW GRONOSTAJSKI, Wrocław, PL
PAWEŁ KACZYŃSKI, Wrocław, PL
SŁAWOMIR POLAK, Syców, PL
KAROL JAŚKIEWICZ, Wrocław, PL
JAKUB KRAWCZYK, Bielawa, PL
MATEUSZ SKWARSKI, Koźuchów, PL
WŁADYSŁAW CHORZĘPA, Mielec, PL
KRZYSZTOF ŚLIZ, Chorzelów, PL

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Piotr Otręba

PL 237254 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób zwiększenia tłoczności wysokowytrzymałych blach walcowanych wykonanych ze stopu aluminium serii 6000 oraz 7000. W szczególności sposób obejmuje proces przesylenia blachy ze stanu dostawy do stanu T0, jej kształtowanie w temperaturze otoczenia w zimnych narzędziach i poddanie ukształtowanego wyrobu procesowi starzenia w celu ulepszenia jego właściwości mechanicznych.

Znaczna część przedmiotów codziennego użytku wytwarzana jest z blach walcowanych o grubości 0,5–4,0 mm w procesach obróbki bezubytkowej. Do tej grupy można zaliczyć: zewnętrzne poszycia środków lokomocji, w szczególności pojazdów samochodowych, profile hutnicze, obudowy sprzętów AGD i RTV oraz inne elementy, których wymiar gabarytowy jest znacznie większy od grubości materiału. Jedną z najczęściej wykorzystywanych technik produkcyjnych jest w tej grupie tłoczenie. Proces ten pozwala na uzyskanie skomplikowanych kształtów wyrobu poprzez ściśnięcie blachy za pomocą stempla i matrycy. Tak produkowane detale cechują się niewielką wagą, a co za tym idzie niską ceną końcową.

Stopy aluminium serii 7000 są wysokowytrzymałymi, obrabianymi cieplnie stopami, umacnianymi wydzieleniowo przez kombinację cynku i magnezu (Zn 4–6%, Mg 1–3%) oraz ewentualnie miedzi. Jest to duża grupa stopów obrabianych cieplnie, spośród których na szczególną uwagę zasługuje stop 7075 i jego pochodne, odznaczające się najwyższą wytrzymałością ($R_e \cong 600$ MPa), wysoką przewodnością cieplną, małą rozszerzalnością cieplną, dobrym ekranowaniem elektromagnetycznym i bardzo dobrymi możliwościami tłumienia drgań. Dwie ostatnie cechy będą w przyszłości nabierały coraz to większego znaczenia. Ponadto, istotna jest możliwość recyklingu, która dla metali jest łatwiejsza niż dla konkurencyjnych materiałów, jakimi są tworzywa sztuczne. Stopy aluminium serii 7000 są powszechnie stosowane w przemyśle lotniczym pod postacią płyt (grubość ponad 5 mm) oraz blach. Istotną przeszkodą w szerszym zastosowaniu takich blach jest mocno ograniczona możliwość kształtowania na zimno lub gorąco w stanie dostawy T6. Po wytopie kęsisk i redukcji ich grubości przez walcowanie odkształcony materiał, zarówno w postaci taśmy jak i wykrojki, zaczyna się samoistnie umacniać. Można temu przeciwdziałać stosując dodatkową obróbkę cieplną zmniejszającą twardość materiału przed wysyłką z huty do klienta, jednakże proces starzenia będzie i tak postępował, nawet w temperaturze pokojowej. Zjawisko to jest szczególnie silne w stopach aluminium serii 7000. W rezultacie tłoczenie skomplikowanych kształtów z materiału w stanie dostawy nie jest możliwe. Mogą pojawić się pęknięcia, zafałdowania i inne wady.

Z opisu patentowego US8663405 B2 znana jest metoda zwiększania odkształcalności stopów aluminium z grupy 6000 oraz 7000. Przed przystąpieniem do tłoczenia wyrobu, materiał musi zostać poddany dodatkowej obróbce w celu uzyskania stanu przestarzonego T7 lub T8. W tym celu materiał nagrzewa się, co powoduje rozpuszczenie dodatków stopowych w stałej fazie α aluminium i gwałtownie schładza, co powoduje chwilowe zamrożenie tej metastabilnej struktury. Następnie materiał poddaje się przestarzaniu, to jest wygrzewa się go w podwyższonej temperaturze tak długo, aż osiągnie on maksimum wytrzymałości. Dalsze wygrzewanie powoduje spadek wytrzymałości. Gdy wytrzymałość spadnie poniżej 90% maksymalnej wytrzymałości materiału uznaje się, że jest on prawidłowo przestarzony. Tak przygotowany materiał poddaje się tłoczeniu w dwóch operacjach. Operacja pierwsza polega na wstępnym wytłoczeniu na zimno wyrobu z uprzednio przestarzonej blachy. Wykrojka powinna po pierwszej operacji uzyskać kształt maksymalnie zbliżony do gotowego przedmiotu, bez pęknięć materiału rodzimego, fałdowania i innych widocznych wad. Pomiedzy operacjami wytłoczka jest wygrzewana odpowiednio długo, tak aby dodatki stopowe zostały ponownie rozpuszczone w fazie α i gwałtownie chłodzona, co powoduje przesylenie stałej fazy α . W tym stanie materiał cechuje się zwiększonymi właściwościami plastycznymi. Druga operacja polega na tłoczeniu wykończeniowym przesyconej wytłoczki. Następnie gotowy wyrób starzy się w podwyższonej temperaturze (20–250°C) przez odpowiednio długi czas pozwalający na zwiększenie wytrzymałości gotowego wyrobu.

Ujawniona metoda ma szereg wad. Jedną z nich jest konieczność przestarzenia blachy przed wstępnym tłoczeniem. Wymagane jest także przesylenie materiału między operacjami tłoczenia. Produkcja elementów według ujawnionej metody wymaga minimum dwóch operacji tłoczenia: wstępnej i wykończeniowej. Opisane wady powodują znaczny wzrost ceny wyrobu końcowego, co spowodowane jest zastosowaniem aż trzech obróbek cieplnych (wstępne przestarzenie, międzyoperacyjne przesylenie i pooperacyjne starzenie) oraz zwiększeniem ilości operacji tłoczenia.

Z opisu patentowego EP2324137B1 znana jest metoda formowania wyłoczek o złożonym kształcie ze stopów aluminium z grupy 2000, 6000 oraz 7000. Metoda polega na podniesieniu temperatury wykrojki do temperatury przesycaenia ($T_{SHT} = 450\text{--}600^{\circ}\text{C}$, najlepiej $500\text{--}550^{\circ}\text{C}$) na stanowisku grzania (zalecana minimalna prędkość grzania 2°C/s) i dalszym wygrzewaniu wykrojki przez 20–60 min, do momentu rozpuszczenia dodatków stopowych w fazie α . Następnie, w przeciągu 10 s (zaleca się 5s) od wyjęcia materiału ze stanowiska grzania wyłoczek przenoszona jest na zestaw zimnych narzędzi i tam formowana w czasie nie dłuższym niż 0,15 s. Po uzyskaniu finalnego kształtu, wyłoczek jest nadal utrzymywana w zamkniętych narzędziach, co powoduje jej schłodzenie do temperatury niższej niż 250°C . Metoda przewiduje stosowanie dodatkowej obróbki w celu starzenia gotowego wyrobu. Ma to na celu zwiększenie własności mechanicznych gotowego wyrobu poprzez umocnienie wydzieleniowe. Wadą ujawnionej technologii jest niska wytrzymałość przedmiotu produkowanego poprzez jednoczesne tłoczenie i przesycaenie w zimnych narzędziach. Badania prowadzone na Politechnice Wrocławskiej pokazują, że wytrzymałość materiału przesyconego jest do 50% niższa w porównaniu ze stanem dostawy (najczęściej stan T6 - obrobione cieplnie w kąpeli i starzone sztucznie lub T651 - obrobione cieplnie w kąpeli, odprężone przez wyprężanie o kontrolowaną wartość i starzone sztucznie). Tłoczenie wyłoczek z jednoczesnym przesycaeniem bez przeprowadzenia dodatkowej operacji starzenia powoduje więc, że wykorzystanie wysokowytrzymałych stopów aluminium z grupy 7000 staje się nieuzasadnione. Podczas tłoczenia dno wyłoczki jest zwykle dociskane o wiele większą siłą aniżeli jej ścianki boczne. Nierównomierny docisk materiału znacząco wpływa na współczynnik przenikania ciepła, co skutkuje różną prędkością chłodzenia gorącego materiału i nierównomiernym rozkładem właściwości mechanicznych na powierzchni wyłoczki. Ujawniona powyżej technologia przewiduje zastosowanie dodatkowej operacji sztucznego starzenia po wyłoczeniu wyrobu końcowego, co zwiększy wytrzymałość gotowego wyrobu, jednakże zastosowanie takiej operacji jest utrudnione. Ponieważ rozkład właściwości mechanicznych na powierzchni wyłoczki jest nierównomierny, sztuczne starzenie stopów z grupy 6000 i 7000 prowadzone w temperaturach powyżej 100°C przez kilka godzin powoduje, iż materiał w niektórych miejscach będzie przestarzony, w innych zaś nie zostanie odpowiednio wystarzony. Zabieg taki spowoduje w rezultacie o wiele większą zmianę geometrii gotowego wyrobu aniżeli starzenie wyrobu wyłoczonego blachy uprzednio przesyconej w kontrolowanych warunkach.

Z dokumentu patentowego WO2014068493A1 znana jest metoda kształtowania aluminium polegająca na wygrzewaniu wykrojki w pierwszym piecu w celu rozpuszczenia dodatków stopowych w fazie α , tłoczeniu nagrzanego materiału w chłodnych narzędziach i sztucznym starzeniu gotowej wyłoczki w kolejnym piecu, który może wykorzystywać ciepło utracone przez pierwszy piec. Podobnie jak w poprzedniej metodzie, wadą jest tutaj nierównomierny rozkład własności mechanicznych na powierzchni blachy po procesie tłoczenia oraz brak możliwości uzyskania jednakowego stopnia wystarzenia materiału w jego różnych obszarach.

Celem według wynalazku jest rozwiązanie poprawiające tłoczność blachy aluminiowej serii 6000 i 7000.

Sposób zwiększenia tłoczności blach aluminiowych ze stopów aluminium serii 6000 i 7000, w którym wykrojkę z blachy aluminiowej serii 6000 albo 7000 wygrzewa się w piecu w temperaturze w zakresie od 400 do 600°C i w czasie co najmniej 10 minut, kolejno na zimnych narzędziach z wygrzanej wykrojki w czasie nie dłuższym niż 5s wyłocza się wyłoczkę, którą następnie poddaje się procesowi starzenia poprzez wygrzanie jej w piecu w temperaturze w zakresie od 120°C – 160°C i w czasie od 2 do 8h, po czym po procesie starzenia wyłoczkę chłodzi się do temperatury otoczenia **według wynalazku charakteryzuje się tym, iż** po procesie wygrzewania się wykrojki w piecu w temperaturze w zakresie od 400 do 600°C i w czasie co najmniej 10 minut, a przed wyłoczeniem z wykrojki wyłoczki na zimnych narzędziach wykrojkę poddaje się procesowi przesycaenia, w którym wykrojkę chłodzi się z prędkością co najmniej 20°C/s .

Korzystnie podczas chłodzenia zachowuje się jednorodny rozkład prędkości chłodzenia na całej powierzchni wykrojki.

Korzystnie międzyoperacyjny czas transportu gotowej wyłoczki z narzędzi do stanowiska starzenia jest na tyle krótki, iż zapobiega on niekontrolowanemu starzeniu materiału.

Korzystnie międzyoperacyjny czas transportu wynosi do 4h w temperaturze otoczenia, albo kilka dni przy obniżeniu temperatury wyłoczki do ujemnej temperatury.

Przeprowadzenie procesu przesycaenia przed procesem tłoczenia jak w rozwiązaniu według wynalazku pozwala na uzyskanie większej wytrzymałości materiału aniżeli we wcześniejszym rozwiązaniu

EP2324137B1, w którym przeprowadza się operację jednoczesnego tłoczenia i przesycania w zimnych narzędziach.

Sposób według wynalazku objaśniony został przy użyciu rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat prowadzonego procesu, fig. 2 przedstawia porównanie właściwości materiału w stanie dostawy oraz po przesycaniu, a fig. 3 przedstawia wpływ czasu sztucznego starzenia i temperatury sztucznego starzenia na twardość materiału po przesycaniu.

Sposób zwiększenia tłoczności blachy aluminiowej w przykładzie realizacji pierwszym według wynalazku polega na tym, że wykonane z blachy aluminiowej ze stopu 7075, z materiału w stanie dostawy, wykrojki w ilości 1 do 20 sztuk podgrzewa się z prędkością 20°C/s poprzez ich umieszczenie w komorze pieca rozgrzanego do 480°C . Korzystnie wykrojki nagrzewa się w zakresie temperatur $400\text{--}600^{\circ}\text{C}$, to jest poniżej temperatury likwidus fazy α , oraz powyżej temperatury likwidus dodatków stopowych tworzących fazę β . Temperatura materiału jest kontrolowana za pomocą termopary. Po osiągnięciu przez wykrojki temperatury pieca, są one wygrzewane przez 45 minut, co pozwala na pełne rozpuszczenie się dodatków stopowych fazy β w fazie α . W celu rozpuszczenia dodatków stopowych fazy β w fazie α czas wygrzewania materiału powinien być dłuższy niż 10 minut. Następnie pierwsza wykrojka jest wyciągana z pieca i niezwłocznie przenoszona za pomocą szczypiec do wanny z zimną wodą, w której chłodzi się ją z prędkością równą bądź większą niż 50°C/s , co powoduje przesycenie stałej fazy α . Wykrojki wodą chłodzi się tak, aby zapewniony był jednorodny rozkład prędkości chłodzenia na całej powierzchni blachy. Jednorodny rozkład prędkości chłodzenia na całej powierzchni wykrojki pozwala na uzyskanie jednorodnego rozkładu wytrzymałości blachy przesycanej, co poprawia jednorodność właściwości mechanicznych gotowego wyrobu po procesie tłoczenia. W kolejnej operacji pierwsza wykrojka jest ręcznie przenoszona na zimny tłocznik i kształtowana w czasie 0,35 s. Czas tłoczenia przesycanej wykrojki nie powinien być dłuższy niż 5 s. Po wytłoczeniu przedmiotu jest on odkładany na stanowisko transportowe. Po tym zabiegu operacje powtarzane są na kolejnych wytłoczkach, aż do momentu opróżnienia pieca. Po wytłoczeniu wszystkich wykrojek, co zajmuje około 20 minut, powstałe z wykrojek, wytłoczki przenosi się ze stanowiska transportowego do kolejnego pieca nagrzanego do temperatury 120°C . Po osiągnięciu przez wytłoczki temperatury pieca są one wygrzewane przez okres 8h, a następnie chłodzone na powietrzu w temperaturze otoczenia na przykład w 20°C . Powyższy proces zwiększa właściwości wytrzymałościowe wytłoczek. Aby zapobiec niekontrolowanemu starzeniu się materiału międzyoperacyjny czas transportu gotowej wytłoczki z narzędzi do stanowiska starzenia nie powinien być dłuższy niż 4 h albo kilka dni przy obniżeniu temperatury wytłoczki do ujemnej temperatury.

Sposób zwiększenia tłoczności blachy aluminiowej w przykładzie realizacji drugim według wynalazku polega na tym, że wykonane z blachy aluminiowej ze stopu 6063, z materiału w stanie dostawy, wykrojki umieszcza się w piecu tunelowym o zmiennej, rosnącej temperaturze. W pierwszej strefie pieca wykrojka jest nagrzewana do temperatury 500°C . Kolejne strefy pieca zapewniają utrzymanie stałej temperatury materiału. Wykrojki transportowane są w piecu tunelowym z prędkością 5 cm/s . Całkowita długość pieca wynosi 90m, co pozwala na uzyskanie czasu wygrzewania równego 30 min (10 min nagrzewanie, 20 min wygrzewanie). Wykrojki nagrzewa się w zakresie temperatur $400\text{--}600^{\circ}\text{C}$, to jest poniżej temperatury likwidus fazy α , oraz powyżej temperatury likwidus dodatków stopowych tworzących fazę β . W celu rozpuszczenia dodatków stopowych fazy β w fazie α czas wygrzewania materiału nie powinien być dłuższy niż 10 minut. Po wyjściu z pieca zautomatyzowany system wizyjny za pomocą manipulatora przemysłowego przenosi wykrojki do wanny z zimną wodą, w której chłodzi się je z prędkością równą bądź większą niż 20°C/s , co powoduje przesycenie stałej fazy α . Wykrojki, wodą chłodzi się tak, aby zapewniony był jednorodny rozkład prędkości chłodzenia na całej powierzchni blachy. Kolejny manipulator przemysłowy poszczególne wykrojki w czasie 2s przekłada na zimne narzędzia. Wytłoczkę z wykrojki tłoczy się w czasie 0,15s. Korzystnie czas tłoczenia przesycanej wykrojki nie powinien być dłuższy niż 5s. Po wytłoczeniu przedmiotu jest on odkładany na stanowisko transportowe. Po wyprodukowaniu 100 szt. wyrobów są one transportowane do dużego pieca, służącego do starzenia wytłoczek, nagrzanego do temperatury 160°C . Po osiągnięciu przez wytłoczki temperatury pieca są one wygrzewane przez kolejne 3 h, a następnie wyjmowane z pieca i chłodzone na powietrzu w temperaturze na przykład 20°C , co powoduje wzrost twardości materiału do 190 HV. Międzyoperacyjny czas transportu gotowej wytłoczki z narzędzi do stanowiska starzenia powinien być na tyle krótki, aby zapobiegać niekontrolowanemu starzeniu materiału. Międzyoperacyjny czas transportu powinien wynosić do 4h w temperaturze otoczenia albo kilka dni przy obniżeniu temperatury wytłoczki do ujemnej temperatury.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zwiększenia tłoczności blach aluminiowych ze stopów aluminium serii 6000 i 7000, w którym wykrojkę z blachy aluminiowej serii 6000 albo 7000 wygrzewa się w piecu w temperaturze w zakresie od 400 do 600°C i w czasie co najmniej 10 minut, kolejno na zimnych narzędziach z wygrzanej wykrojki w czasie nie dłuższym i niż 5s wytłacza się wytłoczkę, którą następnie poddaje się procesowi starzenia poprzez wygrzanie jej w piecu w temperaturze w zakresie od 120°C – 160°C i w czasie od 2 do 8h, po czym po procesie starzenia wytłoczkę chłodzi się do temperatury otoczenia **znamienny tym**, że po procesie wygrzewania się wykrojki w piecu w temperaturze w zakresie od 400 do 600°C i w czasie co najmniej 10 minut, a przed wytłoczeniem z wykrojki wytłoczki na zimnych narzędziach wykrojkę poddaje się procesowi przesycań, w którym wykrojkę chłodzi się z prędkością co najmniej 20°C/s.
2. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że podczas chłodzenia zachowuje się jednorodny rozkład prędkości chłodzenia na całej powierzchni wykrojki.
3. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że międzyoperacyjny czas transportu gotowej wytłoczki z zimnych narzędzi do stanowiska starzenia jest na tyle krótki, iż zapobiega on niekontrolowanemu starzeniu materiału.
4. Sposób według zastrz. 1 albo 2 **znamienny tym**, że międzyoperacyjny czas transportu gotowej wytłoczki z zimnych narzędzi do stanowiska starzenia wynosi do 4h w temperaturze otoczenia.
5. Sposób według zastrz. 1albo 2 **znamienny tym**, że międzyoperacyjny czas transportu gotowej wytłoczki z zimnych narzędzi do stanowiska starzenia wynosi kilka dni przy obniżeniu temperatury wytłoczki do ujemnej temperatury.

Rysunki

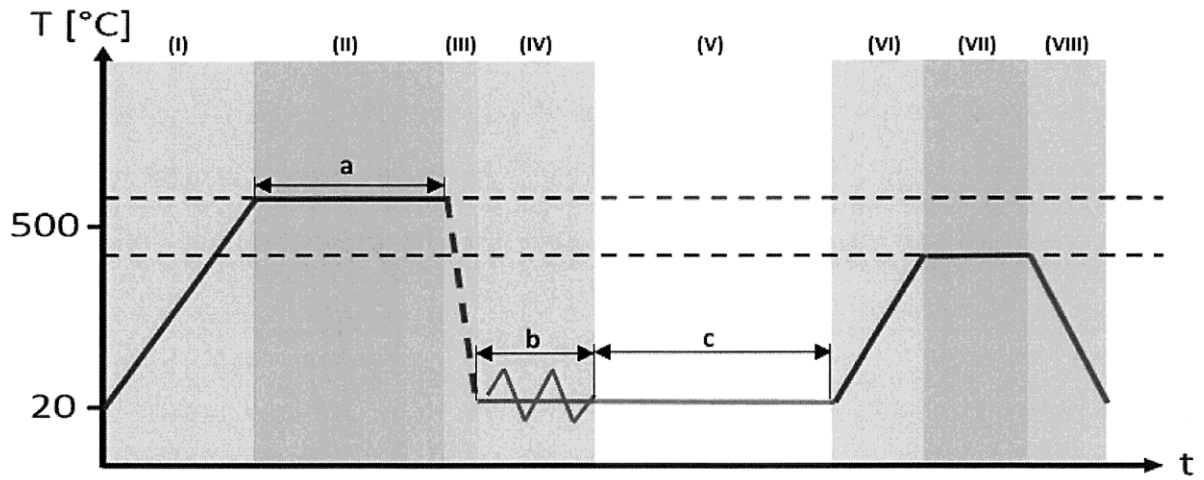


Fig. 1

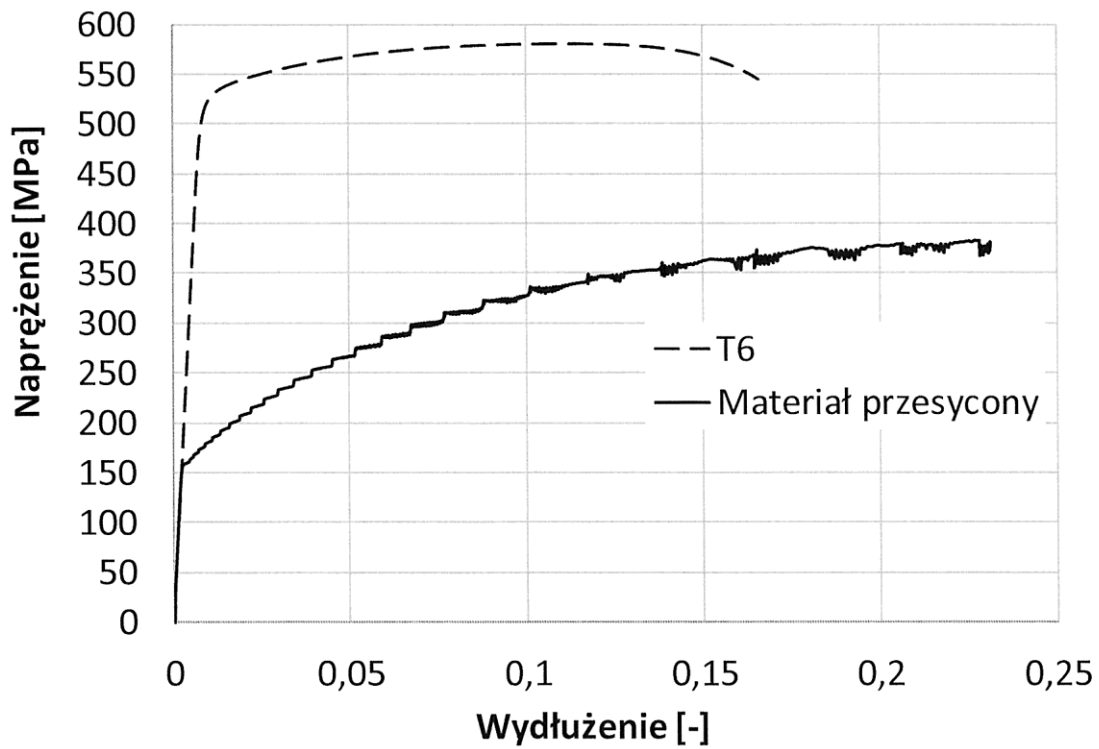


Fig. 2

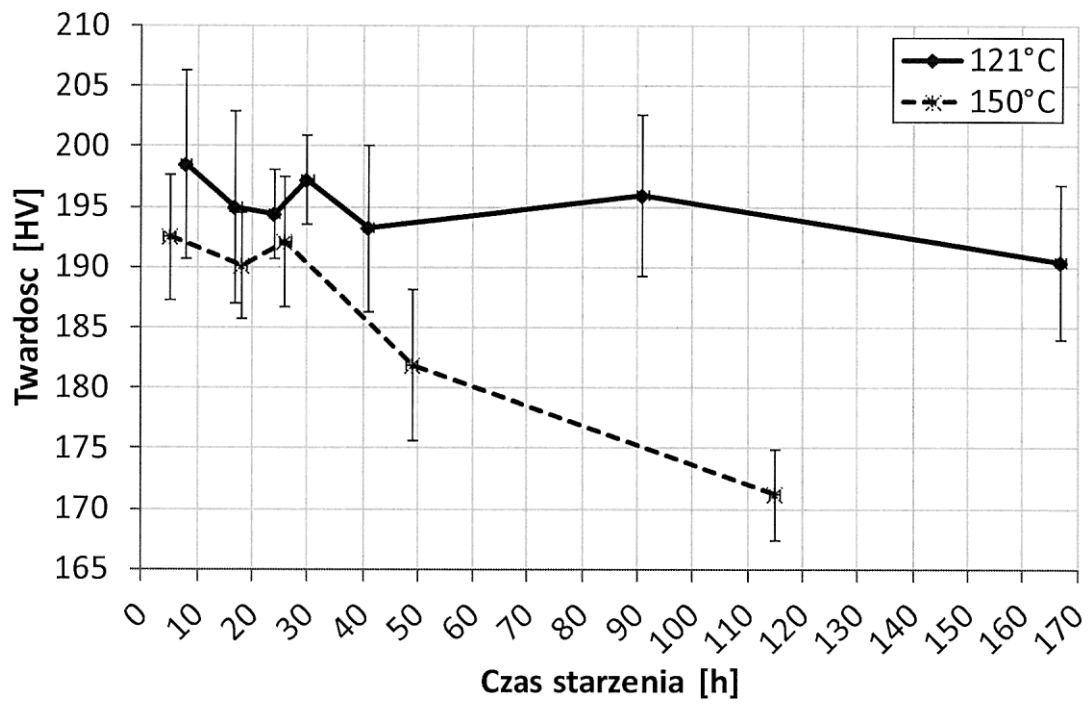


Fig. 3