

Struktura i własności termiczne odlewniczego stopu AlSi7Mg stosowanego na korpusy pomp hamulcowych

S. Małek^a, M. Król^b

^a Studentka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: mariusz.krol@polsl.pl

Streszczenie: Celem pracy było przeprowadzenie badań strukturalnych odlewniczego stopu aluminium AlSi7Mg oraz określenie wpływu procesu anodowania na ten materiał. Zakres pracy obejmował kilka etapów. Pierwszym z nich było przeprowadzenie procesu anodowania odlewniczego stopu aluminium AlSi7Mg. Kolejnym krokiem było przeprowadzenie analizy termicznej ATD, która dostarcza informacji o krystalizacji materiału. Następnie przygotowano zgląd metalograficzny, którego wytrawiono w celu lepszego przygotowania powierzchni do badania z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego i skaningowego mikroskopu elektronowego. Ostatnim z badań była analiza fazowa przeprowadzona na dyfraktometrze rentgenowski, która potwierdziła skład chemiczny materiału.

Abstract: The purpose of the work was to conduct structural tests of the aluminum alloy foundry AlSi7Mg and to determine the effect of the anodizing process on this material. The first of them was the process of anodising the aluminum alloy AlSi7Mg. The next step was to conduct thermal analysis of ATD, which provides information on the crystallization of the material. Next, metallography was prepared, which was etched in order to better prepare the surface for examination using light microscopy and scanning electron microscopy. The last of the tests was a phase analysis carried out on an X-ray diffractometer, which confirmed the chemical composition of the material.

Słowa kluczowe: stopy aluminium, anodowanie, analiza ATD, struktura, własności

1. WSTĘP

Aluminium jest pierwiastkiem o czystości technicznej, który zawiera różnego rodzaju zanieczyszczenia, które powstają w wyniku otrzymywania tego materiału. Jednym z przykładów takich procesów rafinacja elektrolityczna, w której wyniku można uzyskać aluminium o wysokiej czystości, ponieważ zawiera aż 99,950-99,955% Al. Najpierw w kopalniach uzyskuje się rudy boksytu, które następnie są rozdrabniane do konsystencji piasku

w młynie i miesza się boksyt z wapnem palonym i zasadą sodową. Kolejnym etapem jest umieszczenie powstałego wyrobu w zbiornikach i podgrzanie ich do 240°C, w wyniku czego otrzymuje się glinian sodu. Następnie należy odseparować zanieczyszczenia od glinianu oraz przeprowadzić proces kalcynacji, w wyniku którego otrzymuje się tlenek glinu. Otrzymany tlenek poddaje się procesowi elektrolizy, dzięki czemu dochodzi do rozpuszczenia tlenku glinu w stopionym krolicie, a następnie zanurza się grafitową anodę do wanny i przeprowadza proces elektrolizy. W trakcie tego procesu powstaje metal, który opada na dno wanny.

Glin (aluminium) występuje najczęściej w postaci rud boksytu na terenie między innymi Australii, Gwinei, Francji, USA, Brazylii, a także w Polsce. Niewielkie ilości tego pierwiastka występują na Dolnym Śląsku. Korzystne cechy aluminium dostrzegli ludzie już żyjący w czasach cesarstwa rzymskiego i chińskiego. W 1825 roku wyprodukowano aluminium w postaci użytkowej, a w 1886 roku przeprowadzono proces elektrolitycznego wytwarzania aluminium.

Dzięki niższej temperaturze topnienia aluminium (wynoszącej 933,39°K) w porównaniu do żelaza oraz niskiej gęstości (wynoszącej 2,69·10³ kg/m³) można znacznie zredukować aspekty ekonomiczne wytwarzania i przetwarzania tego pierwiastka, jak również koszty zużycia urządzeń wykonanych z tego materiału. Niestety posiada też on kilka wad, które próbuje się wyeliminować poprzez produkcję stopów, obróbkę mechaniczną, cieplną i powierzchniową. Jednym z najczęściej spotykanych procesów jest elektrolityczne utlenianie. Wyróżnia się kilka sposobów przeprowadzania tego procesu w zależności od użytego elektrolitu, prądu czy parametrów procesu [1-15].

Celem pracy było przeprowadzenie badań strukturalnych odlewniczego stopu aluminium AlSi7Mg oraz określenie wpływu procesu anodowania na ten materiał. Zakres pracy obejmował przeprowadzenie procesu anodowania a następnie badań struktury, pomiarów chropowatości, badań składu fazowego, analizy termicznej oraz pomiar twardości.

2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Celem pracy było przeprowadzenie badań strukturalnych odlewniczego stopu aluminium AlSi7Mg oraz określenie wpływu napięcia przyłożonego do roztworu zawierającego kwas siarkowy na grubość i chropowatość powłoki, uzyskiwanej w procesie anodowania. W tym celu zastosowano napięcia 21,5 V oraz 22 V.

Zakres pracy obejmował:

- przeprowadzenie procesu anodowania odlewniczego stopu aluminium AlSi7Mg na przykładzie korpusów pomp hamulcowych dla przemysłu motoryzacyjnego,
- przeprowadzenie badań grubości oraz chropowatości uzyskanych powłok anodowych,
- przeprowadzenie analizy termicznej ATD,
- obserwacja struktury z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego,
- badanie struktury z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego SEM,
- analizę fazową z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej.

Materiał do badań stanowił stop AlSi7Mg, którego skład chemiczny wg normy PN-76/H-88027 przedstawiono w tabelicy 1. Stop AlSi7Mg cechuje się dobrymi własnościami technologicznymi (spawalność, skrawalność, lejność) oraz mechanicznymi, dzięki czemu stosuje się go bardzo często w przemyśle. Bazowymi dodatkami stopu jest krzem i magnez. Dzięki dodatkowi w postaci krzemu dochodzi do poprawy lejności, a co za tym idzie do zmniejszenia porowatości skurczowej. Natomiast własności mechaniczne są zależne od

rozmiaru, kształtu i rozłożenia wydzielen krzemu. Wydzielenia sferyczne, drobne i z małymi odstępami w eutektyce wpływają na podniesienie własności mechanicznych. Dodatek magnezu powoduje umocnienie roztworu stałego poprzez drobne wydzielenia fazy Mg_2Si , które powstają podczas obróbki cieplnej. Zbyt duża ilość magnezu w stopie może jednak mieć negatywny wpływ na własności mechaniczne. Obecność żelaza w stopie $AlSi7Mg$ powoduje wydzielenie faz międzymetalicznych, takich jak $\alpha(Al_{15}Fe_3Si_2)$, $\beta(Al_5FeSi)$, $\pi(Al_8Mg_3FeSi_6)$. Nadmierna ilość wydzielen, w szczególności twardych i kruchych fazy β powodują obniżenie własności mechanicznych, szczególnie plastyczności stopu.

Tablica 1. Skład chemiczny stopu $AlSi7Mg$ wg normy PN-76/H-88027

Table 1. Chemical composition of analysed $AlSi7Mg$ alloy

Pierwiastek	Ilość [%]	
	minimalna	maksymalna
Si	6,0	8,0
Cu	-	0,2
Mg	0,2	0,4
Mn	-	0,6
Fe	-	0,5
Zn	-	0,3
Ti	-	0,2
Ni	-	0,05
Sn	-	0,05
Pb	-	0,05

Proces anodowania jest jednym z najczęściej stosowanych metod kształtowania warstw powierzchniowych stopów aluminium. W wyniku tego procesu powstaje tlenkowa powłoka anodowa, która jest elektrolityczną powłoką powstałą w wyniku elektrochemicznego utleniania metalu przebiegającego w roztworze elektrolitu. Celem procesu anodowego utleniania jest zwiększenie twardości, odporności na działanie słabych kwasów, odporności na korozję oraz odporności na ścieranie. Wytworzona warstewka tlenkowa nie jest odporna na działanie mocnych kwasów oraz zasad. Proces anodowania przeprowadzono przy następujących parametrach:

1. Parametry odtłuszczenia:
 - a. Temperatura: $60 \div 70$ °C
 - b. Czas: 3 minuty
 - c. Skład roztworu: woda demineralizowana, preparat P3-Almeco Clean 19
 - d. Stężenie: $20 \div 30$ g/l
 - e. pH: $8 \div 10$
2. Parametry płukania po odtłuszczeniu alkalicznym:
 - a. pH $7,8 \div 9,4$
3. Parametry trawienia z ultradźwiękami:
 - a. Temperatura: $40 \div 60$ °C
 - b. Czas: 3 minuty 10 sekund
 - c. Skład roztworu: woda demineralizowana, preparat SurTec 471
 - d. Stężenie: $35 \div 70$ g/l
 - e. Moc: 5W/l

- f. Częstotliwość: 25 kHz
4. Parametry płukania po trawieniu z ultradźwiękami:
 - a. Przewodność wody: 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$
5. Parametry anodowania:
 - a. Temperatura: 10÷13 °C
 - b. Czas: 13 minut 10 sekund
 - c. Stężenie kwasu siarkowego: 170÷230 g/l
 - d. Napięcie: 21,5 V oraz 22 V
 - e. Natężenie: 2000 A
6. Parametry płukania trzystopniowego po anodowaniu:
 - a. Przewodność wody: 75 $\mu\text{S}/\text{cm}$
7. Parametry płukania z ultradźwiękami:
 - a. Przewodność wody: max. 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 - b. Częstotliwość drgań: 21 kHz
 - c. Moc szczytowa: 4,7 W/l
8. Parametry uszczelniania:
 - a. Czas: 10÷15 minut
 - b. Temperatura: 95÷99 °C
 - c. Skład: woda demineralizowana, preparat P-3 Almeco Seal
9. Parametry suszenia:
 - a. Czas: 9÷15 minut
 - b. Temperatura: 70÷120 °C

Pomiar grubości i chropowatości powłok anodowanych

Po przeprowadzeniu procesu anodowania dokonano pomiaru grubości metodą prądów wirowych oraz chropowatości powłoki metodą stykową.

Analiza termiczna ATD

Analiza termiczna ATD jest jedną z najczęściej wykorzystywanych metod kontrolujących produkcję stopów. Metoda ta poleca na ciągłej rejestracji temperatury krzepnącego metalu lub stopu. Badanie przeprowadza się poprzez przelanie badanego materiału do próbnika, w którym znajduje się element do pomiaru temperatury, który jest podłączony do aparatury rejestrującej. Do badań wykorzystano termopary typu K. Analiza termiczna ATD została przeprowadzona za pomocą symulatora procesów metalurgicznych UMSA według programu:

- przygotowanie do badania;
- nagrzewanie do temperatury 700 °C;
- wygrzanie w temperaturze 700 °C w czasie 180 sekund;
- szybkie chłodzenie;
- zakończenie procesu w temperaturze 200 °C.

Analiza wielkości ziarna z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego

W celu zbadania struktury stopu wykonano badania z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego w polu jasnym i w świetle spolaryzowanym. Zdjęcia zostały wykonane z wykorzystaniem 25-, 50-, 100- i 200-krotnych powiększeń. Przed wykonaniem badania próbka została zainkludowana w żywicy termoutwardzalnej, a następnie zeszlifowana przy użyciu

papierów ściernych o gradacji 800 i 1200. Kolejnym etapem było polerowanie z wykorzystaniem past diamentowych na automatycznej polerce. Ostatnim etapem było trawienie przeprowadzone pod napięciem wynoszącym 20V w czasie 90 sekund w 200 ml roztworu $\text{HBF}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (objętość HBF_4 – 5 ml, objętość H_2O – 195 ml).

Badanie składu chemicznego z wykorzystaniem mikroskopu SEM

W celu analizy składu chemicznego przeprowadzono badanie z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego SEM. Do uzyskania obrazu wykorzystano technikę elektronów wtórnych. Napięcie przyspieszające równało się 20 kV. Obrazy wykonane tą metodą cechują się dużą rozdzielczością i dokładnością obrazu. Ponadto przeprowadzono analizę ilościową EDS w celu identyfikacji składu chemicznego wydzieli.

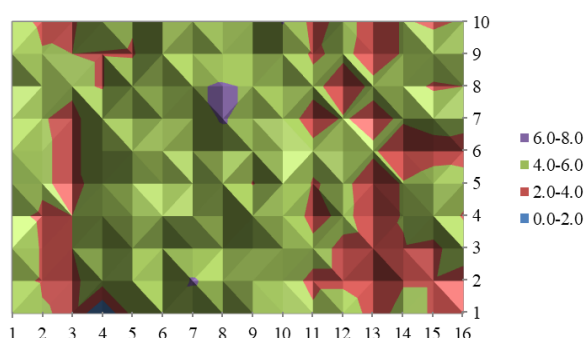
Analiza fazowa z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej

W celu analizy składu fazowego wykonano badanie rentgenowskiej analizy jakościowej przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego. Urządzenie to służy do rejestrowania dyfrakcyjnych obrazów rentgenowskich mono-, polikryształów oraz substancji pseudokrystalicznych. W badaniu dyfraktometr rejestrował kierunki (kąty odbłyску) i natężenia ugiętych wiązek promieniowania rentgenowskiego.

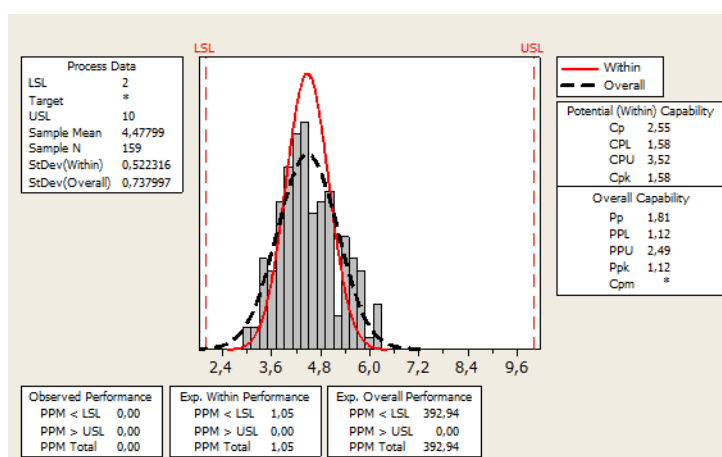
3. WYNIKI BADAŃ

W pierwszym etapie mającym na celu określenie struktury i własności odlewniczego stopu AlSi7Mg przeprowadzono proces anodowania a w kolejnym etapie wykonano pomiary grubości i chropowatości powłok. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono rozkład grubości warstwy anodowej (w μm) oraz histogram grubości warstwy (w μm) przy parametrze napięcia wynoszącym 21,5V.

*Rozkład grubości warstwy anodowej
(w μm) przy $U=21,5V$*



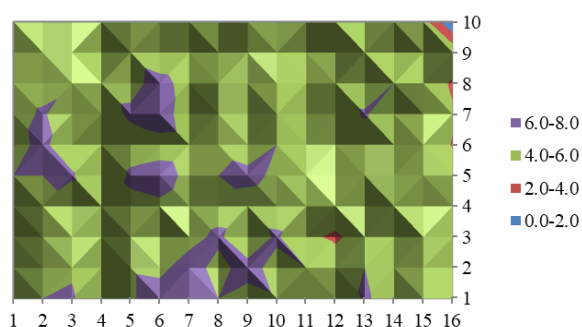
Rysunek 1. Rozkład grubości warstwy anodowej (w μm) przy $U=21,5V$
Figure 1. Anode layer thickness distribution (in μm) at $U = 21.5V$



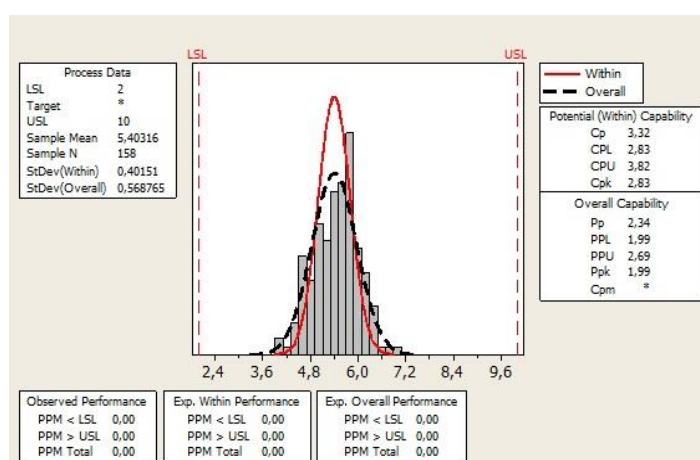
Rysunek 2. Rozkład grubości warstwy anodowej (w μm) przy $U=21,5V$
 Figure 2. Anode layer thickness distribution (in μm) at $U = 21.5V$

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono rozkład grubości warstwy anodowej (w μm) oraz histogram grubości warstwy (w μm) przy parametrze napięcia wynoszącym 22V.

Rozkład grubości warstwy anodowej (w μm) przy $U=22V$



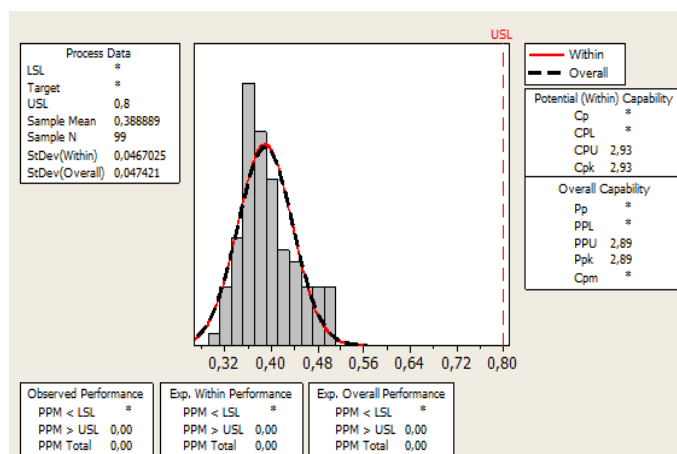
Rysunek 3. Rozkład grubości warstwy anodowej (w μm) przy $U=22V$
 Figure 3. Anode layer thickness distribution (in μm) at $U = 22V$



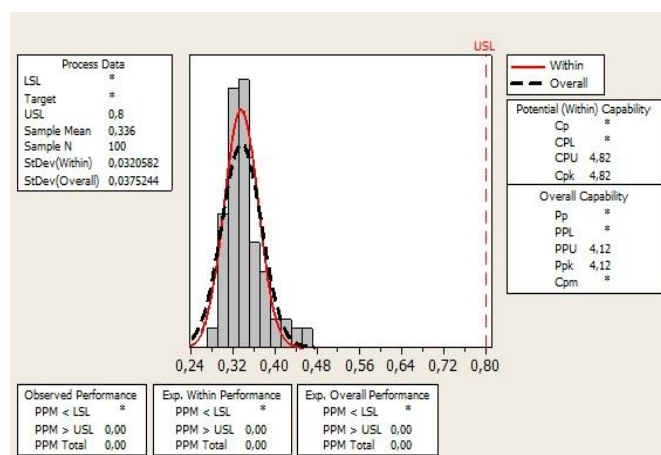
Rysunek 4. Histogram grubości powłoki anodowej (w μm) przy $U=22V$
 Figure 4. Histogram of thickness of the anode coating (in μm) at $U = 22V$

Na podstawie powyższych rysunków można zauważyć wzrost grubości powłoki anodowej przy zwiększeniu wartości napięcia przyłożonego do roztworu zawierającego stężony kwas siarkowy, w którym to zachodził najważniejszy etap procesu anodowania korpus \u00f3w . Do przeprowadzenia procesu wykorzystano napięcia o wartościach 21,5 V oraz 22 V. Średnia grubość powłoki przy pierwszej z nich wynosiła 4,48 μm , natomiast drugiej 5,40 μm . Ponadto, w przypadku wanny podłączonej do napięcia 22V stwierdzono, że wartości grubości są do siebie bardziej zbliżone, co świadczy o tym, że powłoki są jednolite.

Na rysunkach 5 oraz 6 przedstawiono histogramy chropowatości powierzchni przy parametrach napięcia odpowiednio: 22V oraz 21,5V.



Rysunek 5. Histogram chropowatości powierzchni (w μm) przy $U=22\text{V}$
 Figure 5. Surface roughness histogram (in μm) at $U = 22\text{V}$

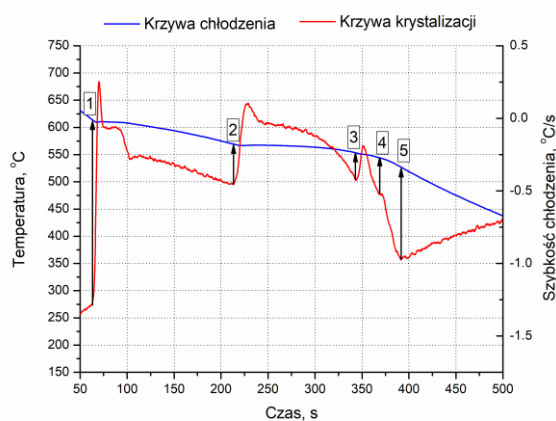
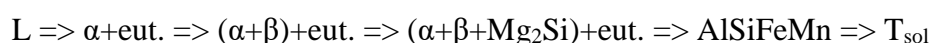


Rysunek 6. Histogram chropowatości powierzchni (w μm) przy $U=21,5\text{V}$
 Figure 6. Surface roughness histogram (in μm) at $U = 21.5\text{V}$

Na przedstawionych wyżej rysunkach wykazano rozkład występowania poszczególnych wartości chropowatości. Zaobserwowano, iż zmiana napięcia przyłożonego do roztworu ze stężonym kwasem siarkowym z 21,5 V do 22 V powoduje wzrost grubości powłoki z 4,48 μm do 5,40 μm i tym samym chropowatości odpowiednio 0,34 μm do 0,39 μm .

Na rysunku 7 przedstawiono krzywą chłodzenia i krystalizacji stopu AlSi7Mg. Analiza przebiegu krystalizacji pozwala stwierdzić, że proces zarodkowania dendryt \u00f3w fazy $\alpha\text{-Al}$

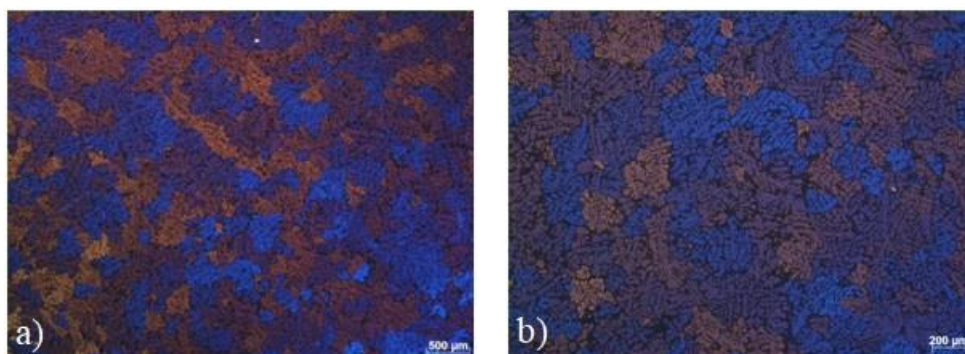
zapoczątkowany jest w temperaturze 611,75 °C (Punkt 1). Efekt ten objawia się przegięciem w punkcie 1 na krzywej krystalizacji oraz chwilowym spadkiem szybkości chłodzenia. Po etapie zarodkowania dendrytów fazy α -Al następuje zarodkowanie wydzielen eutektycznych fazy β , natomiast reakcję można przedstawić następująco $(\alpha+\beta)+eut$, co zaznaczono na krzywej jako punkt 2 (570,93 °C). W wyniku dalszego ochładzania stopu po osiągnięciu temperatury 553,68°C (Punkt 3) następuje krystalizacja fazy Mg_2Si , natomiast reakcję można zapisać następująco $(\alpha+\beta+Mg_2Si)+eut$. W punkcie 4 (temp. 542,10°C) następuje krystalizacja eutekty wielofazowych składających się z Mg i Fe - AlSiFeMn. Ostatni punkt na krzywej, czyli temperatura 524,15 °C oznacza zakończenie procesu krystalizacji stopu AlSi7Mg (temperatura solidus). Proces krystalizacji stopu AlSi7Mg schematycznie można przedstawić w następujący sposób:

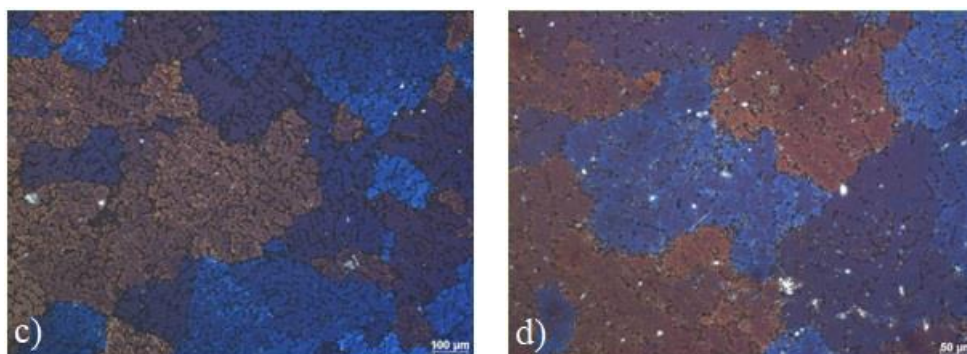


Rysunek 7. Wykres zmiany temperatury oraz szybkości chłodzenia stopu AlSi7Mg w określonym czasie

Figure 7. Graph of temperature change and cooling rate of AlSi7Mg alloy

Na rysunku 8 przedstawiono mikrostrukturę stopu AlSi7Mg, w stanie dostawy. Zdjęcia wykonano na mikroskopie świetlnym – obserwacja w świetle spolaryzowanym.

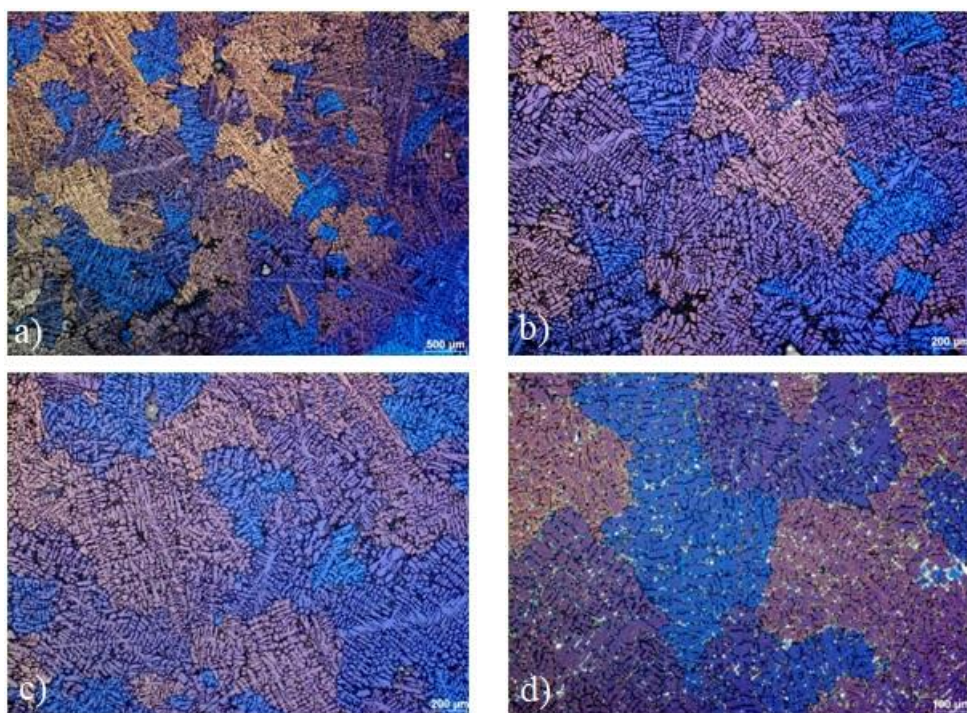




Rysunek 8. Zdjęcia stopu AlSi7Mg w stanie dostawy wykonane z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego w świetle spolaryzowanym w powiększeniu a) 25x, b) 50x, c) 100x, d) 200x.

Figure 8. Pictures of the AlSi7Mg alloy in the delivery condition, made using a light microscope in polarized light, magnified a) 25x, b) 50x, c) 100x, d) 200x.

Na rysunku 9 przedstawiono zdjęcia wykonane po przeprowadzeniu analizy termicznej z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego.



Rysunek 9. Zdjęcia stopu AlSi7Mg w stanie dostawy wykonane z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego w świetle spolaryzowanym w powiększeniu a) 25x, b) 50x, c) 50x, d) 100x

Figure 9. Pictures of the AlSi7Mg alloy in the delivery condition, made using a light microscope in polarized light, magnified a) 25x, b) 50x, c) 50x, d) 100x

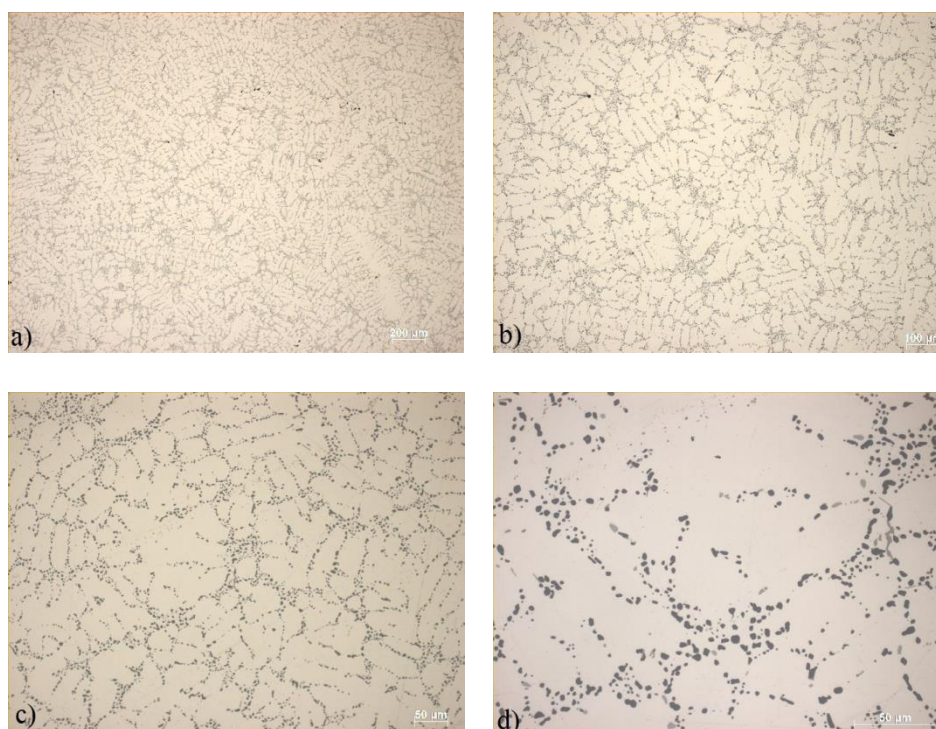
Na podstawie powyższych zdjęć dokonano pomiaru wielkości ziaren. Pomiarzy wykonano metodą przecięć liniowych. Porównanie średniej rozmiarów ziaren przed i po analizie termicznej przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Średnia wielkość ziaren, odchylenie standardowe oraz błąd pomiaru próbek przed i po analizie termicznej ATD

Table 2. Average grain size, standard deviation and error of sample measurement before and after thermal ATD analysis

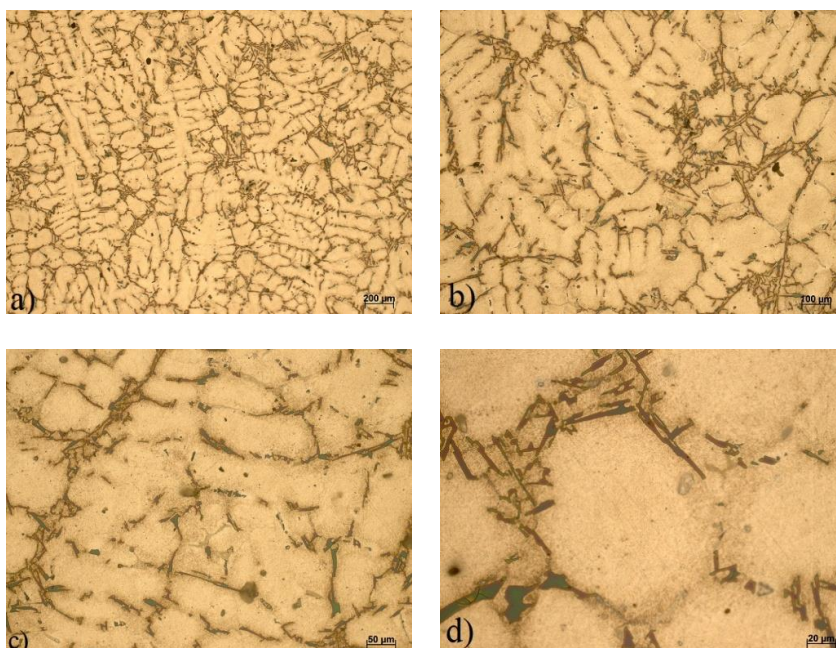
Próbka	W stanie dostawy	Po analizie termicznej ATD
Średnia wielkość ziarna (μm)	325,589	550,894
Odchylenie standardowe (μm)	121,74	55,19
Błąd pomiaru (%)	37,39	10,02

W stanie dostawy wydzielenia krzemu mają relatywnie duży rozmiar i przyjmują kształt igłowy, natomiast po analizie ATD wydzielenia Si ulegają rozdrobnieniu oraz następuje segregacja pierwiastków w przestrzeniach międzydendrytycznych, co przedstawiają rysunki 10, 11 oraz 12.



Rysunek 10. Mikrostruktura stopu AlSi7Mg obserwowana w polu jasnym w stanie dostawy w powiększeniu a) 50x, b) 100x, c) 200x, d) 500x

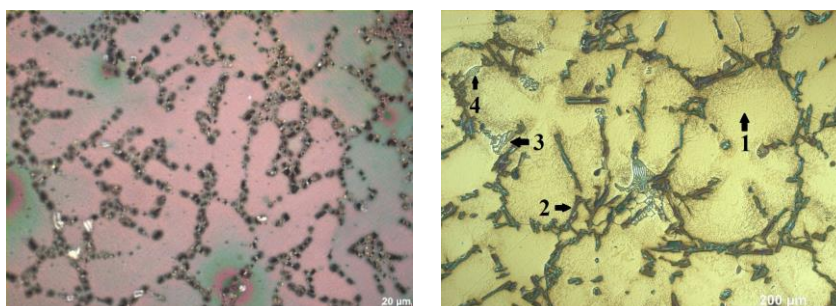
Figure 10. The microstructure of the AlSi7Mg alloy observed in the bright field when delivered enlarged a) 50x, b) 100x, c) 200x, d) 500x



Rysunek 11. Mikrostruktura stopu AlSi7Mg, obserwacja w polu jasnym po analizie termicznej w powiększeniu a) 50x, b) 100x, c) 200x, d) 500x

Figure 11. AlSi7Mg alloy microstructure, bright field observation after thermal analysis under magnification a) 50x, b) 100x, c) 200x, d) 500x

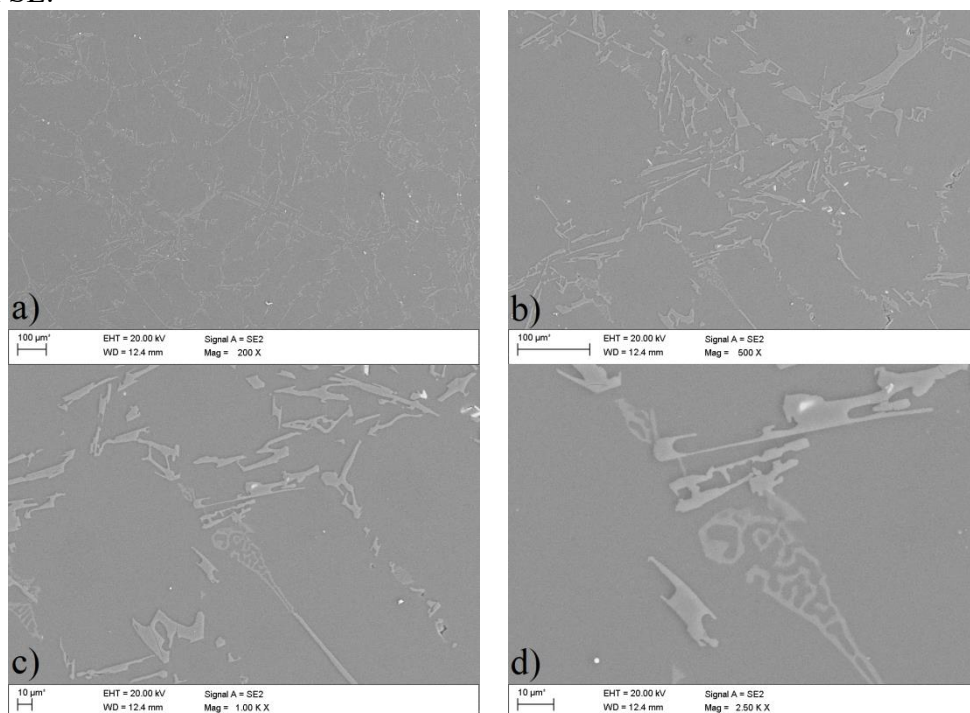
Z przedstawionego zdjęcia mikrostruktury można wywnioskować, iż mikrostruktura jest relatywnie złożona. Poza wydzieleniami Si (punkt 2) oraz Mg_2Si (punkt 3) w strukturze obserwuje się wiele wydzieleni faz bogatych w żelazo (punkt 4), które zlokalizowane są głównie w obszarach międzidendrytycznych. Ponadto można nadmienić, że osnowę stopu stanowi faza $\alpha-Al$. (punkt 1). Przedstawiony obraz struktury jednoznacznie wskazuje na to w jaki sposób przebiega proces krystalizacji. Można zaobserwować, iż podczas ochładzania dodatki stopowe są "wypychane" do obszarów międzidendrytycznych, co jest związane z mniejszą ich rozpuszczalnością w stanie stałym w porównaniu z cieczą. W obszarach tych domieszki te tworzą wydzielenia zgodnie z zaproponowaną sekwencją krystalizacji.



Rysunek 12. Mikrostruktura stopu AlSi7Mg a) w powiększeniu 500x w stanie po trawieniu, b) w powiększeniu 200x po analizie termicznej z zaznaczonymi punktami

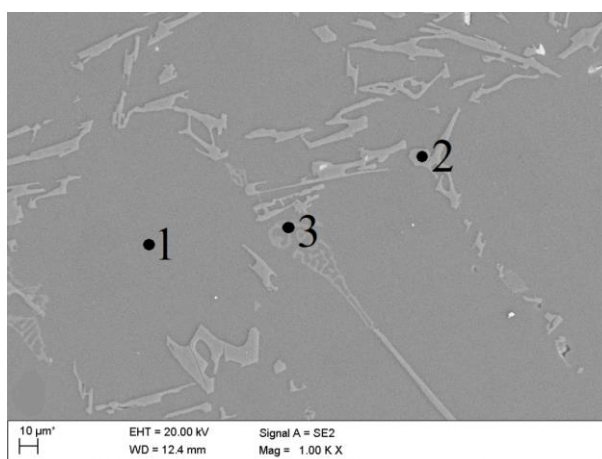
Figure 12. AlSi7Mg alloy microstructure a) at 500x magnification after digestion, b) at 200x magnification after thermal analysis with marked points

Na poniższych zdjęciach (rys. 13) przedstawiono zdjęcia struktury stopu AlSi7Mg wykonane na skaningowym mikroskopie elektronowym z wykorzystaniem elektronów wtórnych SE.



Rysunek 13. Strukturastopu AlSi7Mg w powiększeniu a) 200x, b) 500x, c) 1000x, d) 2500x
Figure 13. AlSi7Mg alloy microstructure enlarged a) 200x, b) 500x, c) 1000x, d) 2500x

Na zdjęciu poniżej (rys. 14) przedstawiono mikrostrukturę stopu z zaznaczonymi punktami pomiarowym składu chemicznego opisanymi w tablicy 3.



Rysunek 14. Mikroanaliza struktury stopu AlSi7Mg w powiększeniu 1000x z zaznaczonymi wybranymi punktami pomiarowymi
Figure 14. Microanalysis of the AlSi7Mg alloy structure at 1000x magnification with selected measurement points marked

W wyniku wykonanych badań mikroanalizy ilościowej przy pomocy spektrometru EDS potwierdzono obecność głównych pierwiastków stopowych Al, Mg, Si, Fe wchodzących w

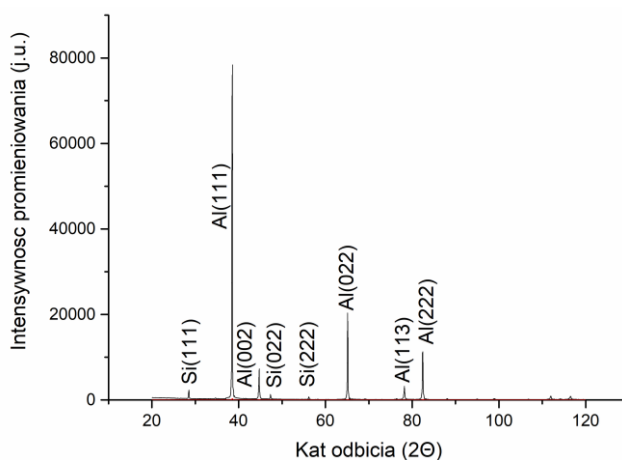
skład stopu AlSi7Mg. Uzyskano również informację o masowym i atomowym stężeniu w badanych mikroobszarach osnowy i wydzielen. Na podstawie punktowej analizy EDS zamieszczonej w tabeli 3, stwierdzono, iż w obszarach o dużym stężeniu Si i Al występują wydzielena pierwotne krzemu. W strukturze stopu zidentyfikowano ponadto wydzielena w których analiza EDS wykazała podwyższone stężenie Si, Mg oraz Fe, co może wskazywać na występowanie fazy składającej się z AlSiFeMn.

Tablica 3. Analiza jakościowa i ilościowa materiału w wybranych punktach

Table 3. *Qualitative and quantitative analysis of the material at selected points*

Pierwiastek	Stężenie pierwiastków w danym miejscu [%]	
	Masowe	Atomowe
Punkt 1		
Al	100,0	100,0
Punkt 2		
Si	74,2	70,3
O	11,4	19,0
Al	7,6	7,5
Mn	6,8	3,3
Punkt 3		
Al	64,8	66,7
Si	20,2	20,0
Mg	9,0	10,3
Fe	6,1	3,0

Na rysunku 15 przedstawiono dyfraktogram rentgenowski stopu AlSi7Mg w stanie po odlaniu. Metodą rentgenowskiej analizy fazowej jakościowej udowodniono obecność fazy α -Al, stanowiącej osnowę badanego stopu oraz fazy β -Si. Nie zaobserwowano natomiast refleksów pochodzących od pozostałych wydzielen zidentyfikowanych na podstawie badania z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego ze względu na ich śladowe występowanie poniżej wykrywalności (która wynosi 3%).



Rysunek 15. Dyfraktogram rentgenowski odlewniczego stopu aluminium AlSi7Mg z opisanymi refleksami

Figure 15. X-ray diffraction pattern of AlSi7Mg aluminum casting alloy

4. WNIOSKI

Na podstawie wykonanych badań wysunięto następujące wnioski:

- Na podstawie pomiarów grubości powłoki anodowanej można zauważyć wzrost jej grubości przy zwiększeniu wartości napięcia zaledwie o 0,5V z wartości 21,5V do wartości 22V. Średnia grubość powłoki przy pierwszej z nich wynosiła 4,48 μm , natomiast drugiej 5,40 μm . Ponadto, w przypadku wanny podłączonej do napięcia 22V stwierdzono, że wartości są do siebie bardziej zbliżone, występuje mniejsza asymetria.
- Pomiar chropowatości wykazały, iż zwiększenie napięcia z 21,5V do 22V powoduje wzrost tej własności odpowiednio z 0,34 na 0,39 μm .
- Na podstawie analizy ATD wyznaczono charakterystyczne punkty w procesie krystalizacji stopu AlSi7Mg. Analiza ATD umożliwiła wytypowanie kolejności krystalizacji poszczególnych faz. Proces krystalizacji można przedstawić następująco:
 $\alpha + \text{eut.} \Rightarrow (\alpha + \beta) + \text{eut.} \Rightarrow (\alpha + \beta + \text{Mg}_2\text{Si}) + \text{eut.} \Rightarrow \text{AlSiFeMn} \Rightarrow \text{Tsol}$
- Na podstawie obserwacji mikroskopowych stwierdzono, że po analizie termicznej, przeprowadzonej z powolnym chłodzeniem doszło do rozrostu ziaren. Wielkość ziaren po ATD jest około 1,5 razy większa niż przed tym zabiegiem. Przed analizą średnia wielkość ziaren wynosiła 325,589 μm , natomiast po: 550,894 μm .
- Na podstawie punktowej analizy EDS stwierdzono, iż w obszarach o dużym stężeniu Si i Al występują wydzielania pierwotne krzemu. W strukturze stopu zidentyfikowano ponadto wydzielania w których analiza EDS wykazała podwyższone stężenie Si, Mg oraz Fe, co potwierdza obecność fazy AlSiFeMn.
- Metodą rentgenowskiej analizy fazowej jakościowej udowodniono obecność fazy α -Al, stanowiącej osnowę badanego stopu oraz fazy β -Si. Nie zaobserwowano natomiast refleksów pochodzących od pozostałych wydzieleni.

LITERATURA

1. Posmyk A., Warstwy powierzchniowe aluminium tworzyw konstrukcyjnych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010
2. Makowski J., Geografia fizyczna świata, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2005
3. Totten G.E., MacKenzie D.S., Handbook of aluminum, Marcel Dekker Inc., New York, 2003
4. Orman Z., Woźniak M., Metalurgia aluminium, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1972
5. Mondolfo, L. F., Aluminum Alloys: Structure and Properties, Elsevier Science, 2013
6. Posmyk A., Warstwy powierzchniowe aluminium tworzyw konstrukcyjnych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010
7. Wasilewski P., Siluminy – modyfikacja i jej wpływ na strukturę i właściwości, Wydawnictwo PAN, Katowice, 1993
8. Totten G. E., Handbook of Aluminium, Volume 1: Physical Metallurgy and Processes, Marcel Dekker, New York, 2002
9. Polmear I., Light Alloys, Butterworth-Heinemann, Melbourne, 2005
10. Dobrzański L. A., Podstawy nauki o materiałach i materiałoznawstwo, Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002
11. <http://www.totalmateria.com/Article76.htm> [dostęp 19.02.2019]

12. <http://www.misiedlamisi.pl/zywnosci-kawy-worek-do-przechowywania-ziplock-folii-aluminiowej-samo-uszczelnienie-torby-do-pakowania-termozgrzew> [dostęp 01.02.2019]
13. <https://www.asport.pl/p/32543/mata-karimata-turystyczna-skladana-aluminiowa-pianka-eva-180x50x1-cm-meteor/> [dostęp 01.02.2019]
14. <http://www.tabliczkiznamionowe.com.pl/?tabliczki-aluminiowe,7> [dostęp 01.02.2019]
15. https://motoryzacja.wnp.pl/dwie-dekady-aluminiowej-karoserii-audi,207957_1_0_0.html [dostęp 01.02.2019]