

**Wpływ obróbki cieplnej i modyfikacji Sr na mikrostrukturę i wybrane własności odlewniczego stopu AlSi7Cu3**J. Łanuszewski^a, M. Miziarski^a, M. Krupiński^b, T. Tański^b, W. Pakieła^b^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie

Streszczenie: Celem niniejszej pracy było określenie wpływu strontu na sposób krzepnięcia oraz wybrane własności mechaniczne stopu AlSi7Cu3. Praca obejmuje wytworzenie zmodyfikowanego strontem stopu AlSi7Cu3 poprzez domieszkowanie, obróbkę cieplną zmodyfikowanego stopu przez przesycanie oraz starzenie a także pomiar twardości i odporności na ścieranie oraz analizę zglądów metalograficznych wykonaną przy użyciu świetlnego mikroskopu metalograficznego.

Abstract: Following article contains evaluation of crystallization and chosen mechanical properties of AlSi7Cu3 alloy with addition of strontium. Article describes doping of AlSi7Cu3 alloy with strontium and heat treatment which contains superimposing and aging of created alloy. Article contains results of hardness test and abrasion resistance test as well as analysis of metallographic samples made with metallographic light microscope.

Słowa kluczowe: obróbka cieplna, domieszkowanie, stopy aluminium

1. WSTĘP

Stopy aluminium z krzemem cechują się dobrą lejnością oraz małym skurczem lecz nie są łatwo obrabialne cieplnie poprzez skłonność do tworzenia gruboziarnistej struktury. Strukturę siluminów tworzą głównie faza α – podnosząca plastyczność, oraz krucha faza β odpowiedzialna za twardość. Strukturę oraz własności siluminów modyfikować można poprzez dodatki takie jak sód, stront czy antymon. Sód wraz ze strontem powodują zmianę morfologii krzepnięcia eutektycznego krzemu, stront wykazuje duże powinowactwo do krzemu, z płytkowej na włóknistą o dużym zagęszczeniu co znacząco podnosi udurowienie, antymon zaś powoduje wydzielanie krzemu w postaci płytkowej [1-4].

Dodatek strontu powoduje również powstanie drobnych, okrągłych oraz dyspersyjnych porów i powiększenie rzadzizn. Zwiększenie ilości porów w odlewie tłumaczy powstające

tlenki strontu. Żelazo uznawane za zanieczyszczenie w siluminach, przez tworzenie związków międzymetalicznych, powoduje natomiast obniżenie porowatości. Modyfikacja wydzieliń faz międzymetalicznych żelaza polega na dodaniu manganu do stopu oraz zmianę prędkości chłodzenia. Mangan powoduje zmianę struktury wydzieliń z podnoszących kruchość stopu faz β na α [5]. Siluminy odlewnicze zawierać mogą również miedź. W stopach podeutektycznych odlewniczych z miedzią odpowiada ona za umocnienie roztworu stałego α , ze względu na obniżoną zawartość krzemu, tworząc fazę θ Al_2Cu . Obróbka cieplna siluminów odlewniczych z dodatkiem miedzi polega na utwardzaniu wydzieleniowym poprzez przesycanie i starzenie, w trakcie starzenia wydzieliła się faza Al_2Cu z roztworu stałego α [1].

1. Materiał i metodyka

Materiałem przeznaczonym do badań był stop aluminium AlSi7Cu3 , którego skład chemiczny przedstawiono w tabeli 1. Powyższy silumin stopowano strontem w postaci zaprawy AlSr o zawartości 10% strontu, w sumie dodano 0,2g strontu do próbki o masie 134g.

Tabela 1. Skład chemiczny stopu AlSi7Cu3Mg [6]

składnik	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Ti	Zn	Ni
% wagowy	6,5 - 8	3 - 4	0,3 – 0,6	0,2 – 0,65	do 0,8	do 0,25	do 0,65	do 0,3

Stopowanie wykonano w temperaturze 750°C bez użycia gazu ochronnego z powolnym chłodzeniem. Przetopienie próbek wykonano przy użyciu urządzenia do analizy termiczno-derywacyjnej UMSA przy zadanej mocy cewki 2kW na początku grzania stabilizującej się na poziomie 540W w czasie wygrzewania trwającego 3 minuty. Pomiar temperatury odbywał się z wykorzystaniem termopary typu K. Przesycanie przeprowadzono w temperaturze 475°C wyznaczonej na podstawie przedstawionego na rys. 1 wykresu wykonanego na urządzeniu UMSA oraz w temperaturze 520°C , na podstawie literatury w celach porównania i sprawdzenia użyteczności analizy termiczno-derywacyjnej [7].

Starzenie próbek wykonano w temperaturze 190°C , dobranej z artykułu, zaś czas starzenia wynosił 2 godziny. Wykonano również badania odporności na ścieranie przy pomocy urządzenia CSM Instruments Tribometer z użyciem przeciwpróbki z Al_2O_3 , próbę wykonywano na odcinku 10mm przez 6 minut z częstotliwością 100Hz. Następnie zmierzono profil wytarcia z użyciem profilometru Surtronic 25.

2. Omówienie

T_{Lmin} – metastabilna temperatura likwidus,

T_{Lmax} – temperatura likwidus,

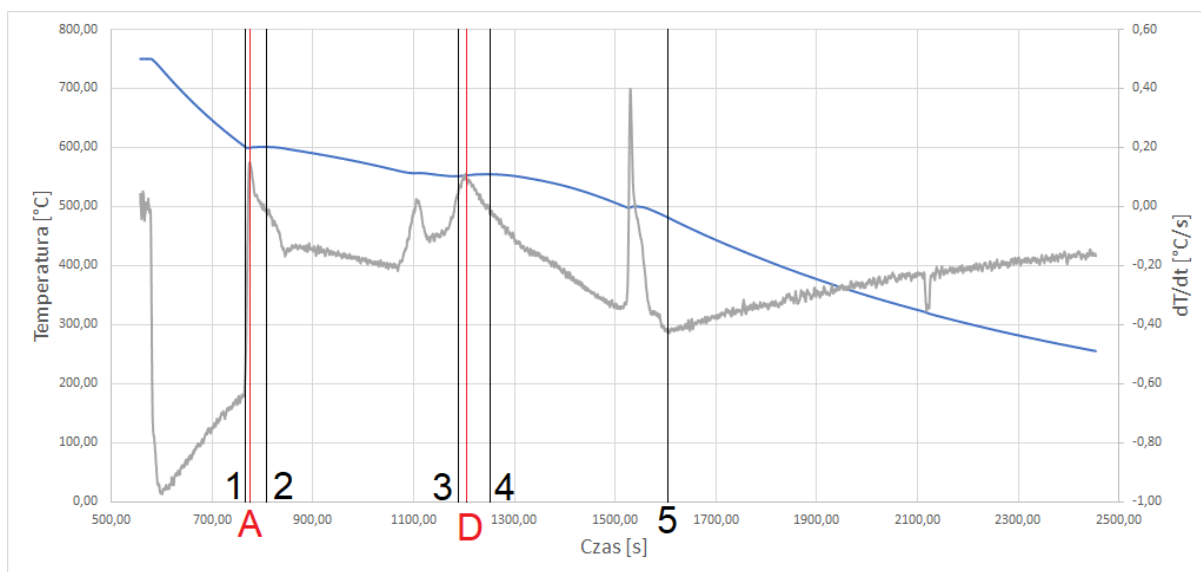
T_{Smin} – metastabilna temperatura solidus,

T_{Smax} – temperatura solidus,

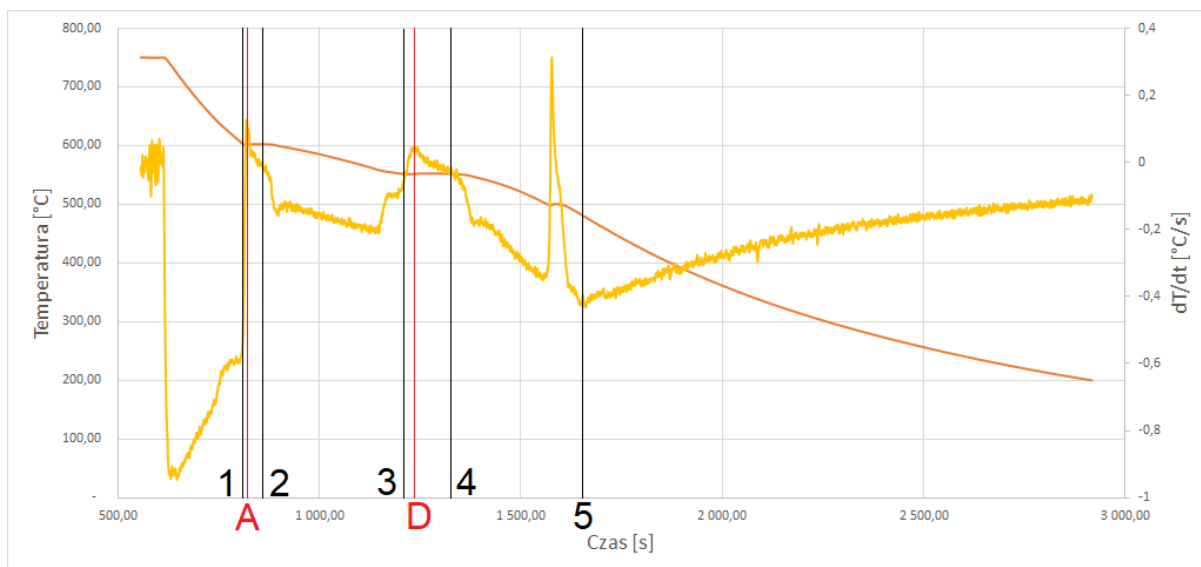
T_{F} – temperatura końca krystalizacji,

A – temperatura maksymalnego efektu cieplnego krystalizacji fazy α ,

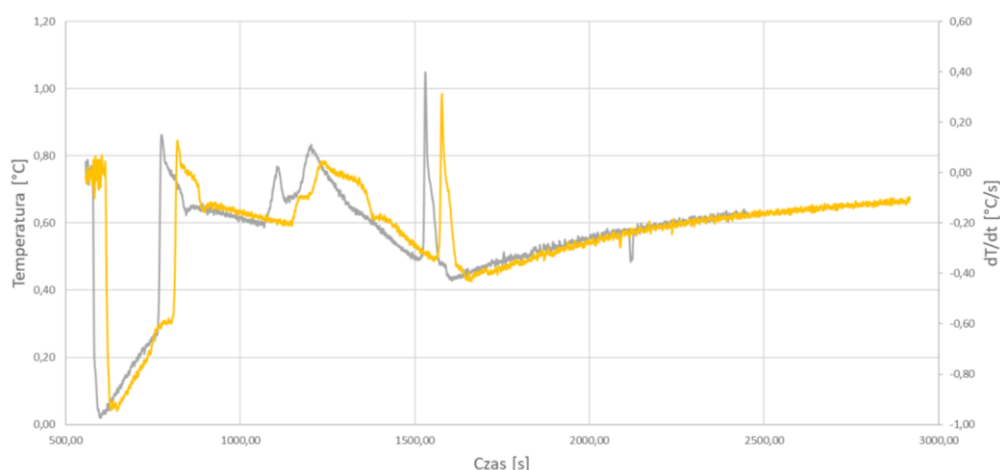
D – temperatura maksymalnego efektu cieplnego krystalizacji eutektyki $\alpha+\beta$.



Rysunek 1. Wykres analizy termiczno-derywacyjnej stopu AlSi7Cu3 wzbogacanego strontem; gdzie: 1 - T_{Lmin} , 2 - T_{Lmax} , 3 - T_{Smin} , 4 - T_{Smax} , 5 - T_F



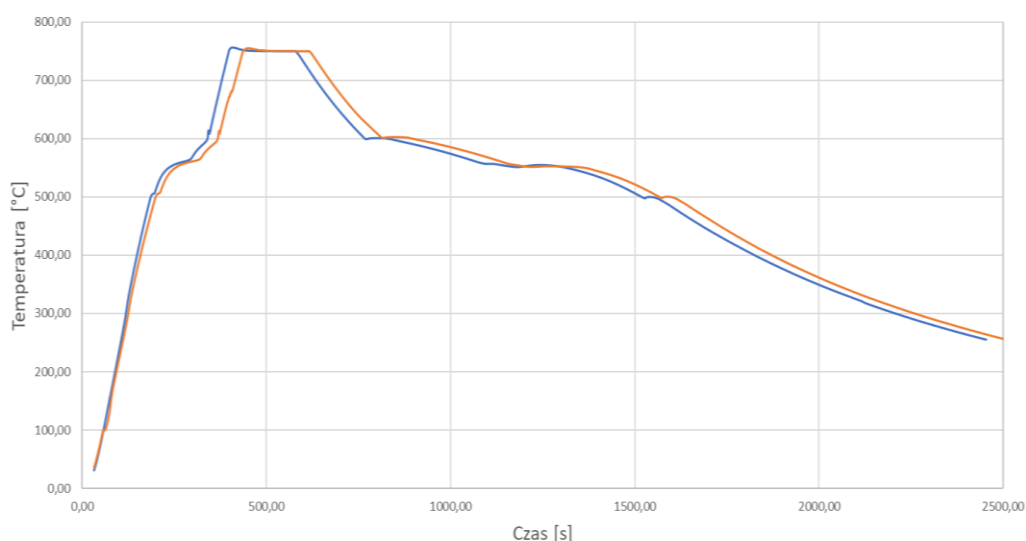
Rysunek 2. Wykres analizy termiczno-derywacyjnej stopu AlSi7Cu3 nie modyfikowanego strontem; gdzie: 1 - T_{Lmin} , 2 - T_{Lmax} , 3 - T_{Smin} , 4 - T_{Smax} , 5 - T_F



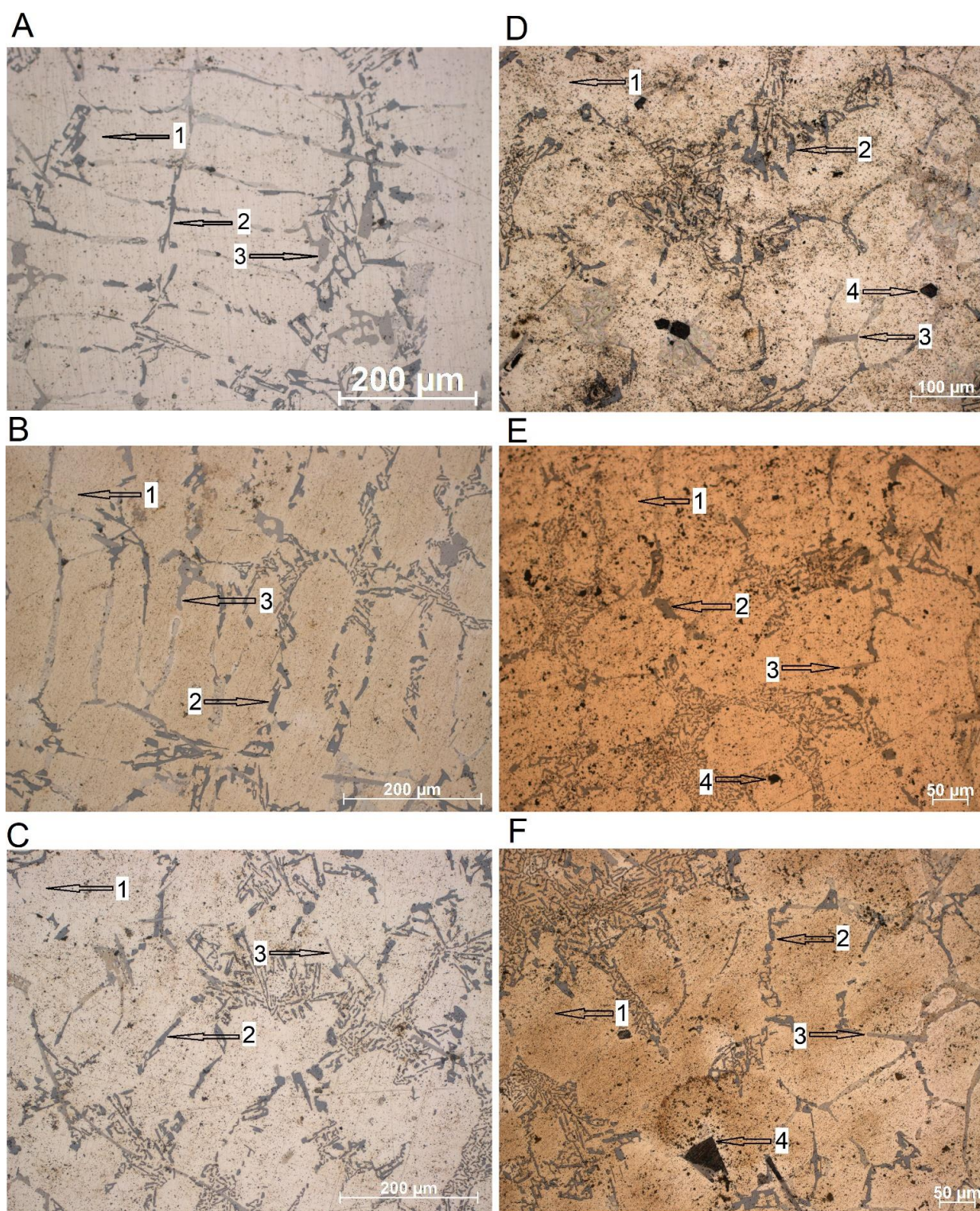
Rysunek 3. Zestawienie krzywych derywacyjnych stopu modyfikowanego (kolor szary) i niemodyfikowanego (kolor żółty) strontem

Badanie wykonano na urządzeniu UMSA pokazało również różnice między temperaturą punktu zmiany stanu skupienia w przypadku nagrzewania materiału a chłodzeniem. Dzięki tej różnicy udało się nie przetopić próbki w trakcie przesycania w temperaturze 520°C, którą to różnicę można zobaczyć na rysunku nr 4.

Obserwacje mikroskopowe pokazały, iż dodatek strontu rozdrobnił strukturę materiału, jednakże równocześnie zwiększył porowatość struktury, przy czym pory przekraczały swą wielkością objętość ziarna co pokazano na rysunku 6. W wyniku przesycania rozpuszczono fragment fazy Al_2Cu , co da się zauważyć na obrazkach 7 i 8. Dodatkowo zostało pokazane, że parametry przesycania dobrane na podstawie analizy termiczno-derywacyjnej mają potencjał w szerszym zastosowaniu, mającym stworzyć dokładniejsze metody wyznaczania parametrów obróbki cieplnej stopów. Stop nieobrobiony cieplnie (rys. 3-5) posiada w swojej mikrostrukturze fazy międzymetaliczne. Po obróbce cieplnej owe fazy uległy rozpuszczeniu, przez co można podejrzewać, że była to faza Al_2Cu .



Rysunek 4 Zestawienie krzywych termicznych, niebieski- stop modyfikowany, pomarańczowy- stop niemodyfikowany



Rysunek 5. Zestawienie struktur stopu AlSi7Cu3 z (D, E, F) oraz bez dodatku strontu (A, B, C) poddanych: A, D – odlewaniu bez dalszej obróbki cieplnej; B, E – odlewaniu oraz przesycaniu w 475°C i starzeniu; C, F – odlewaniu oraz przesycaniu w 520°C i starzeniu; gdzie: 1 – α , 2 – β , 3 – Al_2Cu , 4 – wydzielena Sr

Twardość

Badanie twardości wykonano na wszystkich próbkach poddanych różnym rodzajom obróbki cieplnej. Wyniki pomiaru twardości podano w skali HRB.

Tabela 2 Twardości próbek modyfikowanych i referencyjnych

	Po przetopieniu	Przesycane w 520°C	Przesycane w 520°C i starzone	Przesycane w 475°C	Przesycane w 475°C i starzone
AlSi7Cu3 modyfikowany	32,5	23,26	20,36	45,3	37,9
AlSi7Cu3	49,8	55,8	56	40,2	30,9

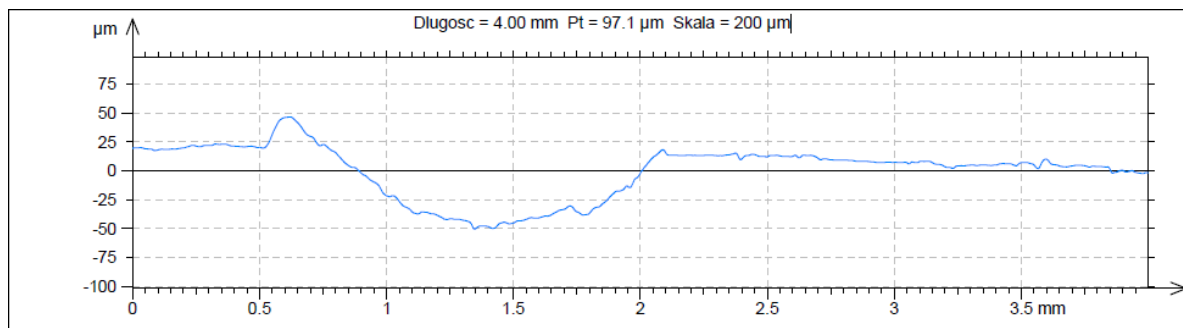
Z badań twardości wynika, iż modyfikacja strontem nie jest korzystna dla własności materiału. Najlepszy wynik odnotowano przy przesycaniu w temperaturze 475°C i jest on nieznacznie większy od próbki referencyjnej.

Mały dodatek strontu znacznie zmienił własności stopu, między innymi dobór parametrów obróbki cieplnej, z tego powodu przy tych samych parametrach doszło do odmiennych efektów. Duży wpływ na niską twardość stopu zawierającego stront miała silnie porowata struktura, która osłabiła materiał.

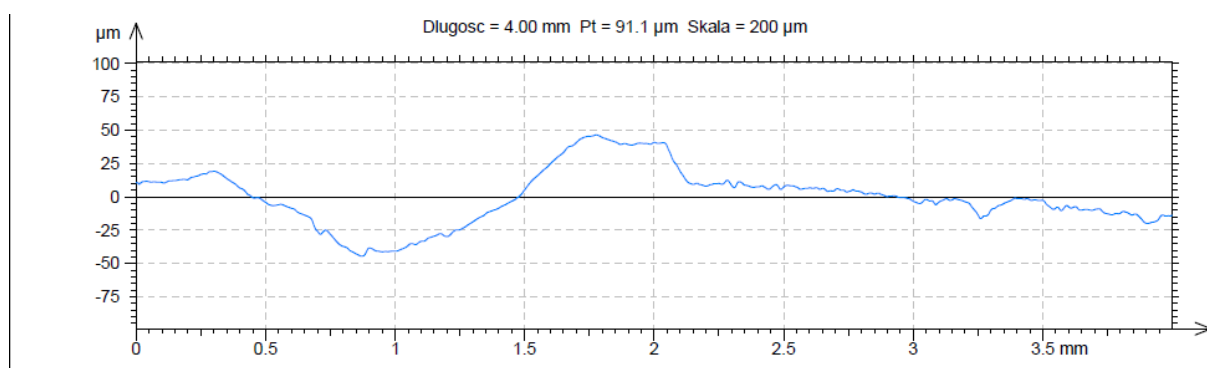
Próba ścierania

Próbie ścierania wykonano na dwóch próbkach: wyłącznie przetopionej, oraz próbce przesyczonej i starzonej na podstawie analizy termiczno-derywacyjnej. Początek prób cechował się dość wysoką siłą tarcia, można nawet podejrzewać miejscowe spiecenie próbki, ze względu na zbyt dużą ilość dostarczonej energii. Siła dość szybko uległa wyrównaniu i aż do końca próby oscylowała w okolicach 8-10N w przypadku próbki przetopionej oraz 6-8N w przypadku próbki obrobionej cieplnie.

Profile wytarcia nie różnią się zbyt wiele ani głębokością, ani szerokością wytarcia, co można zobaczyć na rysunkach numer 6 i 7, przez co można stwierdzić, że obróbka cieplna nie poprawiła własności trybologicznych stopu aluminium.



Rys. 6 Profil wytarcia próbki przetopionej



Rys. 7 Profil wytarcia próbki po obróbce cieplnej

Wnioski

Dodatek strontu pozwolił na rozdrobnienie ziaren stopu, jak również przyspieszył procesy topnienia i krystalizacji. W stopie modyfikowanym punkt krystalizacji oraz topnienia nastąpił wcześniej niż w stopie modyfikowanym, aczkolwiek nie zmieniła się temperatura tych punktów. Modyfikacja strontem spowodowała powstawanie porów w skali makroskopowej co osłabiło własności wytrzymałościowe materiału mimo istnienia twardych faz zawierających stront. Obróbka cieplna nie wpłynęła na odporność na ścieranie, ale poprawiła twardość materiału w stopie, w którym dobierano parametry za pomocą analizy termiczno-derywacyjnej. Wygląda na to, iż ta metoda jest skutecznym narzędziem do projektowania obróbki cieplnej materiałów.

Literatura

1. P. Tang, W. Li, Y. Zhao i inni, *Influence of strontium and lanthanum simultaneous addition on microstructure and mechanical properties of the secondary Al-Si-Cu-Fe alloy*, Journal of Rare Earth, vol. 35, nr 5, 2017, str. 485-492;
2. Suherman, Syakura i inni, *Influence of Additional Sr and TiB on Aluminium Al-Si-Cu-Mg Alloys for Produced Prototype Cylinder Head Motorcycle*, Proceeding of Ocean, Mechanical and Aerospace, vol. 5, nr 1, 2018, str. 79-83;
3. T. Haskel, G. O. Verran, R. Barbieri, *Rotating and bending fatigue behavior of A356 aluminum alloy: Effects of strontium addition and T6 heat treatment*, International Journal of Fatigue, vol. 114, 2018, str. 1-10;
4. P. Jarry, M. Rappaz, *Recent advances in the metallurgy of aluminium alloys. Part I: Solidification and casting*, Comptes Rendus Physique, vol. 19, 2018, str. 672-687;
5. Z. Li, N. Limodin i inni, *Influence of Sr, Fe and Mn content and casting process on the microstructures and mechanical properties of AlSi7Cu3 alloy*, Materials Science & Engineering A 689 2017 str. 286 – 297;
6. EN 1706:2001; Precipitation kinetics of an AlSi7Cu3.5Mg0