

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym Modern material technologies in aerospace industry

Opracowanie technologii przetapiania stopów niklu z zastosowaniem modyfikowania nanocząstkami proszków Development of the technology of remelting nickel alloys with the use of nanopowder modifications

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

Wpływ obróbki cieplnej na trwałość w warunkach pelzania odlewów z modyfikowanego nadstopu MAR247 / The effect of heat treatment on creep resistance of castings from the modified superalloy MAR247

Przeprowadzono ocenę wpływu obróbki cieplnej na trwałość w warunkach wysokotemperaturowego pelzania odlewów wykonanych z odpadów poprodukcyjnych nadstopu niklu MAR-247. Odlewy wytwarzane w procesach modyfikacji oraz filtracji podczas zalewania form poddano zabiegowi przesyciania (1185°C/2h) z następnym starzeniem (870°C/20h). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w warunkach wysokotemperaturowego pelzania w temperaturze 980°C przy naprężeniu $s=150\text{ MPa}$ trwałość próbek o strukturze gruboziarnistej była znacznie większa od próbek z ziarnem rozdrobnionym. Analizowano warunki powstawania i wzrostu pęknięć w tych próbkach z uwzględnieniem morfologicznych cech makro, mikro i substruktury materiałów. Wykazano ponadto, że trwałość pelzania nadstopu MAR-247 poddanego obróbce cieplnej znacznie wzrasta w porównaniu z stanem wyłącznie po procesie modyfikacji. Zbadano zmiany w mikrostrukturze nadstopu MAR247 warunkujące obserwowane w testach pelzania wzrost trwałości nadstopu po przesycianiu i starzeniu.

Impact of heat treatment on durability has been evaluated in this study in conditions of high-temperature creep of castings made from nickel superalloy MAR-247 post production rejects. Castings made in the processes of modification and filtration when pouring into moulds were subject to solubilization (1185°C/2h) with subsequent aging (870°C/20h). It has been found on the basis of performed tests that in conditions of high-temperature creep at temperature 980°C with stress $s=150\text{ MPa}$ the resistance of specimens of coarse-grain structure was significantly higher when compared to fine-grain material. The conditions of initiation and propagation of cracks in these specimens were analysed with consideration of morphological properties of material macro-, micro- and substructure. Moreover, it has been proven that creep resistance of heat treated MAR-247 superalloy significantly improves when compared to its condition after the process of modification only. Macrostructural changes in the MAR247 superalloy that determine the increase of superalloy creep resistance after solubilization and ageing, as observed in the tests, were also examined.

Odlewy uzyskano w wyniku przeprowadzenia następujących dwóch eksperymentów odlewniczych:

1 stop MAR-247, (forma niebieska-modyfikująca, filtr niebieski - modyfikujący)

2 stop MAR-247, (forma biała, filtr niebieski - modyfikujący)

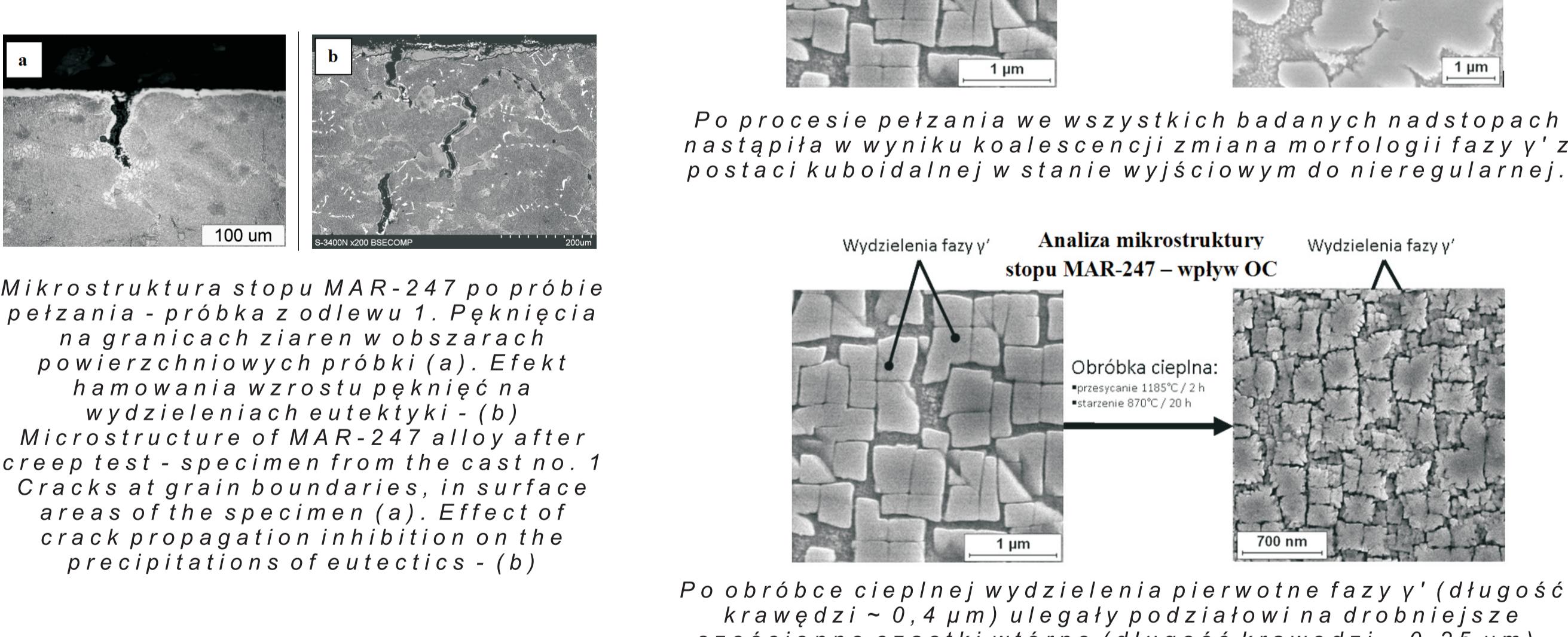
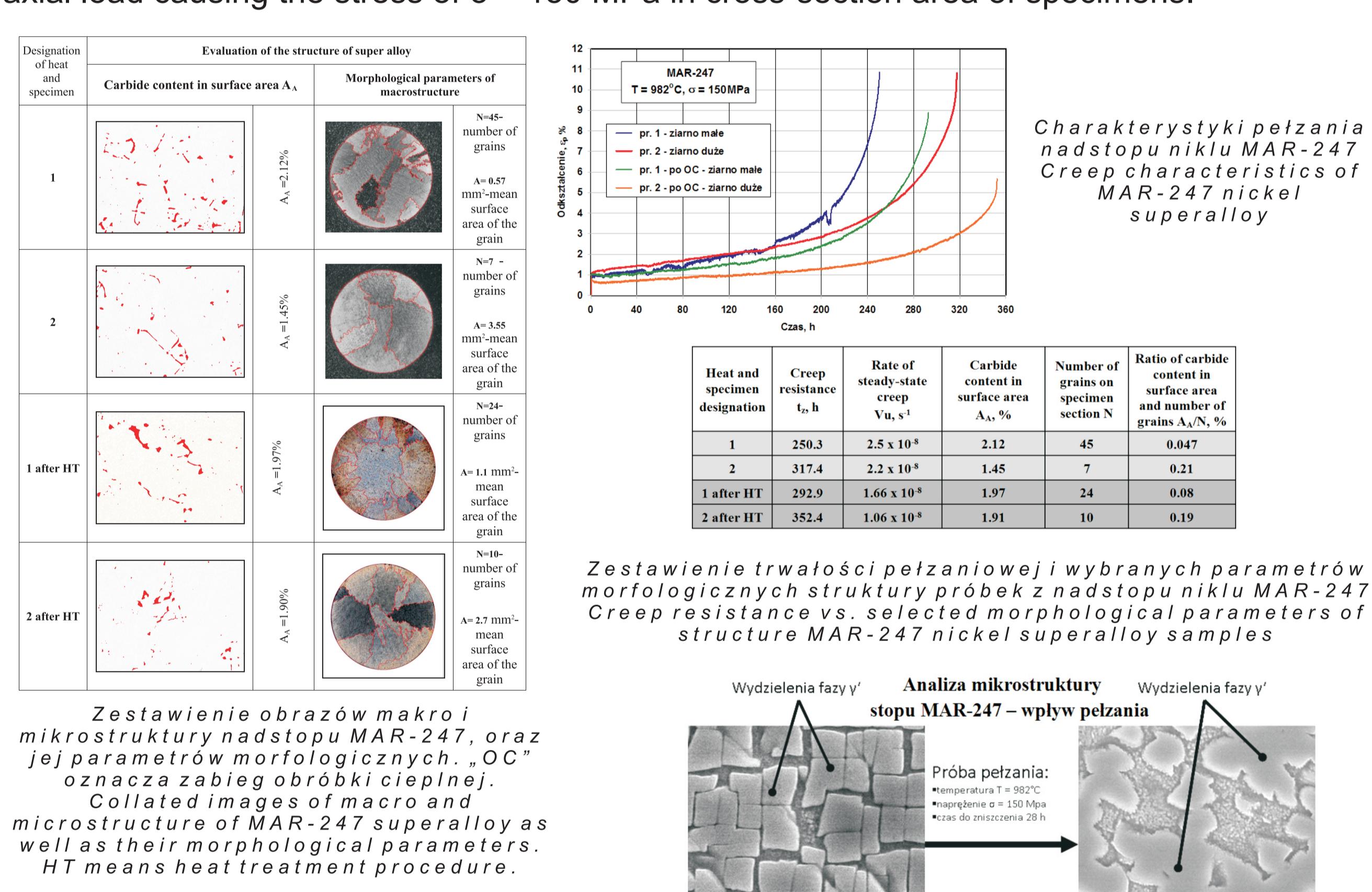
Do próby pelzania przygotowano cztery grupy próbek grawitacyjnych o wymiarach (M12, do = 6,0 mm lo = 32mm). Pierwsze dwie grupy stanowiły próbki z nadstopów wyłącznie po procesach modyfikacji. Następne dwie to próbki wykonane z odlewów po procesie modyfikacji, a następnie poddanych obróbce cieplnej (OC), na którą składał się proces przesyciania w 1185°C/2h z następnym starzeniem w 870°C/20h. Próby pelzania wykonano na maszynie Walter-Bai AG LFMZ-30kN. Badania prowadzono w temperaturze 980°C przy obciążeniu osiowym wywołującym w przekroju poprzecznym próbki naprężenie $\sigma = 150 \text{ MPa}$.

The castings were produced in following two casting experiments:

1 heat of MAR-247 alloy, (blue mould - modifying, blue filter - modifying)

2 heat of MAR-247 alloy, (white mould, blue filter - modifying)

Four groups of threaded samples, with dimensions (M12, do = 6.0 mm lo = 32mm), were prepared for the creep testing. The first two groups included superalloy specimens after modification processes only. The other two - the specimens made of casts after modification and then subjected to solubilization and ageing. Then part of the received casts was subjected to heat treatment (HT), consisting in the process of solubilization at 1185°C for 2h and subsequent ageing at 870°C for 20h. Creep tests were performed in Walter-Bai AG LFMZ-30kN testing machine. The tests were conducted at the temperature of 980°C and axial load causing the stress of $\sigma = 150 \text{ MPa}$ in cross-section area of specimens.



Eksperyment odlewania łopatek w warunkach odlewni WSK Rzeszów / Experiments done at WSK Rzeszów foundry.

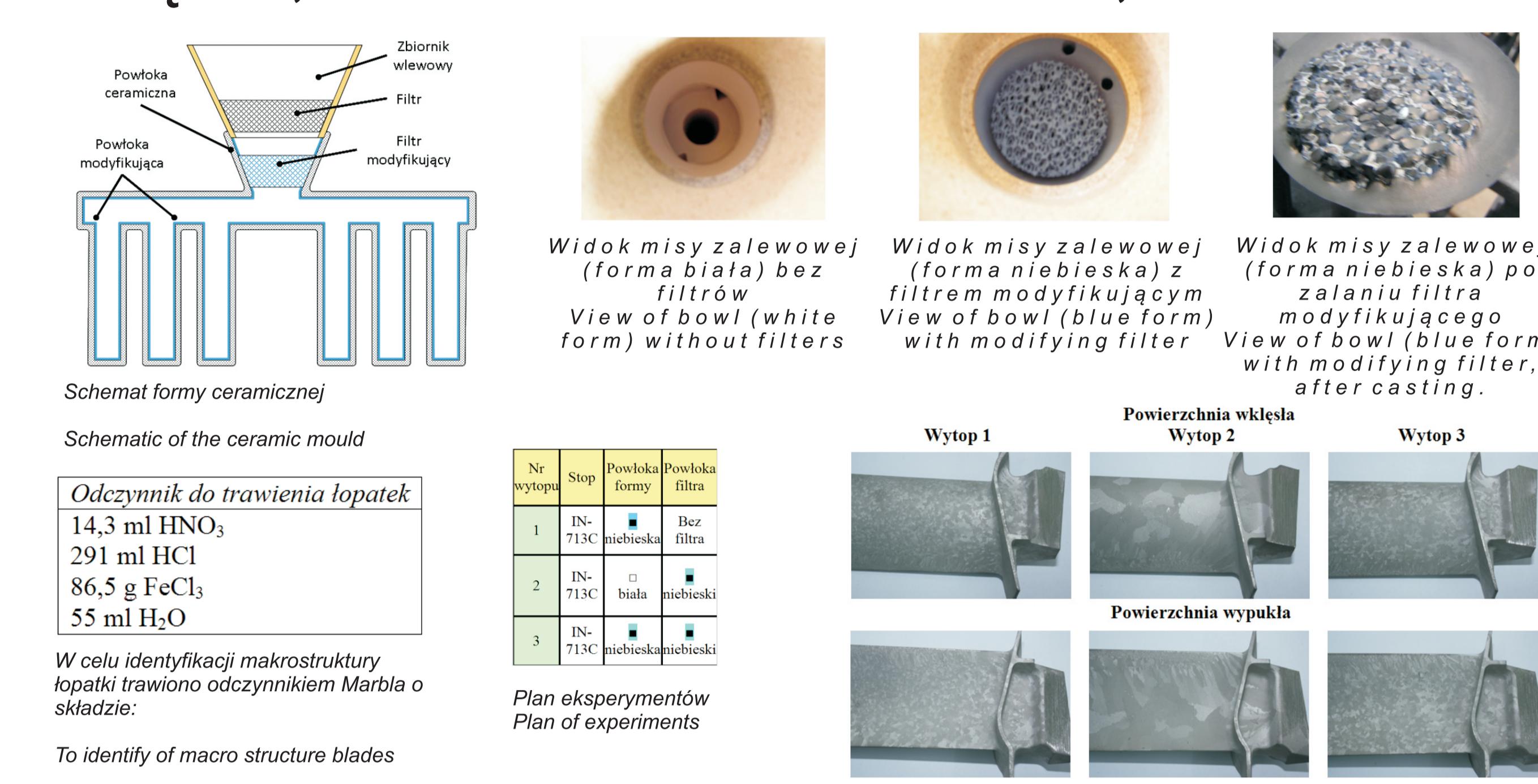
Celem badań było sprawdzenie wpływu sposobu modyfikowania (tylko objętościowego oraz łącznego powierzchniowego i objętościowego) na kształtowanie makrostruktury i właściwości mechaniczne odlewów próbnych.

Łączny zabieg modyfikowania powierzchniowego i objętościowego wymaga umieszczenia w zbiorniku wlewowym dodatkowego filtra, zawierającego glinian kobaltu i dodatki aktywnych składników (proszek Al lub Hf). Dodatkowym efektem rozwiązania jest podwójna filtracja stopu. Topienie i odlewanie łopatek przeprowadzono w indukcyjnym piecu próżniowym.

Odlano łopatki turbiny niskiego ciśnienia silnika V2500 (stop IN-713C). Schemat rozmieszczenia filtra podstawowego i modyfikującego przedstawia rysunek. Wykonano 3 wytopy w piecu indukcyjnym próżniowym, według technologii przewidzianej dla odlewów łopatek. Formy były podgrzane do temperatury około 1200°C. Łopatki odlano ze stopu IN-713C.

The aim of the conducted studies was to examine what impact the modification technique (bulk modification alone or combined surface and bulk modification) will have on the formation of microstructure and mechanical properties in pilot castings. The combined surface and bulk treatment requires the presence of an additional filter placed in the pouring basin. The filter contains cobalt aluminate and additives of active elements (Al or Hf powder). An additional effect of this solution is the double filtration of alloy.

Melting and casting blades were performed in a vacuum induction furnace. Cast low-pressure turbine blades V2500 engine (alloy IN-713C). Schematic layout of the basic filter and modifying shown. Three casts were obtained in a vacuum induction furnace using the provided technology for the casting of blades. Moulds were heated to a temperature of about 1200°C. The blades were cast alloy IN-713C.



OKREŚLENIE JAKOŚCI METALURGICZNEJ WLEWKÓW WSADOWYCH
DEFINING QUALITY METALLURGICAL BATH OF INGOTS

Podczas topienia do ciekłego stopu mogą przeходить różnego rodzaju zanieczyszczenia, których źródłem są najczęściej:

- zanieczyszczone materiały wsadowe,
- materiały ceramiczne materiały tygla,
- zanieczyszczona wnęka formy odlewniczej, produkty reakcji tworzywa formy z ciekłym stopem, szczególnie przy zbyt wysokiej temperaturze odlewania.

Technologia topienia stopów niklu, ze względu na zamkniętą komorę topienia, uniemożliwia ewentualne procesy rafinowania, usuwania żużła itp. Dlatego każdy z wyżej wymienionych czynników może prowadzić do zanieczyszczenia stopów niklu wtrąceniami niemetalicznymi lub gazami. Większość zanieczyszczeń niemetalicznych charakteryzuje niska temperatura krzepnięcia, co powoduje iż gromadzą się one przed frontem krzepnięcia i krystalizują jako ostateczne.

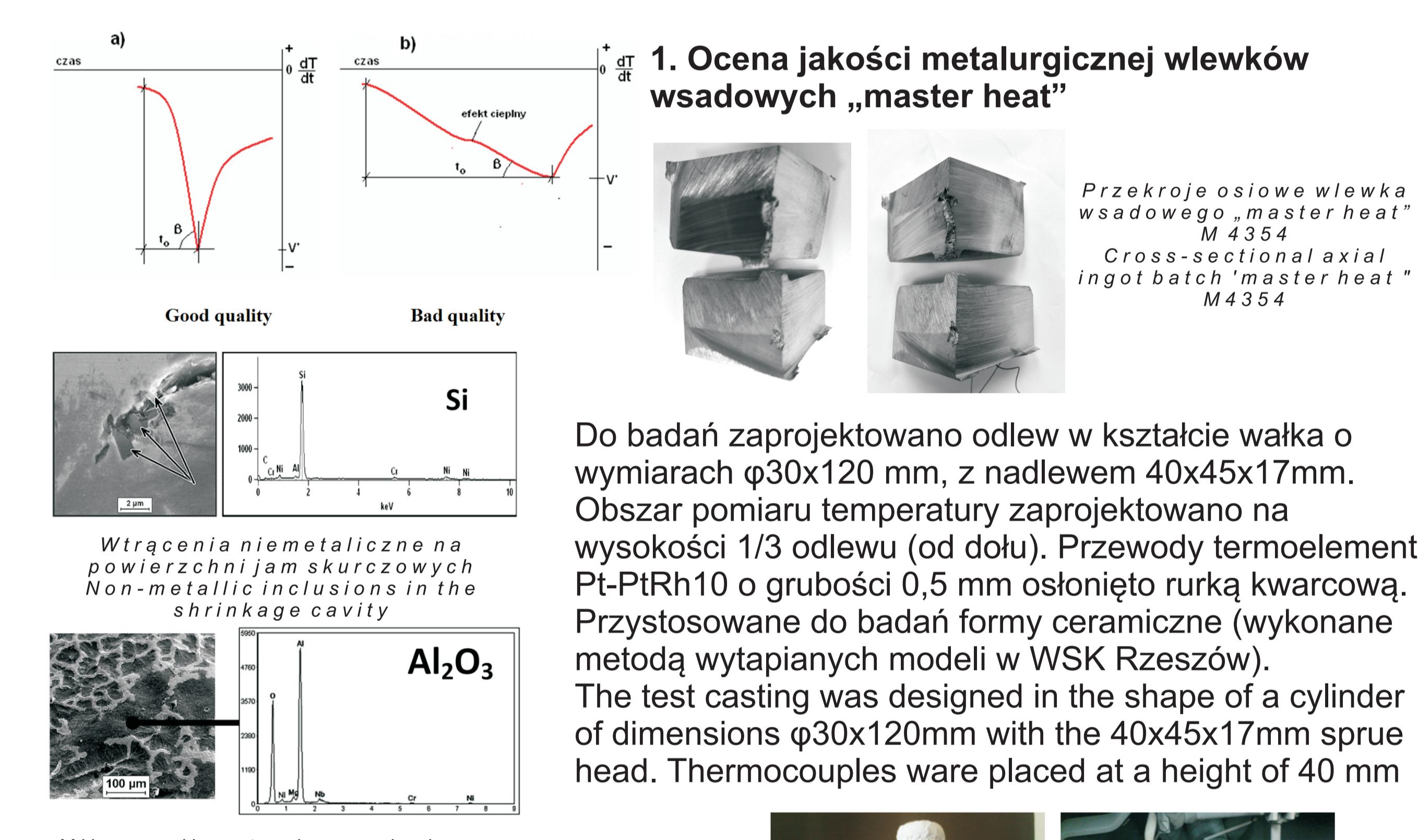
Analiza wykresu pochodzącej dT/dt, obrazującej szybkość spadku temperatury w tym okresie, daje możliwość jakościowej oceny efektu zanieczyszczenia stopu wtrąceniami niemetalicznymi i gazami.

During melting process different impurities may pass to the liquid alloy. The most common sources of these are:

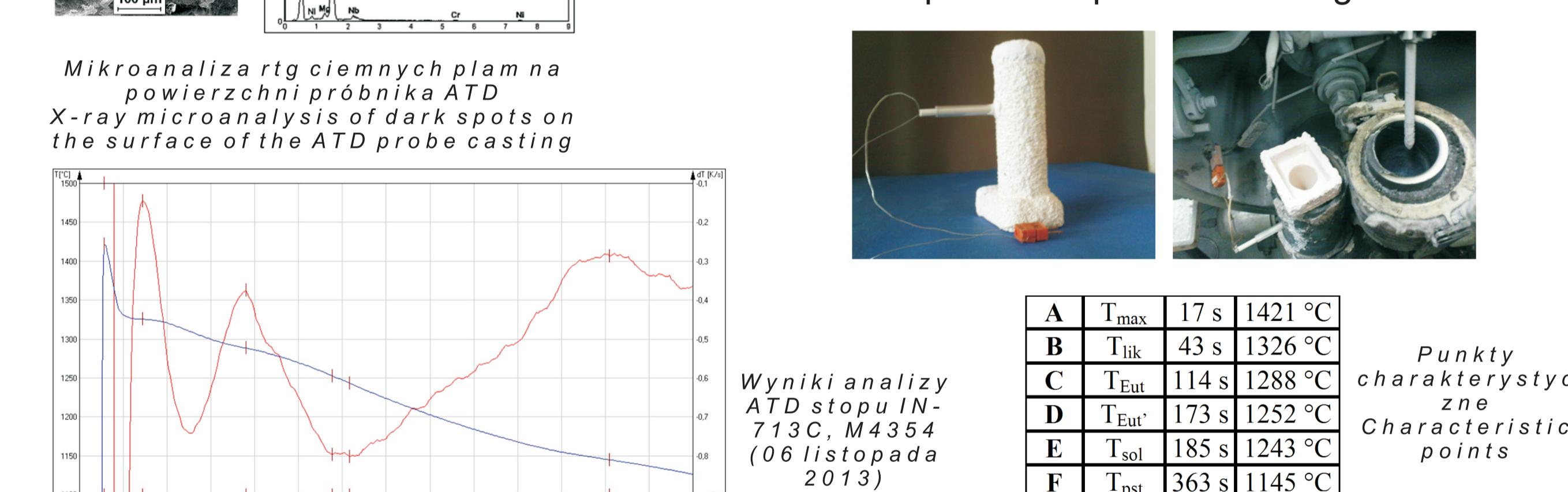
- contaminated feed materials,
- ceramic crucible material,
- contaminated mould cavity,
- products of reaction between the molten metal and mould materials, particularly when pouring temperature is high.

Nickel superalloys melting technology, due to closed furnace chamber, prevents any refining processes, slag removal etc. Therefore, each of aforementioned factors can lead to contamination of casting with non-metallics and gases. Most non-metallic impurities have low freezing point and crystallize last. This causes their accumulation at the front of solidification and formation of eutectics.

The analysis of dT/dt derivative curve, showing the rate of temperature drop during this period, helps in qualitative evaluation of the consequences of the alloy being contaminated



Do badań zaprojektowano odlew w kształcie wałka o wymiarach φ30x120 mm, z nadlewem 40x45x17mm. Obszar pomiaru temperatury zaprojektowano na wysokość 1/3 odlewów (od dolu). Przewody termoelementu Pt-PtRh10 o grubości 0,5 mm osłonięto rurką kwarcową. Przystosowane do badań formy ceramiczne (wykonane metodą wypalaniem) modeli w WSK Rzeszów. The test casting was designed in the shape of a cylinder of dimensions φ30x120mm with the 40x45x17mm sprue head. Thermocouples were placed at a height of 40 mm



Przed zakończeniem krzepnięcia na wykresie pochodzącej dT/dt widoczny, ale niewielki efekt egzotermiczny, który świadczy o wydzielaniu znikomej ilości niskotopowej eutektuki w temperaturze 1250°C, której źródłem są zanieczyszczone powierzchnie widocznych na zdjęciach jąm skurczowych. Na tej podstawie można stwierdzić, że badana próbka plewka "master heat" jest zadowalającej jakością.

2. Określenie statystycznej zależności pomiędzy parametrami krzepnięcia (Tlik, TEut, Tsol), a składem chemicznym wlewów wsadowych stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

	T _{lik} / °C	T _{eut} / °C	T _{sol} / °C	Ni	Cr	Co	Ti	Al	Cr ₂₃	Nb	Mo
1	1348	1312	1250	74.1	0.0439	5.96	12.23	0.0494	0.725	2.18	4.43
2	1340	1307	1245	72.8	0.0718	6.11	13.30	0.0655	0.604	2.47	4.59
3	1333	1307	1237	71.8	0.0863	6.03	13.70	0.0655	0.604	2.47	4.59
4	1340	1307	1245	72.8	0.0718	6.11	13.30	0.0655	0.604	2.47	4.59
5	1342	1307	1245	72.8	0.0718	6.11	13.30	0.0655	0.604	2.47	4.59
6	1342	1307	1245	72.9	0.0718	6.07	13.20	0.0648	0.595	2.25	4.31
7	1345	1309	1253	72.8	0.0712	6.09	13.20	0.0648	0.590	2.21	4.25
8	1342	1307	1245	72.8	0.0718	6.07	13.20	0.0648	0.590	2.21	4.25
9	1334	1311	1233	72.8	0.0911	5.84	13.97	0.0500	0.642	2.23	4.32
10	1334	1311	1233	72.8	0.0911	5.84	13.97	0.0500	0.642	2.23	4.32
11	1328	1295	1204	73.7	0.0923	5.84	14.02	0.0500	0.600	2.23	4.31
12	1322	1288	1204	73.6	0.1012	5.82	14.35	0.0500	0.600	2.24	4.31
13	1322	1288	1204	73.6	0.1012	5.82	14.35	0.0500	0.600	2.24	4.31
14	1320	1292	1207	73.7	0.0727	6.13	13.20	0.0515	0.615	2.25	4.32

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów "master heat" stopu IN-713C.

Parametry krzepnięcia oraz skład chemiczny badanych dotyczyjących wlewów