

Mikołaj POPŁAWSKI, Karol JÓŹWIAK, Tomasz KACHLICKI<sup>1</sup>

## Badania metalograficzne i mikroanalityczne meteorytu Morasko

### Metallography and Microanalysis Study of the Morasko Meteorite

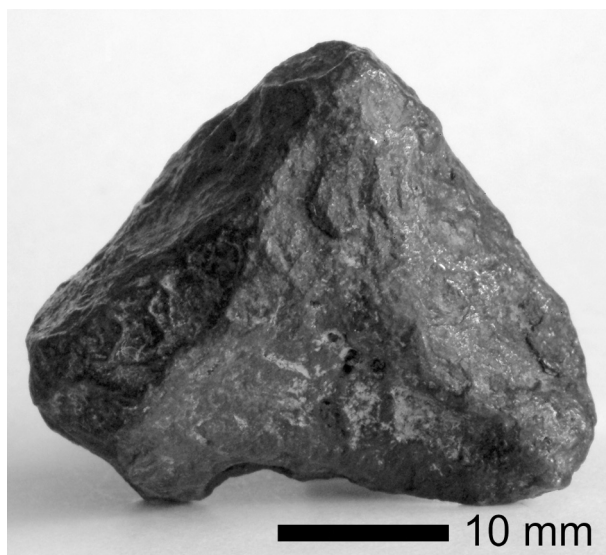
**Abstract:** The following work is an attempt to characterize the microstructure of Morasko meteorite with the application of optical microscopy as well as transmission and scanning electron microscopy. Chemical composition was examined with EDS and OES methods. The occurrence of mechanical twins has been detected which is scarce in case of earthly iron. The groundmass of the examined alloy constitutes a ferronickel (approx. 7% Ni) of A2 lattice. On the surface of metallographic microsection there can be seen Neumann bands and abundance of ferrophosphorus (Fe, Ni)<sub>3</sub>P.

**Keywords:** microstructure Morasko meteorite, OM, TEM, SEM, EDS

Historia znalezisk metalicznych meteorytów na terenie Moraskiej Góry i wsi Morasko datuje się od 1914 roku. Jak pisze profesor Wojciech Stankowski (Stankowski 2000), od lat pięćdziesiątych analizowana jest zarówno budowa tych meteorytów, jak i domniemanie skutków ich upadku. Wyniki badań geomorfologicznych i wykonane różnymi metodami datowania zgrupowania kociołków z terenu utworzonego w 1976 roku rezerwatu Meteoryt Morasko, mogą wskazywać na ich meteorytowe pochodzenie. Wykonywane badania (Stankowski et al. 2004) koncentrują się między innymi nad problemem udokumentowania impaktowego pochodzenia meteorytu Morasko.

Pewnego marcowego dnia roku 2007-go w Instytucie Geologii UAM profesor Andrzej Muszyński przekazał do badań bryłkę metalu. Był to odłamek meteorytu Morasko. Po usunięciu szczytką drucianą luźnych fragmentów w postaci „piasku i rdzy”, uzyskano obiekt przedstawiony na rysunku 1. Następnie ustalono jego masę  $m = 47,88$  g i gęstość  $\rho = 7,028$  g/cm<sup>3</sup>. Aby dokonać obserwacji mikrostruktury za pomocą mikroskopu metalograficznego lub elektronowego mikroskopu skaningowego, należy wykonać zgląd metalograficzny poprzez odpowiednie prze-

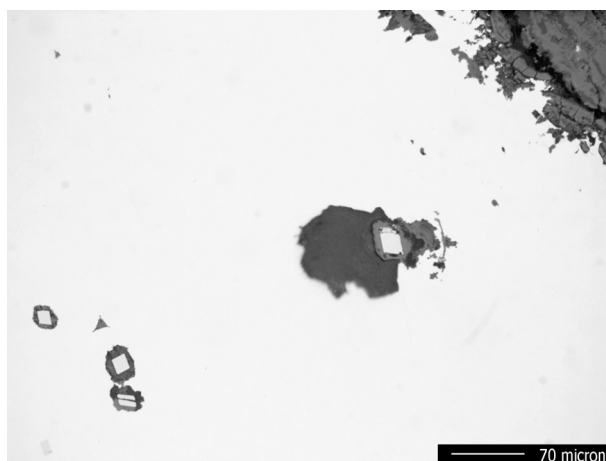
<sup>1</sup> dr inż. Mikołaj Popławski, dr inż. Karol Józwiak, dr inż. Tomasz Kachlicki, Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Materiałowej, Pl. Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań, e-mail: mikolaj.poplawski@put.poznan.pl



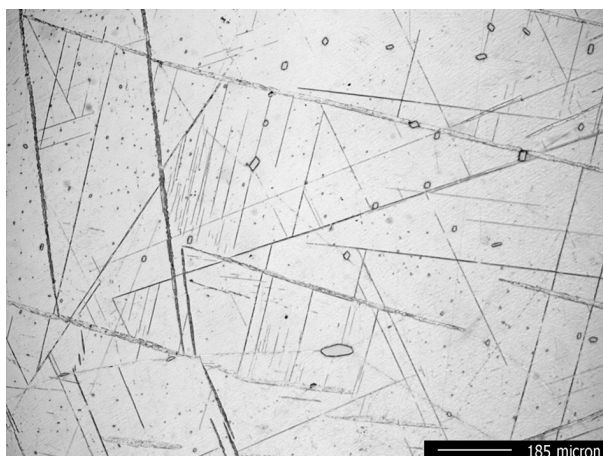
Rys. 1. Bryłka meteorytu Morasko

cięcie badanego przedmiotu. Odsłonięta w ten sposób powierzchnia jest następnie szlifowana na papierach ściernych, a w celu usunięcia nawet najdrobniejszych rys polerowana, zazwyczaj zawiesiną tlenku glinu w wodzie.

Tak przygotowana powierzchnia (rys. 2) umożliwia obserwację jedynie niemetalicznych wtrąceń, które w wyniku rozpraszania, odbijają w stronę oka obserwatora tylko część światła padającego na powierzchnię próbki. Nadtrawienie powierzchni zglądu odczynnikami znacząco wpływa na udział odbijanego przez nią światła, co umożliwia rozróżnienie składników strukturalnych (rys. 3). Skład użytych w badaniach odczynników był następujący: 1 część  $\text{HNO}_3$ , 2 cz. gliceryny, 3 cz.  $\text{HCl}$ ; oraz drugi 1 cz.  $\text{HNO}_3$ , 2 cz.  $\text{HCl}$ , 2 cz. gliceryny, 1 cz.  $\text{H}_2\text{O}_2$ .



Rys. 2. Powierzchnia nietrawionego zglądu meteorytu Morasko (BF)



Rys. 3. Linie Neumanna i fosforki żelaza  $(\text{Fe, Ni})_3\text{P}$  na trawionej powierzchni meteorytu Morasko (BF)

Wszystkie optyczne mikroskopy metalograficzne działają na zasadzie obserwacji w świetle odbitym od przedmiotu. Zastosowany w badaniach mikroskop Neophot 32 umożliwia obserwację w jasnym polu (BF), kiedy strumień świetlny pada prostopadle do płaszczyzny zglądu (rys. 4a) oraz obserwację w ciemnym polu (DF) (rys. 4b), kiedy promienie oświetlające padają skośnie na zgląd. Ponadto zastosowano metodę obserwacji w świetle spolaryzowanym (POL) (rys. 4c i 4d).

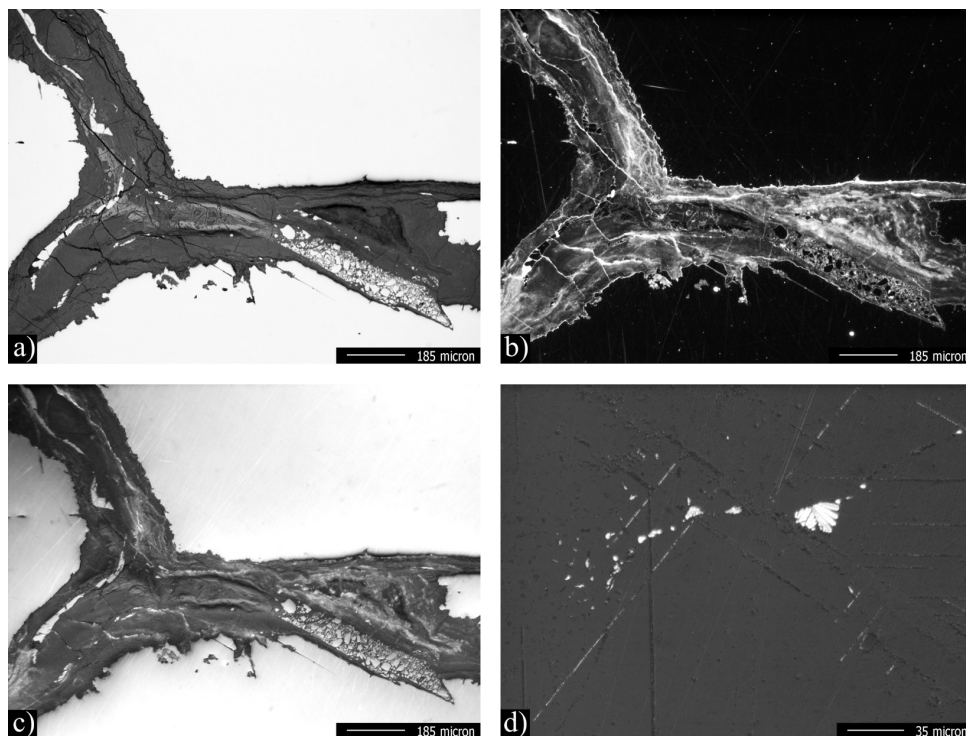
Na powstałej w wyniku przecięcia drugiej części meteorytu, wykonano analizę składu chemicznego z wykorzystaniem optycznego spektroskopu emisyjnego (OES) GDS500A firmy LECO. Obszar badany tym aparatem ma kształt koła o średnicy 4 mm, wyniki tego badania zebrano w tabeli 1. Pomiar OES wykonane na obszarach osnowy metalicznej (zawartość około 91% żelaza) ujawniły zawartość: niklu na poziomie 7% oraz małą zawartość węgla, fosforu, krzemu, kobaltu i niobu. Analizując obszary z innymi fazami (tlenki) odnotowano znaczący wzrost zawartości między innymi: węgla, manganu, wolframu oraz pojawienie się znikomych zawartości glinu przy czym zawartość żelaza spadła do około 80%.

Tabela 1. Skład chemiczny zbadanego fragmentu meteorytu Morasko: a) dla osnowy metalicznej, b) dla osnowy z wydzieleniami tlenków (% wagowy)

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W	Cu	Al	Ti	Co	B	Nb	Sb
a)	0,029	0,06	0,04	0,24	0,010	0,009	6,97	0,0053	0,013	0,010	0,027	0	0,021	0,636	0,004	0,079	0,0316
b)	1,663	0,34	0,58	0,79	0,162	0,096	12,21	0,078	0,144	0,352	0,218	0,025	0,197	1,297	0,009	1,05	0,0893

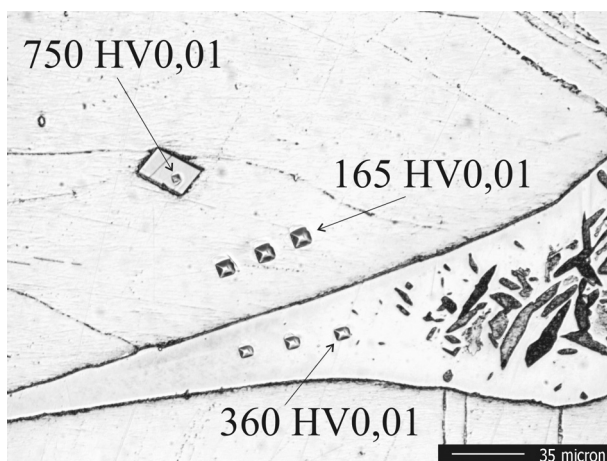
Twardość meteorytu zmierzono metodą Vickersa, średnia twardość fazy metalicznej wynosi 165 HV 0,01. Dla porównania twardość czystego żelaza wynosi ok. 55 HV. Przykładowe odciski od wglębniaka diamentowego wykonane przy obciążeniu 0,1 N przedstawia rysunek 5.

Wynikiem badań wykonanych na transmisyjnym mikroskopie elektronowym Philips EM 300 metodą cienkich folii są fotografie zamieszczone na rysunkach od 6 do 9. Na rysunku 6 widoczna jest granica międzyziarnowa oraz liczne pasma

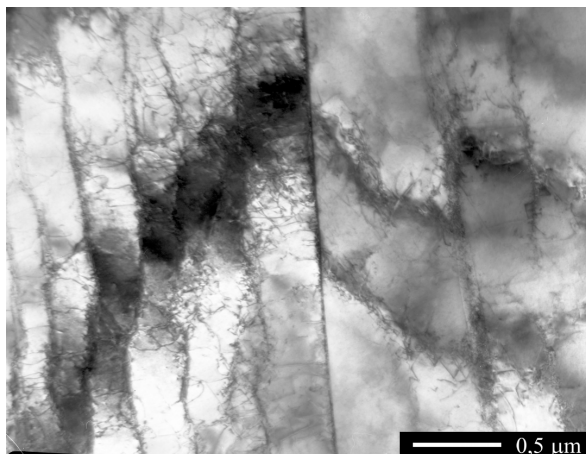


Rys. 4. Przykładowe obrazy zglądu meteorytu Morasko, zarejestrowane następującymi metodami obserwacji; a) jasne pole BF, b) ciemne pole DF, c), d) metoda światła spolaryzowanego POL

odkształcenia o dużej gęstości dyslokacji, rozdzielone granicami dyslokacyjnymi. Pasma te powstały pod wpływem odkształcenia plastycznego na zimno – poniżej temperatury rekrytalizacji (temperatura rekrytalizacji dla czystego żelaza wynosi około 500°C). Podobną morfologię pasm poślizgu zaobserwowano w odkształceniach



Rys. 5. Pomiar mikrotwardości HV 0,01

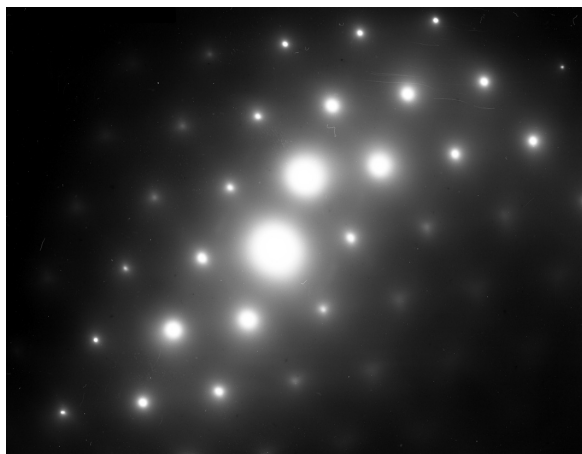


**Rys. 6.** Pasma odkształcenia tworzące subziarnia i granica międzyziarnowa

nych stopach aluminium (badania własne niepublikowane). Dyfrakcja elektronowa (rys. 7) uzyskana ze struktury z rysunku 6, pochodzi od sieci  $A2 Fe_a$ . Rysunek 8a przedstawia silne refleksy od osnowy ferrytycznej i słabe refleksy pochodzące od fosforu  $(Fe, Ni)_3P$  (z rysunku 8b).

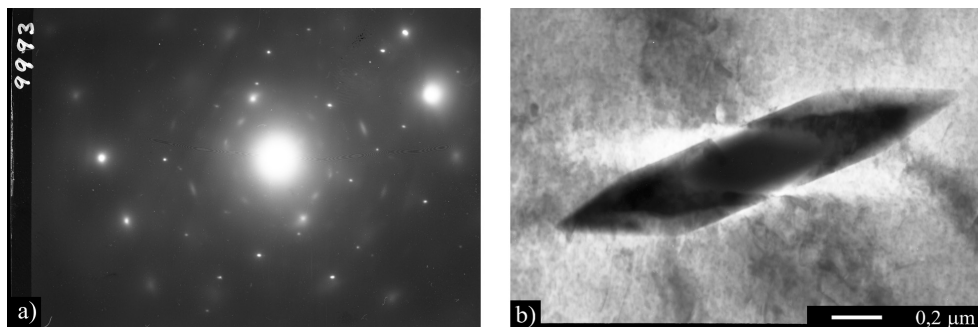
Wszystkie metale odkształcają się plastycznie przez poślizg, nie wszystkie jednak tworzą bliźniaki odkształcenia. Występowanie w materiale pasm poślizgu lub bliźniaków jest niewątpliwym dowodem na to, że zawierający je materiał był odkształcony plastycznie. Proces mechanicznego bliźniakowania w sieci typu  $A2$  pojawia się przy bardzo niskich temperaturach oraz podczas szybkiego (wybuchowego) odkształcenia, tworzące się w tych warunkach morfologie nazywamy liniami Neumanna (*Encyklopedia techniki...* 1978). Rysunek 9 przedstawia przykładowy bliźniak zawierający znaczną gęstość dyslokacji.

Analizę struktury badanego fragmentu meteorytu Morasko wykonano także w skaningowym mikroskopie elektronowym Tescan Vega 5135 z zastosowaniem

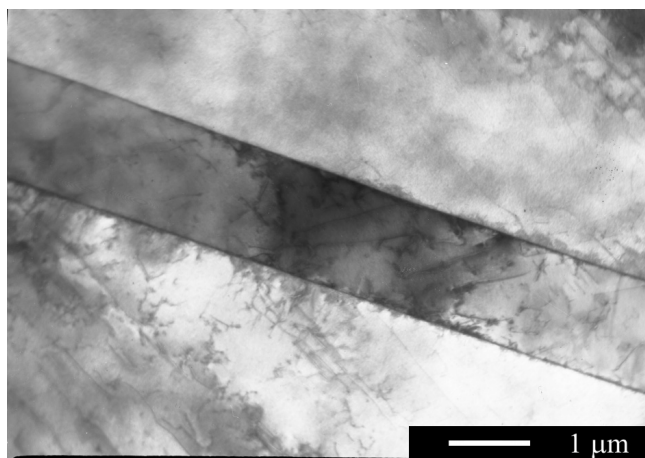


**Rys. 7.** Dyfraktogram z rysunku 6, oś pasa  $[111] Fe_a$





Rys. 8. Dyfraktogram z fosorku żelaza w osnowie ferrytycznej odpowiednio a) i b)

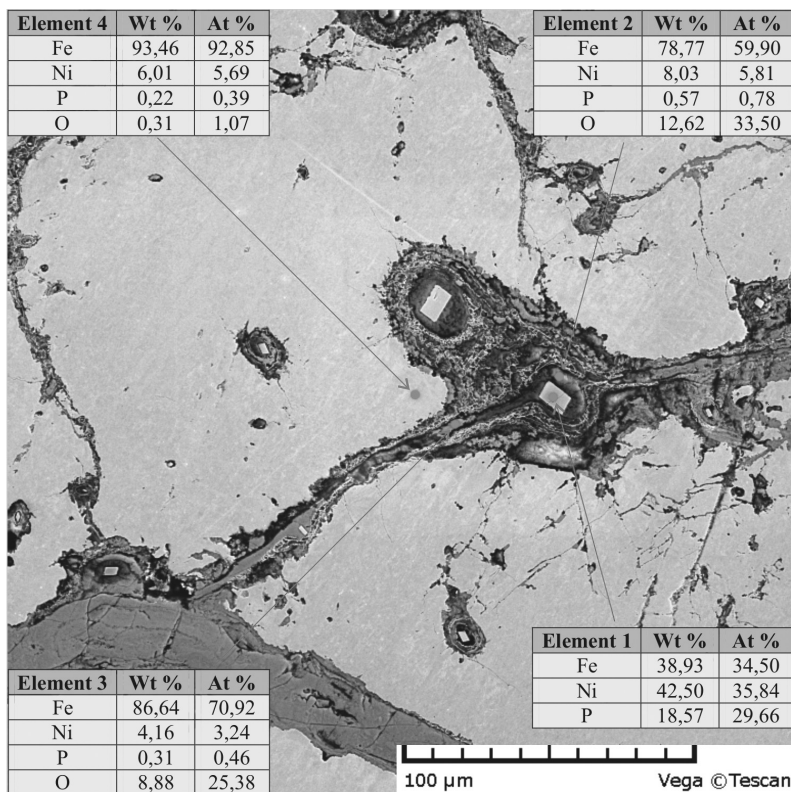


Rys. 9. Bliźniak odkształcenia

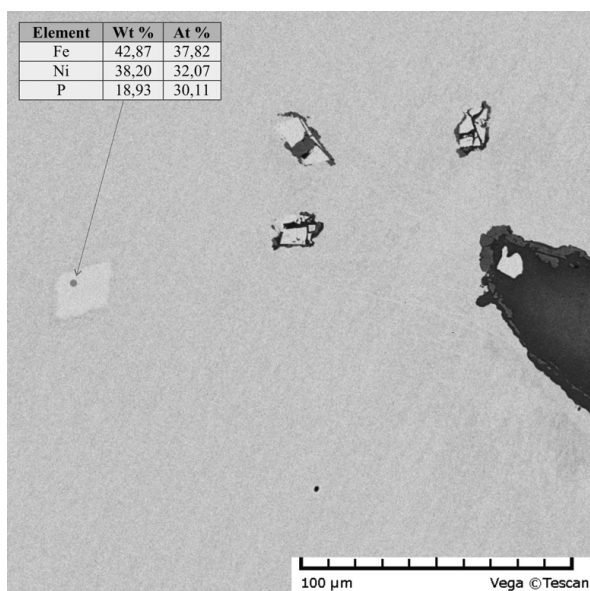
kontrastu BSE – sygnału elektronów odbitych. Zdolność do odbijania elektronów przez atomy pierwiastków zależy w dużym stopniu od liczby atomowej  $Z$  i rośnie z jej wzrostem, co stanowi źródło informacji o chemicznym zróżnicowaniu próbki. Ziarna ciemniejsze zawierają pierwiastki lżejsze, ziarna jaśniejsze pierwiastki o większej liczbie  $Z$ . Wyniki wykonanej energodispersyjnej rentgenowskiej mikroanalizy składu chemicznego EDS, umieszczono odpowiednio przy każdym rysunku.

Charakterystyczny fragment (rys. 10) struktury to jasne obszary roztworu niklu w żelazie a rozdzielone ciemnymi warstwami produktów utleniania – korozji. Analizując fosorki żelaza  $(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{P}$  z rysunku 10 i 11 stwierdzono, że przy podobnej zawartości fosforu na poziomie ok. 19%, proporcja zawartość żelaza i niklu jest zmienna.

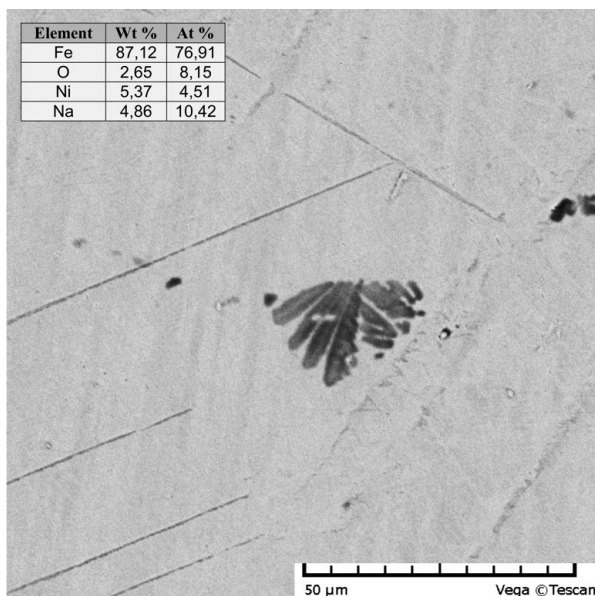
Powiększenie i mikroanalizę nietypowej struktury z rysunku 4d przedstawiono na rysunku (rys. 12). Analiza ilościowa tego elementu wykazała oprócz żelaza, tlenu i niklu zawartość prawie 5% wagowych sodu. Różnice składu chemicznego elementów z rysunku 2 są kolejnym przykładem występujących w meteorycie segregacji chemicznej.



Rys. 10. Charakterystyczny fragment mikrostruktury meteorytu Morasko (BSE) z widocznymi śladami wietrzenia, gdzie pojawiają się tlenki i wodorotlenki żelaza



Rys. 11. Fosforki żelaza (BSE)



Rys. 12. Powiększenie i mikroanaliza wydzielenia z rysunku 4d, (BSE)

Podsumowując, mikrostruktura meteorytu Morasko zawiera morfologie osobliwe i z rzadka spotykane w stopach wytwarzanych przez człowieka. Jako fakty szczególnie interesujące z punktu widzenia metaloznawstwa można więc zaakcentować pojawienie się bliźniaków odkształcenia (rys. 9), co jest zjawiskiem rzadkim dla ziemskiego żelaza  $\alpha$  oraz obecność opisanych powyżej pasm odkształcenia, rozdzielonych granicami dyslokacyjnymi.

### Streszczenie

W niniejszej pracy podjęto próbę scharakteryzowania mikrostruktury meteorytu Morasko z wykorzystaniem: mikroskopii optycznej oraz transmisyjnej i skaningowej mikroskopii elektronowej. Wykonano badania składu chemicznego metodą EDS oraz OES. Stwierdzono występowanie bliźniaków odkształcenia, co jest rzeczą rzadką dla ziemskiego żelaza  $\alpha$ . Osnowę badanego stopu stanowi roztwór niklu w żelazie  $\alpha$  (ok. 7% Ni) o sieci A2. Na powierzchni zglądu metalograficznego widoczne są linie Neumanna oraz duża ilość fosforków żelaza (Fe, Ni)<sub>3</sub>P.

### Literatura

- Stankowski W., 2000. *Budowa geologiczna i morfologia rezerwatu „Meteoryt Morasko”*, Przewodnik LXXI zjazdu PTG, Poznań 2000, s. 394.
- Stankowski W., Muszyński A., 2004. *Rezerwat „Meteoryt Morasko” w aspekcie morfogenetycznym i mineralogicznym*, III Konferencja meteorytowa, Poznań 2004.
- Encyklopedia techniki – Metalurgia*, praca zbiorowa, redaktor główny tomu Janusz Czermiński, wyd. Śląsk, Katowice 1978.