

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **241224**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **433830**

(22) Data zgłoszenia: **08.05.2020**

(51) Int.Cl.

B22D 19/02 (2006.01)

B22D 19/14 (2006.01)

C22C 1/10 (2006.01)

B22D 25/06 (2006.01)

(54) **Sposób strefowego zbrojenia odlewów ze stopów żelaza o podwyższonej odporności
na zużycie abrazyjne**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

15.11.2021 BUP 33/21

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

22.08.2022 WUP 34/22

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL
PAŃSTWOWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA
IM. WITELONA W LEGNICY, Legnica, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

DANIEL MEDYŃSKI, Tymowa, PL
ANDRZEJ JANUS, Wrocław, PL
KRZYSZTOF NAPLOCHA, Wrocław, PL
BARTŁOMIEJ SAMOCIUK, Wrocław, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Tomasz Szelwiga

PL 241224 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób strefowego zbrojenia odlewów ze stopów żelaza o podwyższonej odporności na zużycie abrazyjne. Wytwarzane sposobem według wynalazku odlewy przeznaczone są na elementy narażone na obciążenia dynamiczne.

Zużycie ściernie materiałów, z uwagi na złożoność samego zjawiska oraz z uwagi na istotność znaczenia technologicznego i ekonomicznego, stanowi wciąż temat wielu prac badawczych. Wynika z nich, że nie można opracować uniwersalnego tworzywa gwarantującego uzyskanie wysokiej odporności na ścieranie w każdych warunkach pracy. Istnieje konieczność dostosowywania składu chemicznego, struktury materiału i jego właściwości mechanicznych niemal dla każdego przypadku ścierania. Powyższy temat stanowi przedmiot poniższych prac Uetz H.: *Abrasion und Erosion*. Carl Hanser Verlag, Muenchen-Wien 1986, s. 30–57; Hebda M., Wachal A.: *Trybologia*. WNT Warszawa 1980; Kretschmar E.: *Verschleisspruefungen an Auftragsschweislegierungen*, Neue Huette, 21 (1976); American Society of Lubrication Engineers: *A Catalog of Friction and Wear Devices*. ASLE, Park Ridge (USA) 1976; Habig, K. H.: *Moeglichkeiten der Modellverschleisspruefung*. *Materialpruefung*, 17 (1975), nr 10, s. 358–365; Kniagin G.: *Staliwo*. Metalurgia i odlewnictwo, Wyd. Śląsk, Katowice, 1972.

W opracowaniu Podrzucki Cz.: *Żeliwo*. Struktura właściwości zastosowanie, T2. Wyd. ZG STOP. Kraków 1991, s. 221–280, ustalono, iż odporność na ścieranie abrazyjne jest tym większa, im większa jest twardość materiału, przy czym podwyższenie twardości materiału powoduje przeważnie pogorszenie jego właściwości plastycznych na przykład wydłużenia czy udarność. Wydaje się, że rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie materiałów kompozytowych, łączących cechy zastosowanych w nich komponentów. Jest to szczególnie efektywne wówczas, gdy pewne szczególne cechy materiałowe wymagane są tylko w ściśle określonych miejscach wytwarzanych elementów, np. wysoka twardość narażonych na intensywne ścieranie powierzchni.

W opracowaniach Górny Z., Sobczak J.: *Nowoczesne tworzywa odlewnicze na bazie metali nieżelaznych*. Wyd. ZA-PIS, Kraków 2005; Sobczak J., Sobczak N.: *Infiltracja ciśnieniowa stopami aluminium i magnezu porowatych struktur włóknistych*. *Kompozyty* 1(2001) 2, s. 155–158; Klomp J.: *Fundamentals of Diffusion Bonding*. Wyd. Ishida, Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1987, s. 3–24; Kaczmar J., Janus A., Samsonowicz Z.: *Wpływ parametrów technologicznych na wytwarzanie wybranych części maszyn umacnianych włóknami ceramicznymi*, *Raporty Inst. Technol. Masz. Autom. PWr.* 1997 Ser. SPR nr 5, 10; Kaczmar J., Janus A., Kurzawa A.: *Opracowanie podstaw technologii wytwarzania części maszyn i urządzeń z kompozytów aluminiowych umacnianych strefowo cząstkami ceramicznymi*, *Raporty Inst. Technol. Masz. Autom. PWr.* 2002 Ser. SPR nr 11, ustalono, iż miejscowe umocnienie odlewów stosowane jest przede wszystkim w przypadku stopów metali nieżelaznych (głównie stopów aluminium). Porowate kształtki są najczęściej wykonane z cząstek i włókien SiC oraz Al₂O₃. Ich porowatość jest jednak na tyle mała, że w procesie wytworzenia odlewów muszą być one infiltrowane ciśnieniowo. Jest to więc metoda, której z tego powodu nie można zastosować do produkcji dużych odlewów staliwnych.

W opracowaniach Wróbel P., Szajnar J.: *Powierzchniowe warstwy kompozytowe na odlewach*, *Postępy Teorii i praktyki odlewniczej*, Katowice 2009; Marcinkowska J.: *Trudnościeralne powłoki odlewnicze na staliwie*, *Krzepnięcie Metali i Stopów*, 1986, 6, s. 37–42; Baron Cz., Gawroński J.: *Odporność na zużycie ściernie kompozytów warstwowych na bazie stopów żelaza*, *Kompozyty* 6 (2006) 3, s. 45–49; Gawroński J., Cholewa M., Szajnar J., Wróbel P.: *Composite Alloy Layers on the Steel Cast*. *Engineering and Functional Materials EFM'97*, Lviv, 1997, ujawniono, iż w przypadku stopów żelaza z węglem stosowane są głównie metody powierzchniowego nasycania odlewów pierwiastkami stopowymi lub też, tak jak ma to miejsce w przypadku prac prowadzonych w Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej, tworzenia powierzchniowych warstw kompozytowych technologią bimetalicznych odlewów warstwowych (kompozyty warstwowe). Uzyskiwane tymi metodami grubości warstwy o podwyższonej odporności na zużycie ściernie nie przekraczają jednak kilku milimetrów.

Z polskiego opisu patentowego PL171619 znane jest staliwo stopowe konstrukcyjne, zawierające wagowo 0,23–0,30% węgla, 0,20–0,50% krzemu, maksimum 0,03% fosforu i maksimum 0,03% siarki, 1,20–1,40% manganu, 0,40–0,60% chromu, 0,90–1,20% niklu, 0,15–0,25 molibdenu i 0,05–0,10% wadu, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia.

Z polskiego opisu patentowego PL130771 znane jest staliwo stopowe odporne na ścieranie, które zawiera w procentach wagowych 1,5–3,2% C, 1–2% Si, 2–4% Mn, 2–7% Cr, 0,1–0,2% Ti, 0,5–1,5% Ni, maks. 0,1% S, maks. 0,1% P, reszta Fe.

Z polskiego opisu patentowego PL169148 znane jest staliwo o dużej odporności na ścieranie, przeznaczone na walce hutnicze, w skład którego wchodzi wagowo 0,5–0,7% Mn, maks. 0,05% P, maks. 0,04% S, 0,1–0,3% Mo, 1,2–2,0% C, 1,0–1,8% Si, 0,6–0,9% Cr, 0,6–0,9% Ni, oraz składniki modyfikujące w ilości 0,003–0,006% B i 0,04–0,07% V.

Z polskiego opisu patentowego PL184889 znane jest żeliwo odporne na ścieranie uderowo-abrazyjne, składające się z 1,5–3,0% węgla, 5–20% manganu, 3,0–5,0% tytanu oraz dodatków stopowych w postaci krzemu do 1%, miedzi 0,1–0,5%, a także zanieczyszczeń takich jak siarka do 0,03% i fosfor do 0,5%, reszta żelazo.

W artykule pt. „Locally Reinforcement TiC-Fe Type Produced in Situ in Castings”, autorstwa E. Olejnik, Ł. Szymański, P. Kurtyka, T. Tokarski, W. Maziarz, B. Grabowska, P. Czapla, opublikowanym w Archives of Foundry Engineering, Vol. 16, Issue 3/2016, s. 77–82, opisano metody wytwarzania odlewów kompozytowych in situ, czyli powstawania fazy umacniającej w wyniku reakcji chemicznych zachodzących bezpośrednio podczas procesu metalurgicznego.

W dotychczas stosowanych metodach ex situ stosowane są kształtki wykonane z mikrocząstek połączonych materiałem wiążącym. Infiltracja takich kształtek ciekłym stopem wymusza konieczność stosowania metod odlewania ciśnieniowego a także konieczność stosowania trwałych (metalowych) form odlewniczych, co z kolei wyklucza możliwość stosowania tej metody do wytwarzania odlewów kompozytowych ze stopów trudnotopliwych, między innymi stopów żelaza.

Celem według wynalazku jest nowa metoda wytwarzania odlewów metodą ex situ.

Sposób strefowego zbrojenia odlewów ze stopów żelaza o podwyższonej odporności na zużycie abrazyjne, w którym formę odlewniczą grawitacyjnie zalewa się ciekłym stopem żelaza, **według wynalazku charakteryzuje się tym**, iż przed zalaniem formy w jej strefach, w których wytwarzany odlew ma być odporny na intensywne zużycie abrazyjne, umieszcza się porowate kształtki, zawierające wyłącznie twarde cząstki ceramiczne węglkowe albo tlenkowe o wielkości ziaren 0,5–3,5 mm, które infiltruje się grawitacyjnie podczas zalewania ciekłym stopem żelaza form odlewniczych.

Na potrzeby wynalazku przez twarde cząstki ceramiczne rozumie się cząstki o twardości wynoszącej co najmniej 9 w skali Mohsa, a w kształtkach współczynnik porowatości jest z zakresu od 0,4 do 0,5. Stop żelaza stanowi staliwo albo żeliwo.

Zastosowanie kształtek wykonanych z makrocząstek bez materiałów wiążących, jak w rozwiązaniu według wynalazku, umożliwia wykonanie odlewów kompozytowych metodą grawitacyjną w formach jednorazowych (wykonanych z masy formierskiej), co oznacza możliwość wykonania zbrojonych odlewów kompozytowych ze stopów żelaza.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest możliwość uzyskania umocnienia na głębokości do kilku centymetrów licząc od powierzchni roboczej odlewów. Przykładowo, taki kilkucentymetrowy jest stopień zużycia elementów maszyn pracujących w przemyśle wydobywczym.

Umieszczone w formie odlewniczej porowate kształtki są z twardych cząstek ceramicznych, korzystnie takich jak na przykład Al_2O_3 lub SiC, o wielkości ziaren 0,5–3,5 mm. Zastosowanie powyższych cząstek gwarantuje uzyskanie wymaganej odporności odlewu na zużycie ścierne. Wymiary, ilość i sposób rozmieszczenia kształtek zależą od wielkości i warunków pracy odlewu i muszą spełniać następujące kryteria:

- zapewnić pełną infiltrację kształtek ciekłym metalem podczas grawitacyjnego zalewania formy (odpowiednio wysokie ciśnienie metalostatyczne i odpowiednio długi czas krzepnięcia stopu w obszarach występowania kształtek),
- zwiększyć odporność odlewu na zużycie ścierne przy zachowaniu wysokich właściwościach mechanicznych (odpowiednia proporcja między objętością zinfiltrowanych kształtek a całkowitą objętością odlewów).

Przedmiot wynalazku został objaśniony w oparciu o rysunek, na którym fig. 1 przedstawia schemat sposobu zbrojenia odlewu, fig. 2 – fragment surowego odlewu z widocznymi gwoździemi formierskimi, mocującymi cylindryczne kształtki na przedniej ścianie wnęki formy odlewniczej według pierwszego przykładu wykonania, fig. 3 – fragment powierzchni odlewu prostopadłej do osi kształtki według pierwszego przykładu wykonania, fig. 4 – fragment powierzchni odlewu równoległej do osi kształtki według pierwszego przykładu wykonania, fig. 5 – fragment surowego odlewu z widocznymi gwoździemi formierskimi, do zamocowania cylindrycznych kształtek na przedniej ścianie wnęki formy odlewniczej według drugiego przykładu wykonania, zaś fig. 6 – fragment powierzchni odlewu prostopadłej do osi kształtki według drugiego przykładu wykonania.

Przedmiot wykonany sposobem według wynalazku stanowi odlew ze stopu żelaza 1 o podwyższonej odporności na zużycie abrazyjne, który w obszarach narażonych na intensywne zużycie abrazyjne ma zinfiltrowane grawitacyjnie ciekłym stopem żelaza, z którego jest wykonany, porowate kształtki 2 z twardych cząstek ceramicznych.

Przykład 1

W ścianie formy odlewniczej odwzorowującej przednią część odlewu (czyli obszarze intensywnie ścieranym podczas eksploatacji) umieszczono kilkanaście walcowych kształtek o wymiarach $\phi = 20$ mm oraz $h = 70$ mm. Umieszczane w formie odlewniczej kształtki wykonano z Al_2O_3 (elektrokorundu zwykłego brązowego) o wielkości ziaren $2,0 \div 3,5$ mm, twardości cząstek 9 w skali Mohsa i współczynnika porowatości 0,4. Kształtki zamocowano w ścianie formy odlewniczej w ten sposób, że ich osie były prostopadłe do powierzchni formy odlewniczej. W przedmiotowym przykładzie na ścianie o powierzchni 330 cm^2 rozmieszczono 32 kształtki. Kształtki w formie umieszczono w odstępach od siebie od 10 do 20 mm. Tak przygotowaną formę zalano staliwem Hadfielda – L120G13, wg normy PN-89/H-83160.

Piaskową formę odlewniczą, zabezpieczoną cyrkonowym pokryciem ochronnym, zalewano staliwem o temperaturze 1450°C , przy ciśnieniu metalostatycznym wynoszącym 20 cm. Do doprowadzania ciekłego staliwa zastosowano egzotermiczno-izolacyjne otuliny w kształcie cylindrycznym oraz ceramiczne filtry piankowe na bazie grafitu. Czas zalewania formy odlewniczej wynosił 12 s.

Powyższe panujące w formie ciśnienie metalostatyczne oraz czas zalewania i krzepnięcia stopu w obszarze kształtek pozwoliły na ich pełną infiltrację. Uzyskana całkowita infiltracja kształtki staliwem i ciągłość struktury odlewu na granicy tej kształtki została przedstawiona na fig. 3, 4.

Sposobem według wynalazku wytworzono odlew, który posiadał następujące właściwości mechaniczne:

$$R_m = 900 \div 1100 \text{ MPa},$$

$$R_e = 350 \div 450 \text{ MPa},$$

$$A = 20\%,$$

$$Z = 60\%,$$

$$HBW = 170 \div 240,$$

$$KU = 20 \div 25 \text{ J/cm}^2.$$

Badania odporności na zużycie abrazyjne, przeprowadzone przy zastosowaniu testera T-07, wykazały, że zużycie ściernie w obszarach zbrojonych cząstkami było o około 70% mniejsze niż obszarów niezbrojonych.

Przykład 2

W przykładzie wykonania drugim formę odlewniczą przygotowano w ten sam sposób co w przykładzie pierwszym, po czym zalano ją staliwem L35GSM. Formę odlewniczą zalewano ciekłym staliwem o temperaturze 1580°C , przy ciśnieniu metalostatycznym wynoszącym 22 cm. Czas zalewania formy wynosił około 12 s. W tym przypadku także zastosowano egzotermiczno-izolacyjne otuliny w kształcie cylindrycznym oraz ceramiczne filtry piankowe na bazie grafitu.

Również w tym przypadku panujące w formie ciśnienie metalostatyczne oraz czas zalewania i krzepnięcia stopu w obszarze kształtek pozwoliły na ich pełną infiltrację. Potwierdza to zdjęcie zamieszczone na fig. 6, przedstawiające fragment powierzchni odlewu prostopadłej do osi kształtki.

Odlew ze staliwa stopowego L35GSM (wg normy PN-89/H-83160) po ulepszeniu cieplnym odznaczał się następującymi właściwościami mechanicznymi:

$$R_m = 1100 \text{ MPa},$$

$$R_e = 850 \text{ MPa},$$

$$A = 8\%,$$

$$Z = 18\%,$$

$$HBW = 300,$$

$$KU = 50 \text{ J/cm}^2.$$

Badania odporności na zużycie abrazyjne, przeprowadzone przy zastosowaniu testera T-07, wykazały, że zużycie ściernie w obszarach zbrojonych cząstkami, także w tym przypadku, było o około 70% mniejsze w porównaniu z obszarami niezbrojonymi.

Przykład 3

W przykładzie wykonania trzecim formę odlewniczą przygotowano w analogiczny sposób co w przykładach poprzednich. W tym przypadku kształtki, które zamocowano w formie odlewniczej wykonano z SiC (węglika krzemu) o wielkości ziaren $0,5\div 2,0$ mm, twardości cząstek wynoszącej 9,5 w skali Mohsa i współczynnika porowatości 0,5. Tak przygotowaną formę odlewniczą zalano ciekłym staliwem L120G13 o temperaturze 1450°C , przy ciśnieniu metalostatycznym wynoszącym 21 cm. Czas zalewania formy wynosił 12 s. W tym przypadku także zastosowano egzotermiczno-izolacyjne otuliny w kształcie cylindrycznym oraz ceramiczne filtry piankowe na bazie grafitu.

Również w tym przypadku panujące w formie ciśnienie metalostatyczne oraz czas zalewania i krzepnięcia stopu w obszarze kształtek pozwoliły na ich pełną infiltrację.

Sposobem według wynalazku wytworzono odlew ze staliwa L120G13 (wg normy PN-89/H-83160), który posiadał następujące właściwości mechaniczne:

$$R_m = 900\div 1100 \text{ MPa},$$

$$R_e = 350\div 450 \text{ MPa},$$

$$A = 18\%,$$

$$Z = 60\%,$$

$$\text{HBW} = 170\div 240,$$

$$\text{KU} = 20\div 25 \text{ J/cm}^2.$$

Badania odporności na zużycie abrazyjne, przeprowadzone przy zastosowaniu testera T-07, wykazały, że zużycie ściernie w obszarach zbrojonych cząstkami było o około 70% mniejsze niż obszarów niezbrojonych.

Przykład 4

W przykładzie wykonania czwartym formę odlewniczą przygotowano w analogiczny sposób co w przykładach poprzednich. Podobnie jak w przykładzie trzecim, kształtki wykonano z SiC (węglika krzemu) o wielkości ziaren $1,5\div 2,5$ mm, twardości cząstek wynoszącej 9,5 w skali Mohsa i współczynnika porowatości pomiędzy 0,4 a 0,5. Tak przygotowaną formę odlewniczą zalano ciekłym żeliwem PN-EN-GJS-500-7 o temperaturze 1360°C , przy ciśnieniu metalostatycznym wynoszącym 21 cm. Czas zalewania formy wynosił 12 s. W tym przypadku także zastosowano egzotermiczno-izolacyjne otuliny w kształcie cylindrycznym oraz ceramiczne filtry piankowe na bazie grafitu.

Panujące w formie odlewniczej ciśnienie metalostatyczne oraz czas zalewania i krzepnięcia stopu w obszarze kształtek pozwoliły na ich pełną infiltrację.

Sposobem według wynalazku wytworzono odlew z żeliwa PN-EN-GJS-500-7 (wg normy PN-EN 1563), który posiadał następujące właściwości mechaniczne:

$$R_m = 500 \text{ MPa},$$

$$R_e = 320 \text{ MPa},$$

$$A = 7\%,$$

$$\text{HBW} = 170\div 230,$$

$$\text{KU} = 50 \text{ J/cm}^2.$$

Badania odporności na zużycie abrazyjne, przeprowadzone przy zastosowaniu testera T-07 wykazały, że zużycie ściernie w obszarach zbrojonych cząstkami było o około 70% mniejsze niż obszarów niezbrojonych.

Przykład 5

W przykładzie wykonania piątym formę odlewniczą przygotowano w analogiczny sposób jak w przykładach poprzednich. Kształtki umocowane w formie odlewniczej wykonano z Al_2O_3 (elektrokorundu zwykłego brązowego) o wielkości ziaren $2,5\div 3,5$ mm, twardości cząstek wynoszącej 9 w skali

Mohsa i współczynnika porowatości 0,4. Formę odlewniczą zalano ciekłym żeliwem PN-EN-GJS-500-7 o temperaturze 1360°C, przy ciśnieniu metalostatycznym wynoszącym 21 cm. Czas zalewania formy wynosił 12 s. W tym przypadku również zastosowano egzotermiczno-izolacyjne otuliny w kształcie cylindrycznym oraz ceramiczne filtry piankowe na bazie grafitu.

Panujące w formie odlewniczej ciśnienie metalostatyczne oraz czas zalewania i krzepnięcia stopu w obszarze kształtek pozwoliły na ich pełną infiltrację.

Sposobem według wynalazku wytworzono odlew z żeliwa PN-EN-GJS-500-7 (wg normy PN-EN 1563), który posiadał następujące właściwości mechaniczne:

$$R_m = 500 \text{ MPa},$$

$$R_e = 320 \text{ MPa},$$

$$A = 7,5\%,$$

$$HBW = 170 \div 230,$$

$$KU = 45 \text{ J/cm}^2.$$

Badania odporności na zużycie abrazyjne, przeprowadzone przy zastosowaniu testera T-07, wykazały, że zużycie ściernie w obszarach zbrojonych cząstkami było o około 70% mniejsze niż obszarów niezbrojonych.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób strefowego zbrojenia odlewów ze stopów żelaza o podwyższonej odporności na zużycie abrazyjne, w którym formę odlewniczą grawitacyjnie zalewa się ciekłym stopem żelaza, **znamienny tym**, że przed zalaniem formy w jej strefach, w których wytwarzany odlew ma być odporny na intensywne zużycie abrazyjne, umieszcza się porowate kształtki, zawierające wyłącznie twarde cząstki ceramiczne węglikowe albo tlenkowe o wielkości ziaren 0,5÷3,5 mm, które infiltruje się grawitacyjnie podczas zalewania ciekłym stopem żelaza form odlewniczych.

Rysunki

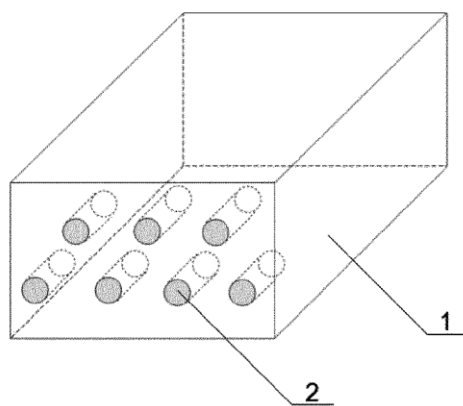


Fig. 1



Fig. 2

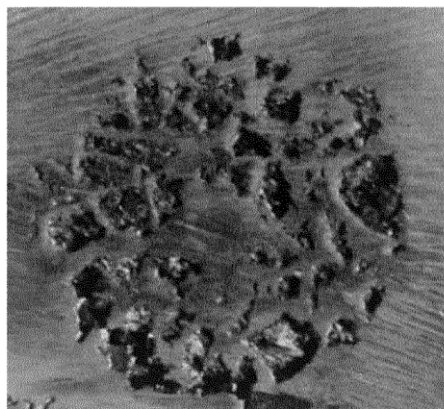


Fig. 3

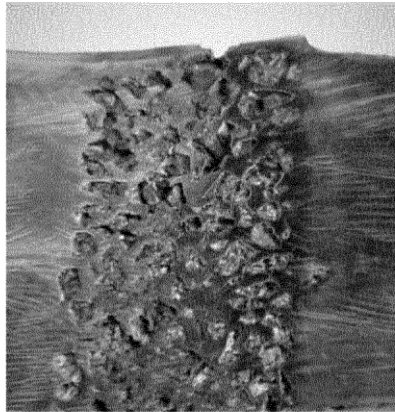


Fig. 4



Fig. 5

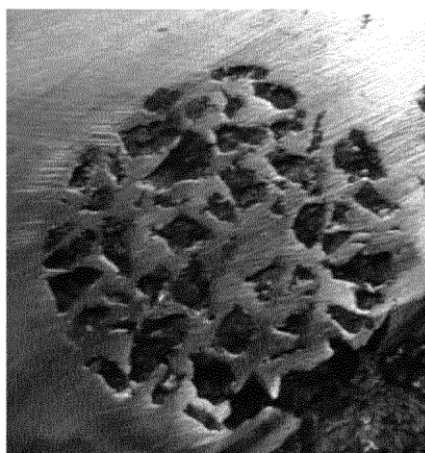


Fig. 6