

Jacek SIEMIĄTKOWSKI

Automorficzne wzrostki tytanonośnych magnetytów w piroksenach skał masywu suwalskiego

W piroksenach norytów masywu suwalskiego (O. Juskowiak, 1965) stwierdzono wzrostki magnetytów o bardzo ciekawych strukturach odmieszania roztworów stałych. Pirokseny o rozmiarach rzędu 2—3 mm zawierają automorficzne kryształy tytanonośnych magnetytów. Obserwowane pod mikroskopem przekroje kryształów mają średnice od 36 μ do 560 μ , tak więc rozmiary tych wzrostków pozwalają tylko na badania mikroskopowe w świetle odbitym. Najczęściej kryształy ograniczone są ścianami (111) i (110), a zatem są to ośmiościany i dwunastościany rombów lub ich kombinacje (fig. 1 i 2). Postacie te są najbardziej typowe dla magnetytu (A. Bolewski, 1965; P. Ramdohr, 1950; A. N. Winchell i H. Winchell, 1951).

Omawiane kryształy stanowiły pierwotnie jednorodny roztwór stały, a w czasie zmieniających się warunków uległy rozpadowi. Rozpad ten nie był procesem jednofazowym, lecz dał początek całemu szeregowi ewolucyjnemu — od jednofazowego tytanomagnetytu przez wielofazowe kryształy ze strukturami odmieszania do pseudomorfoz po pierwotnym tytanomagnetycie, składających się ze zrostów jednofazowych kryształów magnetytu, ilmenitu i spinelu.

Pierwszym stadium rozpadu pierwotnie jednorodnych kryształów tytanomagnetytu jest bardzo drobna siatka o oczkach rzędu 1—2 μ . Siatka ta daje na przekrojach równoległych do ścian (100) magnetytu dwa systemy cienkich lametek, prostopadłych do siebie i nieco grubsze lamelki, odzwierciedlające płytkowe wykształcenie tych odmieszkań (fig. 1, 2 i 3). Na przekrojach zbliżonych do ścian (111) magnetytu siatka ta daje trzy systemy lametek jednokowej grubości, ułożonych w stosunku do siebie pod kątem 60° (fig. 4, 5 i 6).

Współwystępujące z opisaną powyżej siatką i podobnie zorientowane krystalograficznie w stosunku do magnetytu są soczewki minerału przezroczystego, a mianowicie spinelu z szeregu hercynit — pleonast (fig. 2, 3 i 6). Długość tych soczewek jest rzędu od kilku do kilkunastu mikronów. Podobnie prawidłowo zorientowane przerosty spinelów w magnetycie były opisywane przez wielu autorów (C. A. Kaszin, 1948; P. Ramdohr, 1926;

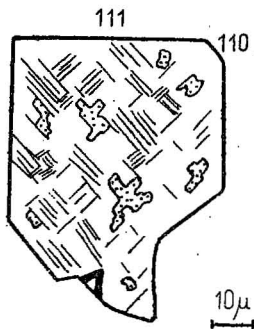


Fig. 1

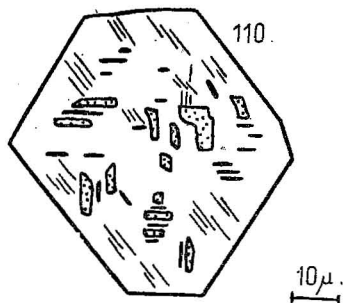


Fig. 2

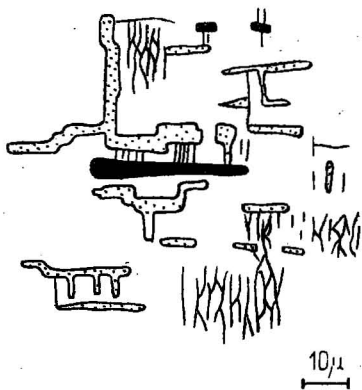


Fig. 3

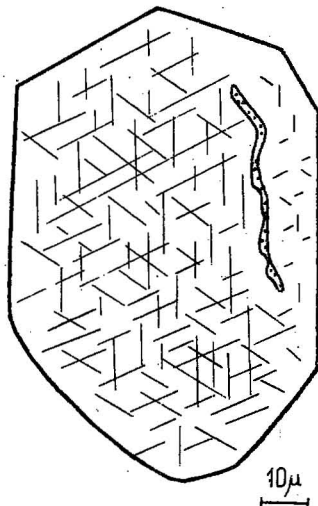


Fig. 4



Fig. 5

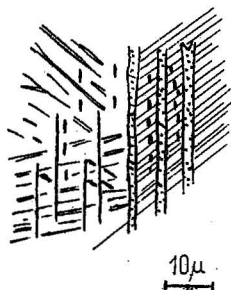


Fig. 6

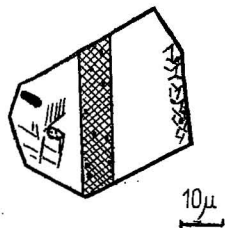


Fig. 7

S. Hjelmqviste, 1950; W. T. Fominych, B. A. Junikow, 1961), a także przytaczane w podręcznikach jako bardzo typowe (P. Ramdohr, 1950). Badając automorficzne kryształy magnetytu, zawierające takie właśnie przerosty O. M. Rimskaia-Korsakowa (1950) udowodniła, że są one zorientowane równoległe do płaszczyzn (100) magnetytu. Zgodne jest to zresztą z rozważaniami teoretycznymi, ponieważ oba te minerały mają podobną regularną strukturę sieci krystalicznej typu spinelowego.

Ustalenie natury siatki ułożonej zgodnie z płaszczyznami (100) magnetytu, a więc równoległe do soczewek spinelowych z szeregu hercynit — pleonast, ma dość długą historię powiązaną z wyjaśnieniem pochodzenia przerostów ilmenitowych w magnetycie. Zagadnieniem tym zajął się w roku 1926 Goldschmidt, przy okazji ustalenia komórek elementarnych magnetytu, twierdząc (*vide* P. Ramdohr, 1953), że tytan może wchodzić do sieci magnetytu. Ramdohr w 1939 r. pierwszy zaobserwował takie przerosty w naturze, natomiast F. Mogensen (1946) dostarczył dowodów, które wykluczają występowanie ilmenitu. Wykonał on mianowicie analizy chemiczne tytanonośnych magnetytów ze złoża na wyspie Ulvö w Szwecji,

- Fig. 1. Struktura odmieszkań ulvöspinelu w magnetycie. Przekrój (100) ośmiościanu, pow. 550 X
Exsolution texture of ulvöspinel in magnetite. Section (100) of octahedron, enl. X 550
- Fig. 2. Struktura odmieszkań ulvöspinelu i spinelu w magnetycie. Przekrój (100) dwunastościanu rombowego, pow. 550 X
Exsolution texture of ulvöspinel in magnetite. Section (100) of rhombic dodecahedron. Enl. X 550
- Fig. 3. Struktura odmieszkań ulvöspinelu i spinelu w magnetycie. Przekrój (100), pow. 550 X
Exsolution texture of ulvöspinel in magnetite. Section (100). Enl. X 550
- Fig. 4. Schemat struktury odmieszkań ulvöspinelu w magnetycie. Przekrój (111) dwunastościanu rombowego, pow. 550 X
Scheme of exsolution texture of ulvöspinel in magnetite. Section (111) of rhombic dodecahedron. Enl. X 550
- Fig. 5. Struktura odmieszkań ulvöspinelu w magnetycie. Przekrój (111), pow. 550 X
Exsolution texture of ulvöspinel in magnetite. Section (111). Enl. X 550
- Fig. 6. Struktura odmieszkań ulvöspinelu i spinelu w magnetycie. Przekrój (111), pow. 550 X
Exsolution texture of ulvöspinel and of spinel in magnetite. Section (111) Enl. X 550
- Fig. 7 i 8. Lamelka ilmenitowa w magnetycie powstająca kosztem siatki ulvöspinelowej, pow. 550 X
Ilmenite lamella in magnetite, formed at the cost of ulvöspinel lattice. Enl. X 550

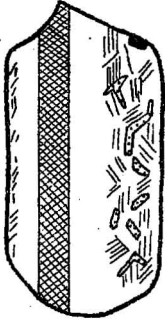


Fig.8

10 μ

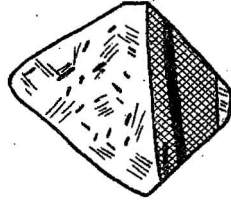


Fig.9

25 μ

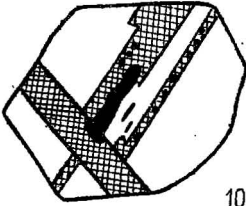


Fig.10

10 μ

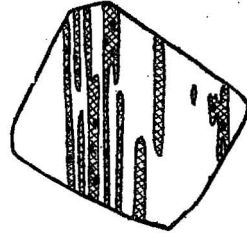


Fig.11

10 μ

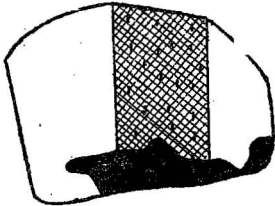


Fig.12

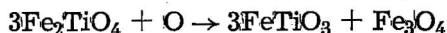
10 μ



Fig.13

10 μ

które — po przeliczeniu na magnetyt i ilmenit — wykazały duży nadmiar FeO. Analizy rentgenowskie nie wykazały obecności FeO ani FeTiO_3 . Stwierdzono natomiast istnienie dwóch faz spinelowych: o krawędziach komórek elementarnych $a = 8,40 \text{ \AA}$ — odpowiadającą magnetytowi Fe_3O_4 i $a = 8,47 \text{ \AA}$ — odpowiadającą sztucznie otrzymanemu ferro-orto-tytanatowi Fe_2TiO_4 . W 1953 r. P. Ramdohr nazwał te przerosty ulvöspinelem, przyjmując jedną z sugestii F. Mogensena (1943), podając przykłady występowania ich z 17 miejsc na świecie. Dalsze prace nad naturalnymi tytanomagnetytami i magnetytami posiadającymi podobne przerosty oraz badania sztucznie otrzymywanych roztworów stałych pozwoliły na stwierdzenie, że siatka tak wykształcona powstaje wskutek odmieszania ulvöspinelu Fe_2TiO_4 z sieci krystalicznej tytanomagnetytu — czyli roztworu stałego szeregu $\text{FeFe}_2\text{O}_4 - \text{Fe}_2\text{TiO}_4$ (E. Z. Basta, 1960; E. A. Vincent, 1960). Stwierdzono też, że odmieszany ulvöspinel jest nietrwały i łatwo ulega utlenieniu do ilmenitu:



Odbiciem tych procesów w opisywanych wrostkach magnetytu jest druga faza rozwoju tytanonośnego magnetytu (fig. 7, 8, 9).

Trzecia faza rozwoju tych kryształów prowadzi do porządkowania nowo powstałych faz. Drobne lamelki ilmenitowe skupiają się w jedną lub kilka grubszych (fig. 10, 11). Na granicach tych lametek z magnetytem powstają, kosztem drobnych soczewek dotychczas rozsianych po całym kryształ magnetytu, większe spinele z szeregu hercynit — pleonast (fig. 9 i 10). Proces ten może doprowadzić do całkowitego rozdzielenia tych trzech faz i zaniku wzajemnych przerostów. Powstaną wtedy pseudomorfozy po tytanomagnetycie złożone z magnetytu, ilmenitu i spinelu (fig. 12). O przebiegu tego procesu może więc świadczyć brak samodzielnych kryształów ilmenitu, tkwiących w piroksenach równorzędnie z magnetytami. Wszystkie ilmenity wewnątrz piroksenów są ściśle związane

Fig. 9. Magnetyt z relikdami siatki ulvöspinelowej i soczewkami spineli oraz dobrze wykształconą lamelką ilmenitową z lamelką spinelową, pow. 200 ×

Magnetite with relicts of ulvöspinel lattice and with spinel lenses, well developed ilmenite lamella and spinel lamella. Enl. × 200

Fig. 10 i 11. Magnetyt z lamelkami ilmenitowymi i soczewkami spineli, pow. 550 ×

Magnetite with ilmenite lamellae and with spinel lenses. Enl. × 550

Fig. 12. Zrosty magnetytu, ilmenitu i spinelu po kryształach tytanomagnetytu, pow. 550 ×

Magnetite, ilmenite and spinel aggregates after titanomagnetite crystal. Enl. × 550

Fig. 13. Druga generacja odmieszania ulvöspinelowych i spinelowych w uporządkowanej pseudomorfozie po tytanomagnetycie, pow. 550 ×

Second generation of ulvöspinel and spinel exsolution in an arranged pseudomorph after titanomagnetite. Enl. × 550

z pseudomorfozami po tytanomagnetytach, powstały więc na skutek ilmenityzacji ulvöspinelu.

Czwartą i ostatnią fazą tego szeregu ewolucyjnego, świadcząca że magnetyt może zawierać jeszcze w swej sieci krystalicznej drobne ilości Ti, Mg i Al, jest nadzwyczaj drobna siatka ulvöspinelowa i soczewki spineli (fig. 13). Przypominają one opisane wyżej produkty z pierwszej fazy rozwoju tytanonośnych magnetytów. Drobna siatka ulvöspinelowa występuje jednak razem z uporządkowanym już ilmenitem i spinelem, przy czym pierwszy powstał kosztem utlenienia ulvöspinelu, a drugi z porządkowania drobnych soczewek spinelowych. Te drobne produkty są więc już drugą generacją odmieszkań zachodzącą w opisywanych kryształach.

Struktury tej drugiej generacji znamionują początkowe etapy ilmenityzacji ulvöspinelu i porządkowania drobnych soczewek spinelowych; że są to procesy początkowe, może świadczyć wypełnienie całego kryształu magnetytu przez tę siatkę, nawet w pobliżu ilmenitu. W innym przypadku obraz byłby podobny do struktur opisywanych w fazie drugiej tego szeregu ewolucyjnego (porównaj fig. 7, 8 i 9). Faza czwarta jest dowodem na dość specyficzne warunki fizykochemiczne panujące wewnątrz piroksenów, odmiennych od warunków w innych minerałach. Drobne wrostki tytanonośnych magnetytów, np. w plagioklazach wykazują tylko trzy końcowe produkty, bez etapów pośrednich, a mianowicie magnetyt, ilmenit i spinel. Na przykładzie wrostków znajdujących się w plagioklazach nie można prześledzić poszczególnych faz opisanych wyżej procesów.

Historię rozwoju tytanonośnych magnetytów tkwiących jako drobne wrostki w piroksenach norytów masywu suwalskiego można przedstawić następująco:

W trakcie krystalizacji magmy pirokseny zamykały w sobie automorficzne kryształy tytanomagnetytu z dość znaczną domieszką Mg i Al. Po obniżeniu temperatury tolerancja sieci krystalicznej tytanomagnetytu malała, co powodowało odmieszanie się soczewek spinelowych i siatki ulvöspinelowej zgodnie z płaszczyznami (100) magnetytu. Następnie zmiana warunków utleniających doprowadziła do ilmenityzacji ulvöspinelu i powstania zgodnie z płaszczyznami (111) magnetytu licznych lametek ilmenitowych, które po pewnym czasie mogły skupiać się w jeden kryształ. Podobny proces przegrupowywania dotknął drobne soczewki spineli, które również skupiły się w szersze lamelki na granicy magnetytu i ilmenitu. Dalsze obniżanie temperatury powoduje wydzielenie się z sieci krystalicznej magnetytu następnej generacji odmieszkań w postaci siatki ulvöspinelowej i drobnych soczewek spinelowych z szeregu hercynit — pleonast. Ta druga generacja wykazuje cechy pierwszego stadium procesów, które zapoczątkowały opisany wyżej szereg rozwojowy tytanonośnego magnetytu.

PIŚMIENICTWO

- BASTA E. Z. (1960) — Natural and synthetic titanomagnetites. *N. Jb. Miner.*, 94, part. III, p. 1017—1048.
- BOLEWSKI A. (1965) — *Mineralogia szczegółowa*. Warszawa.
- HJELMQVISTE S. (1950) — The titaniferous iron-ore deposit of Taberg in the South of Sweden. *Sver. Geol. Undersök.*, 43, Ser. C, no 512, p. 1—55.
- JUSKOWIAK O. (1965) — Charakterystyka petrograficzna skał norytowo-anortozytowych masywu suwałskiego. *Kwart. geol.*, 9, p. 398—399, nr 2.
- MOGENSEN F. (1943) — Ett nytt Svenskt järnmalmomineral. *Blad för Bergshandterings Vänner*, Stockholm, 26, p. 128—135 (*Min. Abstr.* 10), nr 1, p. 5—6.)
- MOGENSEN F. (1946) — A ferro-ortho-titanate ore from Södra Ulvön. *Geol. Fören. Stockholm Förh.*, 68, p. 507—588, nr 4.
- RAMDOHR P. (1926) — Beobachtungen an Magnetit, Ilmenit, Eisenglanz und Ueberlegungen über das System FeO , Fe_2O_3 , TiO_2 . *N. Jb. Miner. Geol. Paläont.*, 54, [A], p. 320—379.
- RAMDOHR P. (1950) — Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Berlin.
- RAMDOHR P. (1953) — Ulvöspinel and its significance in titaniferous iron ores. *Econ. Geol.*, 48, p. 677—688, nr 8.
- VINCENT E. A. (1960) — Ulvöspinel in the Skaergaard intrusion, Greenland. *N. Jb. Miner.*, 94, part. II, p. 993—1016.
- WINCHELL A. N., WINCHELL H. (1951) — *Optical mineralogy*. New York.
- КАШИН С. А. (1948) — Медно-титаномагнетитовое оруденение в основных интрузивных породах Урала. *Тр. Инст. Геол. Наук АН СССР*, 91, стр. 1—132, № 9.
- РИМСКАЯ-КОРСАКОВА О. М. (1950) — К вопросу о закономерных сростаниях шпинели с магнетитом. *Зап. Всес. Мин. Общ.*, 79, стр. 178—190, вып. 3.
- ФОМИНЫХ В. Т., ЮНИКОВ Б. А. (1961) — Шпинель в титаномагнетитовых месторождениях Урала. *Зап. Всес. Мин. Общ.*, 90, стр. 717—720, вып. 6.

Яцек СЕМЕНТКОВСКИ

ИДИОМОРФНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ТИТАНОНОСНЫХ МАГНЕТИТОВ В ПИРОКСЕНАХ ПОРОД СУВАЛЬСКОГО МАССИВА

Резюме

В пироксенах норитов Сувальского массива имеются включения титаноносных магнетитов с очень интересной структурой распада твердых растворов. Величина этих идиоморфных включений колеблется от 36μ до 560μ и они находятся в пироксенах величиной 2—3 мм. На основании микроскопических наблюдений этих структур можно следующим образом представить историю развития этих включений. Во время кристаллизации магмы пироксены включали в себя идиоморфные кристаллы титаномагнетита с достаточно значительной примесью Mg и Al. После снижения температуры допуск кристаллической решетки титаномагнетита уменьшался, что приводило к выделению шпинелевых линз (герцинит — плеонаст) и ульвешпинелевой сетки, согласно с плоскостями (100) магнетита. Затем, изме-

нение условий окисления привело к ильменитизации ульвешпиннела и образованию, согласно с плоскостями (111) магнетита, многочисленных ильменитовых пластинок, которые через определенное время могли соединяться в один кристалл. Подобному процессу перегруппировки подверглись мелкие линзы шпинели, которые собирались на границе магнетита и ильменита, образуя пластинки. Дальнейшее снижение температуры приводит к выпадению из кристаллической решетки магнетита очередной генерации включений в виде ульвешпиннелевой решетки и мелких шпинелевых линз ряда герцинит — плеонаст. Вторая генерация проявляет свойства первой стадии процессов, с которых начинался описанный выше процесс развития титаносного магнетита.

Jacek SIEMIĄTKOWSKI

AUTOMORPHIC INTERGROWTHS OF TITANIFEROUS MAGNETITES IN PYROXENES OF THE SUWAŁKI ROCK MASSIF

Summary

Intergrowths of titaniferous magnetites, characterized by highly interesting exsolution structures of solid solutions are found to occur in pyroxenes of norites within the Suwałki massif. The size of these automorphic intergrowths ranges from 36 μ to 560 μ . They stick in the pyroxenes, 2—3 mm in diameter. The microscope examinations of these structures allow us to present the development of the intergrowths as follows. During the crystallization of magma the pyroxenes included the automorphic crystals of titanomagnetite, with a considerable admixture of Mg and Al. With a decrease in temperature the tolerance of crystal lattice of titanomagnetite decreased, too, this leading to a differentiation in spinel lenses (hercynite-pleonaste) and in ulvöspinel lattice, according to magnetite faces (100). Successively, the change in oxidizing conditions led also to the ilmenitization of ulvöspinel and to the formation, according to magnetite faces (111), of various ilmenite lamellae, which may have later concentrated into one crystal. A similar process of rearrangement concerned the fine spinel lenses, which grouped, at the magnetite-ilmenite contact, in the form of lamellae. The further decrease in temperature was responsible for a fact that the next generations of differentiations in the form of ulvöspinel lattice, and the fine spinel lenses of the hercynite-pleonaste series were segregated from the magnetite crystal lattice. This second generation shows the features of the first stage of the processes which have initiated the series of titanium-bearing magnetite, described above.