# A. CECCHINI, M. FRANZINI (\*), M. TROYSI (\*)

# LA MICRODUREZZA DELLA MAGNETITE

Riassunto — Si riportano i valori di microdurezza Vickers e Knoop misurati con carichi diversi su 6 campioni di magnetite. L'analisi dei dati evidenzia che per la magnetite la microdurezza estrapolata Vickers è maggiore della microdurezza estrapolata Knoop; entrambe risultano indipendenti dalla forma esaminata.

I valori osservati appaiono prossimi ai valori più bassi riportati in letteratura, tipici di magnetiti a basso contenuto di  ${\rm TiO_2}$  e MgO, come sono quelle da noi esaminate.

**Abstract** — *Magnetite microhardness*. Knoop and Vickers micro-indentation hardness numbers, measured on 6 magnetite specimens at different loads, are reported.

Data analysis shows that for magnetite the Vickers extrapolated microhardness values are greater than the corresponding Knoop values; both of them appear to be independent from the forms on which the measures were performed. The observed values are close to the lowest values reported in literature, which are typical of low  $TiO_2$  - low MgO magnetites. This is in good agreement with the chemical composition of magnetite samples examined in the present work.

Key words — Magnetite, Vickers microhardness, Knoop microhardness.

## PREMESSA

Nell'ambito delle ricerche sulla microdurezza dei minerali condotte nel Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa sono stati misurati i valori di microdurezza Vickers e Knoop su vari campioni di magnetite di diversa provenienza. Le caratteristiche di tali campioni, scelti fra i minerali delle collezioni del Museo di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Pisa, sono riportate in Tab. 1.

#### DATI SPERIMENTALI

I valori di microdurezza sono stati ottenuti mediante punte Vic-

<sup>(\*)</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa.

Campione N. collezione		Località o zona di provenienza	Caratteristiche macroscopiche		
1	1039	Traversella	Cristallo ad abito rombododecaedrico, avente diametro massimo di circa 2 cm.		
2	2973 Kadnikswa (Urali)		Cristallo ad abito ottaedrico, avente d metro massimo di circa 1.5 cm.		
3	1053	Stati Uniti	Cristallo ad abito ottaedrico, avente dia- metro massimo di circa 1.5 cm.		
4	1040	Traversella	Cristallo ad abito ottaedrico, avente dia- metro massimo di circa 1.5 cm.		
5	1047	Grüner	Cristallo ad abito ottaedrico, avente diametro massimo di circa 0.8 cm.		
6	1361	Tirolo	Cristallo ad abito ottaedrico, avente diametro massimo di circa 1.5 cm.		

TAB. 1 - Caratteristiche dei campioni di magnetite utilizzati.

kers (V 1680) e punte Knoop (K 3939 III), montate su apparecchio Durimet Leitz, seguendo le metodologie illustrate da Franzini *et al.*, (1981). Le impronte sono state eseguite su facce di rombododecaedro e di ottaedro, secondo le orientazioni riportate in Tab. 2, dove

TAB.	2	-	Orientazione	delle	impronte.	
------	---	---	--------------	-------	-----------	--

Forma	Orientazione						
	a	b	С				
{110}	[11]	45° da [111]	90° da [111]				
{111}	[112]	45° da [112]	90° da [112]				

queste ultime vengono espresse come orientazioni della diagonale dell'impronta (per la Knoop ci si riferisce alla diagonale maggiore) rispetto ad una direzione cristallografica.

Le impronte Vickers risultano in tutti i campioni perfettamente quadrate, anche se gli elementi di simmetria operanti sulle facce di ottaedro non lo impongono; è stato preso in considerazione, di conseguenza, il valore medio delle due diagonali.

Per ogni orientazione sono state effettuate misurazioni su almeno quattro impronte Vickers e Knoop, per ciascun peso: i pesi utilizzati sono stati quelli di 15, 25, 50, 100, 200, 300 e 500 g. Perciò per ogni orientazione sono state eseguite almeno 56 impronte. La media dei valori ottenuti per ciascun peso è stata utilizzata per il calcolo della microdurezza estrapolata.

# Analisi chimiche

Ciascun campione è stato analizzato mediante SEM Philips 515 (PW6703).

I risultati ottenuti, arrotondati alla prima cifra decimale, sono riportati nella tabella n. 3.

0010 1	comp	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	•							
Campione	Mg	Si	Ca	Cr	Al	P	Mn	Ti	Zn	Ni	S
1	1.5	0.5	0.5	0.6	_	_	_	_	_	A <del></del>	_
2	2.0	0.5	0.9	_	1.0	0.9	2.5	-	-	_	_
3	-		=	-	_	_	_	1.0	<del></del> -	-	_
4	2.0	_	_		1.0	_	_	_	2.0	-	_
5	_	_	_	_	_	_	_	_	_	-	-
6	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0				_	1.0

Tab. 3 - Composizione chimica dei campioni di magnetite (% in peso). Sono riportati solo i componenti minori.

# DISCUSSIONE DEI DATI

Per quanto concerne la microdurezza Vickers i valori di  $\varepsilon$  (deviazione standard relativa a tutte le misure) risultano molto piccoli, per cui è stata calcolata, per ogni forma, la media dei valori ottenuti nelle due diverse orientazioni a e b.

La deviazione standard media  $R_2$ , relativa alle differenze tra le diagonali osservate e quelle calcolate sulla base del modello proposto da Franzini e Troysi (1978), per i campioni n. 3 e n. 5 è comparabile con  $\varepsilon$ , mentre per gli altri campioni risulta più alta. Per questi ultimi  $\varepsilon$  è dello stesso ordine di grandezza della deviazione standard media  $R_1$  quando si confrontano i dati sperimentali con quelli calcolati sulla base di un secondo modello più recentemente proposto da Franzini et al., (1980). I dati relativi ai campioni 3 e 5 sono stati

quindi trattati mediante il primo modello, tutti gli altri mediante il secondo modello.

I valori di microdurezza estrapolata (HVE e  $HV_1$ - $HV_2$ ), di ritiro elastico ( $\sigma_{HVE}$  e  $\sigma_{HV_1}$ ), di deviazione standard ( $R_2$  e  $R_1$ ) e di peso relativo al cambiamento di durezza ( $p_1$ ) sono riportati in tabella 4.

TAB. 4 - Valori di microdurezza Vickers estrapolata, di ritiro elastico, di deviazione standard calcolati con il primo modello proposto da Franzini e Troysi (1978) (HVE,  $\sigma_{HVE}$ ,  $R_2$ ) o con il secondo modello proposto da Franzini et al. (1980) (HV<sub>I</sub>, HV<sub>2</sub>,  $\sigma_{HVI}$ ,  $R_1$ , nonché  $p_1$  = peso di cambio pendenza), La deviazione standard relativa a tutte le misure è riportata nella terza colonna ( $\varepsilon$ ).

Campione	Forma	ε	HVE	σHVE	R <sub>2</sub>	$HV_1$	HV <sub>2</sub>	σ <sub>HV1</sub>	<b>p</b> 1	R <sub>1</sub>
1	{110}	0.25		_	_	564	475	0.37	242	0.22
2	{111}	0.24	_	_	_	596	486	0.18	133	0.15
3	{111}	0.41	780	0.18	0.24	_	_	_	_	_
4	{111}	0.03	_	_	_	550	466	0.44	283	0.04
5	{111}	0.09	488	0.36	0.03	_	_	_	_	_
6	{111}	0.06	_	-	_	517	473	0.34	180	0.05

Per quanto riguarda la microdurezza Knoop la media tra i valori ottenuti nelle tre orientazioni non è accettabile in quanto gli  $\epsilon$  relativi appaiono troppo alti. In tabella 5 vengono riportati i valori di microdurezza estrapolata (HKE), di ritiro elastico ( $\sigma_{HKE}$ ) e di deviazione standard ( $R_2$ ) ricavati rielaborando i dati sperimentali mediante il primo modello (Franzini e Troysi, 1978), distinti orientazione per orientazione. La tabella mostra che i valori di HKE ottenuti nelle diverse orientazioni sono coerenti nell'ambito del singolo campione. Inoltre mette in evidenza che per la magnetite il ritiro è variabile con l'orientazione.

### Conclusioni

I risultati sperimentali permettono di osservare che:

— la microdurezza risulta indipendente dalla forma su cui si effettua la misura. I valori medi della proprietà sono rispettivamente uguali a  $543 \pm 42$  Kg/mm² per la microdurezza Vickers estrapolata e a  $415 \pm 26$  Kg/mm² per la microdurezza Knoop estrapolata. Il

TAB. 5 - Valori di microdurezza Knoop estrapolata (HKE), di ritiro elastico (\(\tau\_{HKE}\)) e di deviazione standard (R2) calcolati con il modello proposto da Franzini e Troysi (1978). La deviazione standard relativa a tutte le misure è riportata nella quarta colonna (\varepsilon\)).

Campione	Forma	Orient.	ε	HKE	σнкε	R <sub>2</sub>
		a	0.25	443	3.81	0.27
1	{110}	b	0.70	449	5.08	0.19
		С	0.22	432	4.00	0.38
		a	0.12	420	4.52	0.31
2	{111}	b	0.19	406	6.63	1.92
		С	0.51	370	7.05	0.81
		a	0.73	706	2.97	0.59
3	{111}	b	0.07	727	2.85	0.45
		С	0.46	703	3.69	0.68
		a	0.16	441	4.11	0.30
4	{111}	b	0.05	441	4.11	0.22
		c	0.11	439	4.31	0.27
		a	0.16	423	4.44	1.08
5	{111}	b	0.11	381	5.13	1.02
		С	1.01	370	6.96	1.48
		a	0.97	433	4.52	0.73
6	{111}	ь	1.10	393	5.96	0.39
		С	0.71	382	6.78	0.76

calcolo di tali valori medi è stato effettuato escludendo il campione 3, che appare decisamente anomalo rispetto agli altri;

- la microdurezza estrapolata Vickers è più alta della corrispondente Knoop, come normalmente si verifica;
- i valori osservati sono vicini ai valori più bassi tra quelli riportati in letteratura; tali valori corrispondono a campioni a basso tenore di  $TiO_2$  e MgO, come risultano appunto anche i campioni utilizzati nel presente lavoro. Il campione 3 presenta una microdurezza più alta ed un ritiro elastico più basso di tutti gli altri campioni, senza che ciò sia giustificato da un chimismo particolare. Il suo comportamento potrebbe essere imputabile a difetti reticolari.

L'insieme di queste considerazioni ci porta a concludere che la magnetite non può essere proposta come standard di riferimento per la microdurezza alla penetrazione.

#### RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano la Sig. Maria Cavallaro per aver eseguito gran parte delle misure di microdurezza.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Franzini M., Troysi M. (1978) Macrohardness derivation from microhardness measurements. Acc. Naz. Lincei Rend. Cl. Sc. M.F.N., ser. VIII. 65, 185-189.
- Franzini M., Troysi M., Cecchini A. (1980) La variazione della microdurezza alla penetrazione in funzione del carico di misura. *Acc. Naz. Lincei Rend. Cl. Sc. M.F.N.*, ser. VIII, **70**, 271-278.
- Franzini M., Troysi M., Cecchini A. (1981) La microdurezza della fluorite. Acc. Naz. Lincei Rend. Cl. Sc. M.F.N., ser VIII, 71, 7-19.

(ms. presentato il 15 dicembre 1989; ult. bozze il 30 dicembre 1989)