

置に比較して 1/2 に減じて機械的破損を少くするとともに蒸溜時間の短縮をはかった結果、JIS 型よりも 1~2 分短縮した。

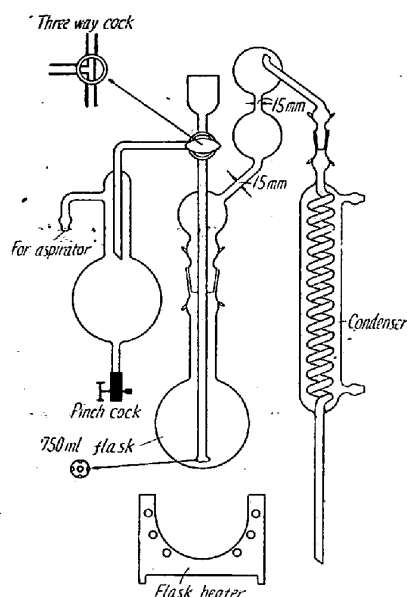


Fig. 2. Distillation apparatus.

以上を総合して試料調製にとりかかってから分析完了までの所要時間を従来の 45~75 分から約 20 分に短縮した。以上は滴定法の場合であるが、 $HClO_4$ 60% (1+1) 溶解法を水蒸気蒸溜—吸光光度法(ネスラー試薬による)に応用したところ、滴定法に比べて試料が少くて済むので、試料調製時間、試料溶解および蒸溜が滴定法よりも短縮されたため、分析所要時間 12~13 分 30 秒とさらに迅速化され結果もまた良好であった。ただし吸光光度法は使用する蒸溜水はとくに精製されたものを使用する必要があり、また光電光度計および自動電圧調整器を必要とするが滴定法はそれらを要しない利点がある。

文 献

- 1) H. J. Winkler and B. B. Bach. British Cast Iron Assoc. Research and Development 4 (1953) 553-9 (Research Report No. 356) : Chem. Abstr. 47 (1953) 11075
- 2) 学振 19 委—2507. 日本鋼管 (高野, 井樋田)
- 3) H. Kempf u. K. Abresch: Arch. Eisenhüttenw., 17 (1943) 119—124

(63) 永久磁石材料の機械加工性について

On the Mechanical Workability of Permanent Magnet Materials.

Yasuo Kimura

東京計器製造所 工博 木 村 康 夫

I. 緒 言

永久磁石材料は残留磁束密度と抗磁力がともに高く、しかも最大磁気エネルギーが大きいことが望ましい。抗磁力は磁氣的硬さとも呼ばれ一般に抗磁力が高い永久磁石材料は機械的に硬い。それに反して抗磁力が低い高導磁率材料は機械的に軟いという通則がある。その結果通常永久磁石材料は硬く機械加工がむずかしいことが工業的には問題となつている。機械加工しやすく、しかも抗磁力が高いという永久磁石が最も望まれる。この目的に合った磁石には Cunife, Cunico, Vicalloy などがある。現在使用されている永久磁石材料を金属組織学的に分類し、機械加工性とは直接関係はないが機械的性質として硬さと磁性との関係を考察することにする。

抗磁力は介在物の存在および内部応力によつて増加する。磁石材料には析出、変態を利用した磁石合金もあるし、また磁性材料を微粉末として磁区回転機構が主役を演ずるような微粉末磁石もある。一般に永久磁石材料は次のグループ、(1) 組織変態型磁石合金、(2) 析出硬化型磁石合金、(3) 規則格子変態型磁石合金、(4) 微粉末磁石に分類される。ここではこのうち(4)を除いた3グループについて考察することにする。

II. 組織変態型磁石合金

焼入硬化磁石鋼と冷間加工による γ - α 変態型磁石合金とに更に分類される。

(1) 焼入硬化磁石鋼

鋼を変態点以上の温度から水または油に焼入れると高温で安定なオーステナイトがマルテンサイトに変態する。この焼入による組織変化にともない抗磁力が上昇する。Cr 鋼, W 鋼, KS 鋼, MT 鋼などがこれに属する磁石鋼である。この場合抗磁力は残留オーステナイトの量の平方根とともに増加し、実験的に(1)式より示される。

$$H_c(v) = H_c(0) \sqrt{1-v} \dots \dots \dots (1)$$

ここで $H_c(0)$ は材質により定まる常数である。残留オーステナイトの地に強磁性相が分散析出していることによつて抗磁力が増加する。最大磁気エネルギーは残留オーステナイトが約 1/3 存在しているときにえられる。

機械的硬さは残留オーステナイトの減少とともに増加するが強磁性相がマルテンサイトか、フェライトか組織によつて非常に異なる。マルテンサイトを生ぜしめなければこのグループに属する合金の大部分は熱間加工が可能である。

(2) γ - α 変態型磁石合金

① 単純な γ - α 変態型磁石合金

Fe-Mn 系, Fe-Ni-Cr 系合金がこのグループに属する。焼鈍状態では大体 γ 相であるが冷間加工すると常温で α 相に変態する。冷間加工により生じた α 相は適当な温度で時効すると γ 相が分散して析出する。 γ 相に変態すると抗磁力が増大するがその量が多くなると残留磁束密度が減少し磁石特性が悪くなる。他方機械的かたさは非磁性 γ 相の増加とともに減少する。

② 規則格子変態をともなう γ - α 変態型磁石合金

このグループに属する磁石合金には Vicalloy がある。常温でほとんど γ 相からなる合金を冷間加工すると強磁性 α 相に変態する。この合金を時効すると非磁性 γ 相に変態するとともに規則格子が形成される。時効することにより抗磁力と機械的硬さはともに上昇する。この場合、磁性と機械的かたさは Fig. 1 に示すような挙動を示す。機械的硬さは単純な γ - α 変態型磁石合金とことなり, disorder α 相より準安定な disorder α' 相へ変化する際に急激に増加するが非磁性 γ 相への変態にはほとんど関係がない。 Fig. 1 から明らかなように一度時効すると機械的に非常に硬化して加工ができなくなる。

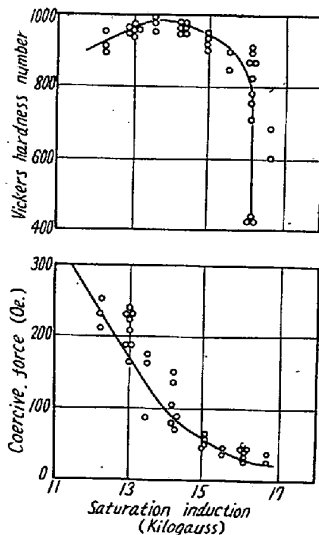


Fig. 1. Relationship between Vickers hardness, coercive force and saturation induction of cold rolled specimen of Vicalloy containing chromium.

III. 析出硬化性磁石合金

(1) 非磁性相析出の磁石合金

このグループに属する代表的な磁石合金として Koster 合金 (Fe-Mo-Co 系合金) がある。過飽和 α 固溶体から時効により非磁性相が析出して抗磁力が増大する。

分散析出した非磁性相の全量を v とすれば抗磁力 H_c は

$$H_c = \frac{2Kv}{\pi I_m (1-v)} \left(0.386 + \log_e \sqrt{\frac{2\pi I_m}{K}} \right) \dots (2)$$

とよく一致し、析出物の全量により定まる。こゝで K は結晶異方性常数, I_m は飽和磁化の強さを示す。また機械的硬さは析出物全量の 3 乗根 $3\sqrt{v}$ に比例する。非磁性相の少ない高温のせまい温度範囲で鍛造が可能であるが、析出相が多量に分散析出した場合には加工できない。

(2) 2相分離による磁石合金

このグループに属する磁石合金には過飽和 α の固溶体が α_1 と α_2 の 2 相分離する 3 状態を利用した磁石合金と過飽和 γ 固溶体が γ_1 と γ_2 に 2 相分離する状態を利用した磁石合金とがある。

① α 相磁石合金

今日もつとも多量に生産されている MK 系 (Alnico 系) 磁石合金がこのグループに属する。高温の α -相の状態より適当な速度で冷却し時効すると α_1 相と α_2 相に分離し、抗磁力が増大する。この場合の抗磁力を左右するものは析出相の形状がもつとも大きな影響をもっている。すなわち抗磁力 H_c は (3) 式によつてあたえられるように細長い単磁区の析出相が生じたほど抗磁力が大きくなる。

$$H_c \propto (Nd - Ne) I_s \dots \dots \dots (3)$$

こゝで Nd, Ne はそれぞれ短軸および長軸方向の反磁場係数, I_s は飽和磁化の強さを示す。

析出相の形状と大きさを支配する冷却速度による抗磁力の差は非常に大きい、機械的かたさはほとんど差がないことは Fig. 2 に示すとおりである。磁性が良好であるときにやはり機械的かたさが高いのは α_1 相と α_2 相が coherent にくつついているためで 2 相が完全に分離

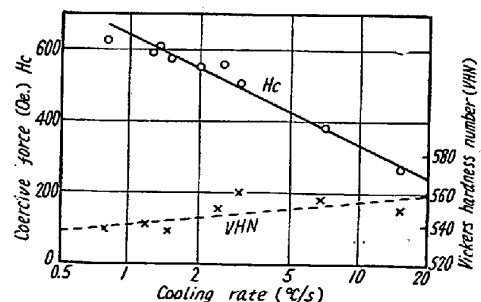


Fig. 2. Dependence of coercive force and Vickers hardness of Alnico 5 on cooling rate.

した状態ではかたさは低下する。合金自体脆いので鍛造はできないが研磨加工を容易にするためには 2 相分離を完全におこなうことが必要である。

② γ 相磁石合金

Cunife, Cunico などがこのグループに属する。たと

えば Cunife では高温で安定な γ 相は時効によつて Fe-Ni に富む γ_1 相と Cu に富む γ_2 相に分離する際に抗磁力が増大する。この場合にも抗磁力は γ_1 相の析出物の形状によつて定まり、析出物の大きさで非常にことなるが、機械的硬さはほとんど影響されないで硬化しても VHN で 150~250 である。このグループに属する磁石合金は冷間加工の可能なことが特徴である。

IV. 規則格子変態型磁石合金

代表的合金として CoPt, FePt がある。たとえば CoPt は高温で不規則状態の面心立方格子であるが規則・不規則変態点を通過して冷却し時効すると規則化がおきて面心正方格子となる。その中間の変化過程で最大の抗磁力がえられ 4000 Oe に達する。機械的かたさは焼入状態で BHN=120~150 であり軟く冷間加工可能である。

V. 総括

上記のように実用化されている磁石を分類してみると加工可能な磁石材料は面心立方格子を有する合金で組織変態、時効硬化または規則格子変態などを利用してゐる。体心立方格子を有する材料は熱間加工するが、高温で焼鈍し粗大な析出物を生ぜしめ軟化させるが、面心立方格子を有する磁石材料に較べて機械加工は非常にむずかしく、研磨加工しかできない場合もある。そこで線引、圧延した磁石を必要とする場合には面心立方格子を有する合金を利用することになる。

(64) 非磁性鋼の研究

(各種添加元素の影響について)

Effect of Various Elements on the Properties of Non-magnetic Steel.

Kunio Kusaka, et alii.

特殊製鋼

工博 山中直道・工〇日下邦男・外岡 耀

I. 緒言

最近大型のタービン発電機が製造されるにともない廻転子の一端に使用する非磁性鋼リングにかなりの高降伏点のものが要求されるようになり、また特殊艦船用の非磁性のクランク軸またはそのほかの電気機器用にも導磁率の低い降伏点の高い非磁性鋼が必要とされるようになったので、われわれは 19Cr-10Ni 系および 18Mn-3Cr 系オーステナイト鋼の機械的性質ならびに導磁率におよぼす各種添加元素の影響、冷間加工の影響などについて試験を行った。供試材は Table 1 に示すようなものであり 35KV A 高周波誘導炉により 7 kg 鋼塊を溶製し、これを 16φ に圧延して使用した。

II. 実験結果

(A) 19Cr-10Ni 系オーステナイト鋼

添加元素の影響としては Cr19%, Ni10% に一定にして N₂ 添加をおこなつたものとおこなわない場合について C 量を種々に変化させ、つぎに C 0.4%, Si 1%, Mn 1.2%, Cr 19%, Ni 10%, N₂ 0.25% のを基本成分とし

Table 1. Chemical composition of steels tested

Steel No.	Chemical composition (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N ₂	W	Mo	V
NMAS-1	0.14	1.06	1.12	0.023	0.013	9.92	19.19				
-2	0.21	1.08	1.26	0.011	0.012	10.11	18.90				
-3	0.24	1.01	1.29	0.008	0.012	9.98	18.99				
-4	0.40	1.47	1.22	0.010	0.007	9.87	19.28				
-5	0.51	1.06	1.32	0.023	0.017	9.90	19.13				
-6	0.11	1.07	1.28	0.018	0.007	10.11	19.10	0.25			
-7	0.20	1.04	0.84	0.017	0.010	10.16	19.16	0.29			
-8	0.30	1.12	1.34	0.018	0.010	10.16	19.13	0.27			
-9	0.40	1.11	1.26	0.018	0.013	10.18	19.13	0.27			
-10	0.48	1.12	1.25	0.022	0.012	10.13	16.19	0.25			
-11	0.31	1.03	1.29	0.015	0.016	10.18	19.13	0.074			
-12	0.33	0.91	1.26	0.017	0.009	10.23	19.22	0.27	0.55		
-13	0.37	1.01	1.32	0.018	0.014	10.14	18.99	0.26	0.57	0.61	
-14	0.35	1.01	1.28	0.020	0.009	10.14	19.13	0.27	0.52	0.59	0.49
-15	0.43	1.02	1.58	0.016	0.010	10.07	19.00	0.23			
-16	0.43	1.01	3.78	0.019	0.014	10.09	19.25	0.27			
-17	0.47	1.04	5.68	0.024	0.015	10.07	19.19	0.28			
-18	0.40	1.02	1.16	0.013	0.014	10.09	20.90	0.29			
-19	0.40	0.99	1.14	0.015	0.014	10.09	23.93	0.31			
-20	0.40	1.01	1.32	0.014	0.017	11.88	24.85	0.28			