

異方性磁石合金の磁性におよぼす磁場冷却方法の影響

Effect of Magnetic Field Cooling Method on the Magnetic Properties of Magnetic Alloys

小柴定雄* 西沼輝美**

内容梗概

異方性 Fe-Ni-Al-Co-Cu 磁石合金の磁場中冷却処理の方法と磁性の関係を求めた。

磁場冷却の効果によつて Br, Hc および (B×H)_{max} の値はともに増大するが, 溶体化処理温度からの冷却途上で磁場冷却効果のあらわれる温度範囲はキュリー点附近のせまい範囲で約 750°C まで磁場を加えると十分である。その間の冷却速度は約 1°C/sec でよい。なお磁場冷却後の冷却速度も磁性に影響する。

磁場冷却の際の磁場の強さは約 1,000 エルステッド以上でよく, 500 および 750 エルステッドにおいては Hc には大差ないが Br が約 1,000 ガウスひくい。

〔I〕 緒 言

磁石に対する磁場冷却処理は 1938 年 Oliver と Shedden⁽¹⁾⁽²⁾ によつてはじめて実施され, その後数多くの実験がなされているが, 実際に異方性磁石を製造するためにはなお不十分な点が少なくない。

著者らは J.I.S. 永久磁石用材料の第二種铸造磁石, Z 一号, MCB1 として選定されている異方性 Fe-Ni-Al-Co-Cu 合金の磁場中冷却の方法と磁性の関係を求めた。

〔II〕 実験試料および実験方法

実験に用いた試料は 50 kg 高周波電気炉で熔解し, 10×10 mm のシェルモールドに铸造してつくつた。その化学成分は第 1 表に示す。特に Al 含有量は著者らの別の実験より J.I.S. MCB1 の 9% よりかなり低い約 7.5% を目標にしたものである。

磁場冷却は第 1 図の略図のように電磁石を用い, 冷却速度の測定は中央部の細い石英管中に装入してある Pt-Rh 熱電対と秒時計とより求めた。

磁性の測定はヨーク法で, 磁場の強さの決定は自製の磁位計を用いた。また測定した反磁曲線より Br および Hc の値のほか第 2 図のようにして (B×H)_{max}, $\mu_A = \frac{B_A}{H_A}$ および $\eta = \frac{(B \times H)_{max}}{B_r \times H_c}$ (Fulness Factor K_f ともいう⁽³⁾) を求めた。

〔III〕 実験結果

(1) 磁場冷却速度の影響

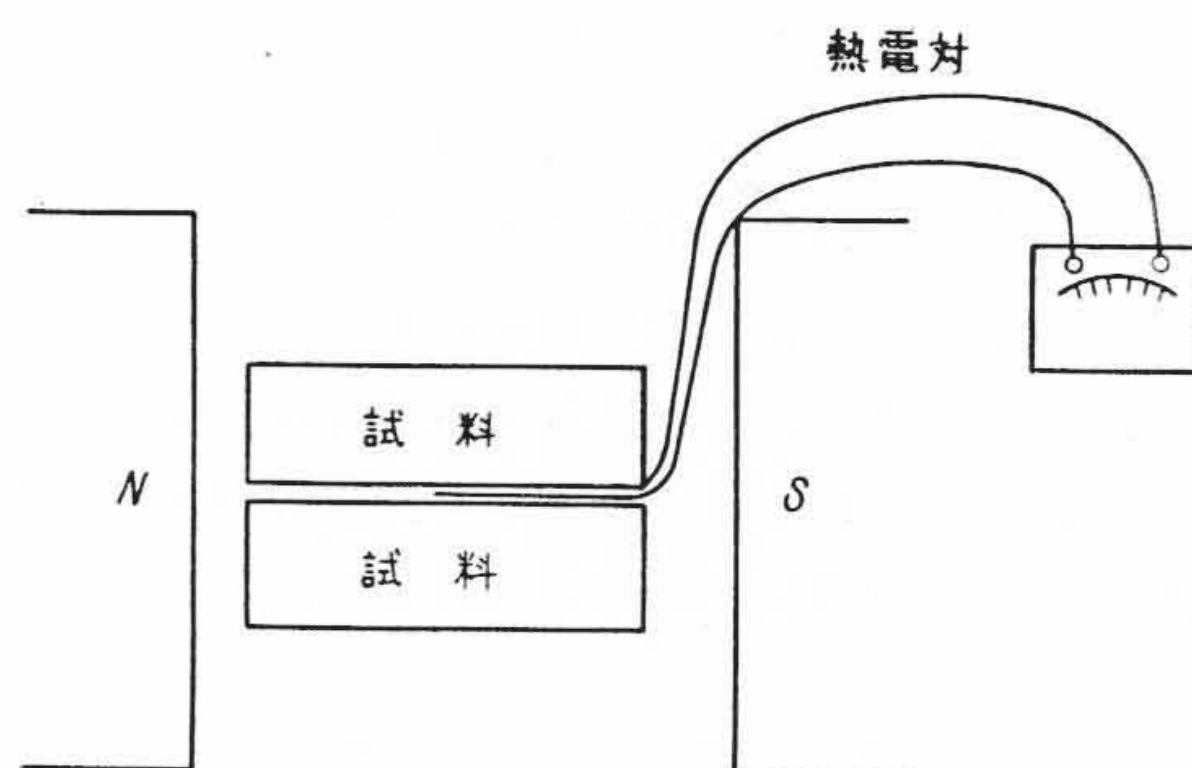
溶体化処理を 1,225°C に 20 分間保持とした場合の 950°C ~ 750°C 間の平均磁場冷却速度の影響を第 3 図および第 4 図に, また代表的な反磁曲線の変化を第 5 図に示した。たゞし磁場の強さは約 1,500 エルステッド, 磁場冷却後の析出処理は 600°C に 1 時間保持とした場合であ

* 日立金属工業株式会社安来工場 工博

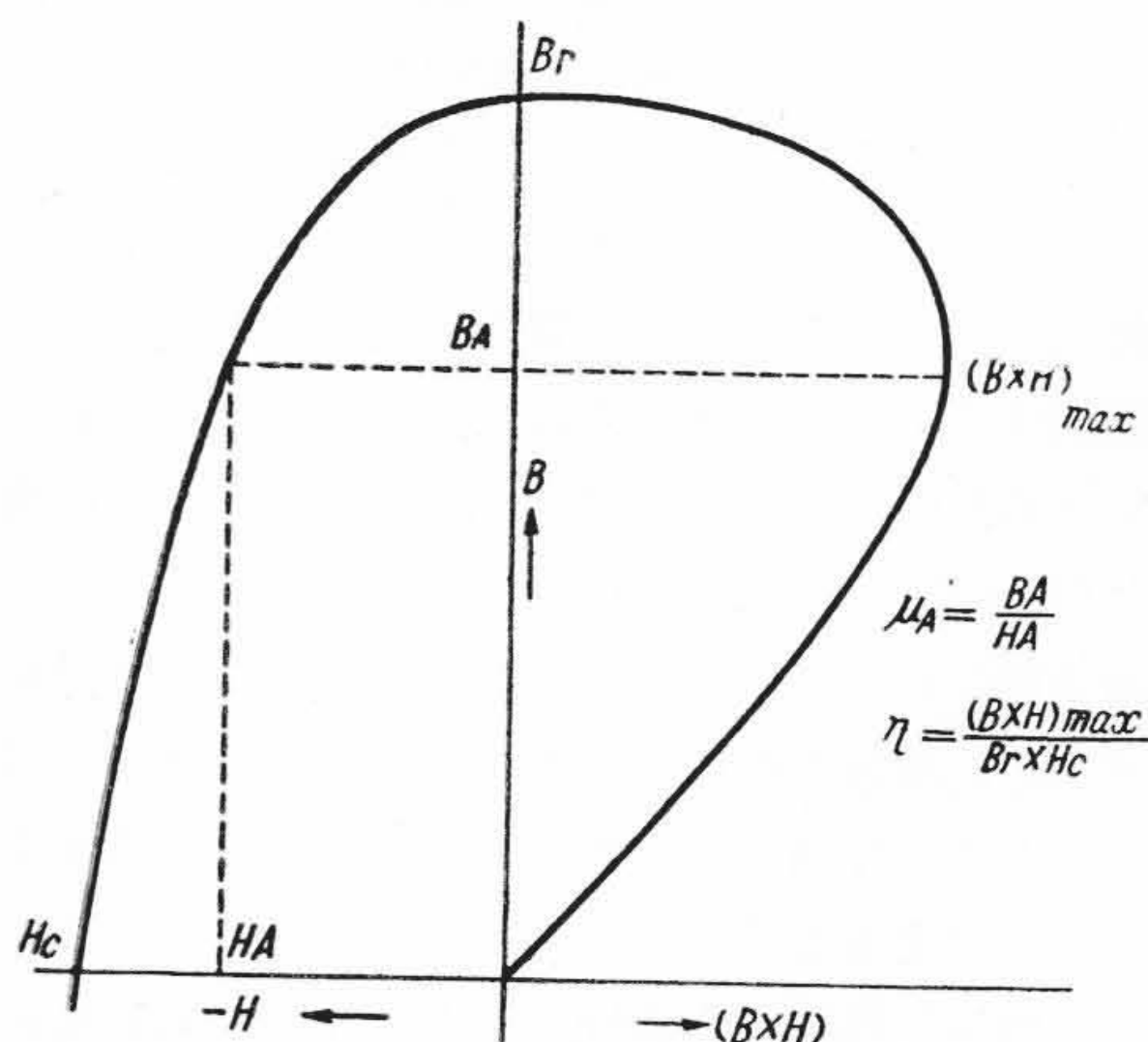
** 日立金属工業株式会社安来工場

第 1 表 化 学 成 分 (%)
Table 1. Chemical Composition (%)

試料	C	Ni	Co	Cu	Al
A	0.024	15.16	23.94	2.49	7.45
B	0.038	15.16	23.14	2.45	7.89



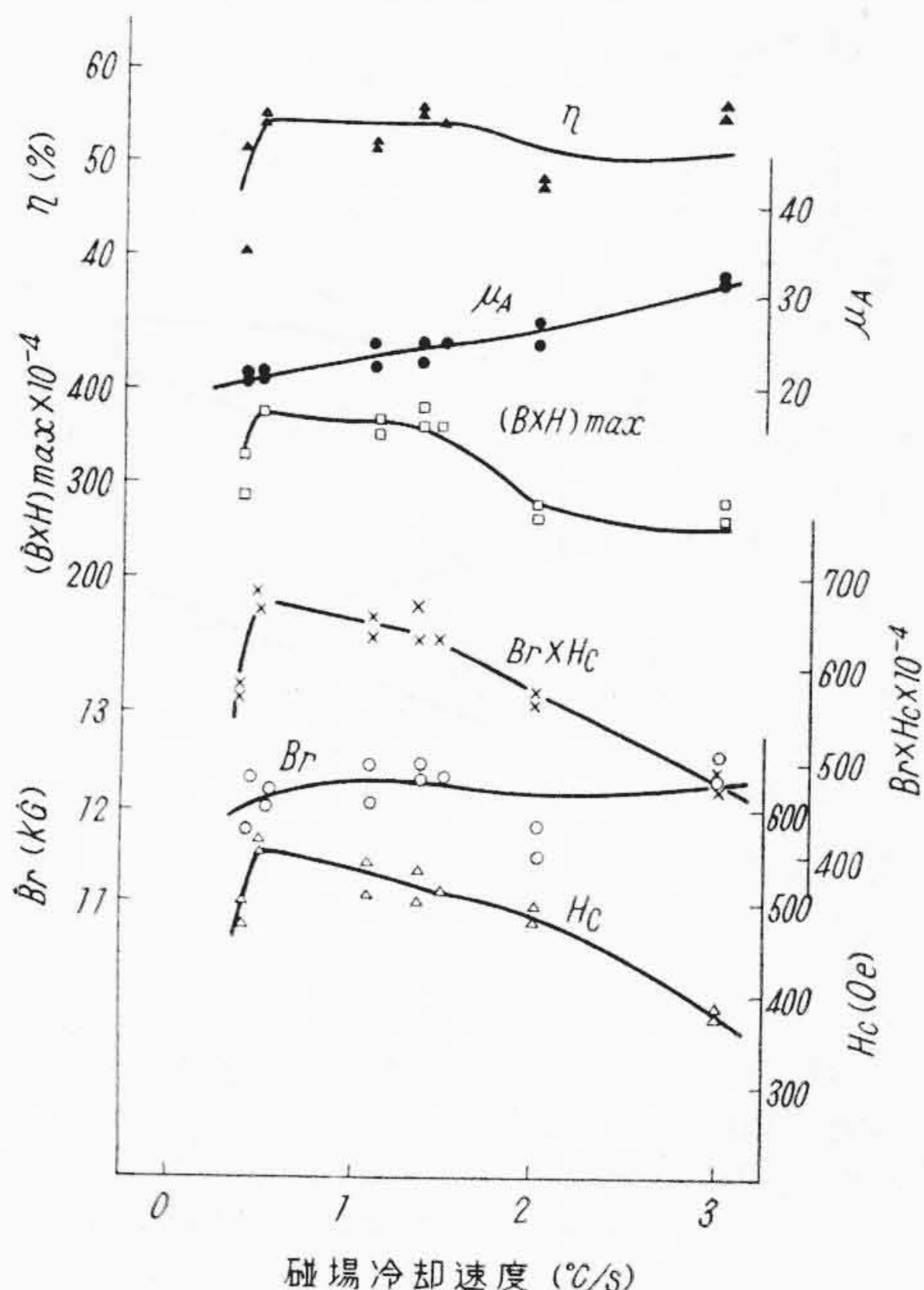
第 1 図 磁 場 冷 却 方 法 略 図
Fig. 1. Sketch of Magnetic Field Treatment



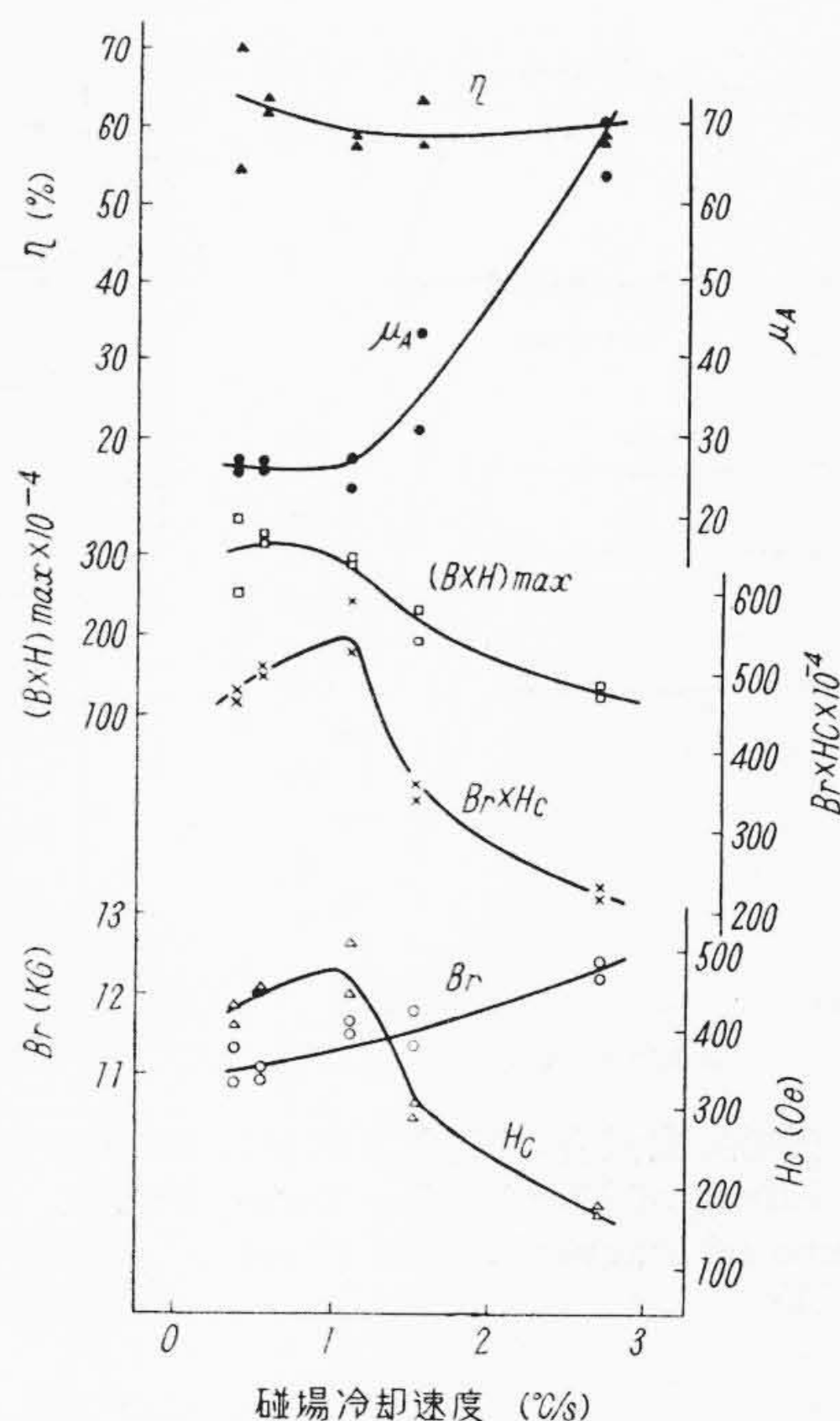
第 2 図 磁 気 計 算 略 図
Fig. 2. Sketch of Calculation of Magnetic Properties

る。

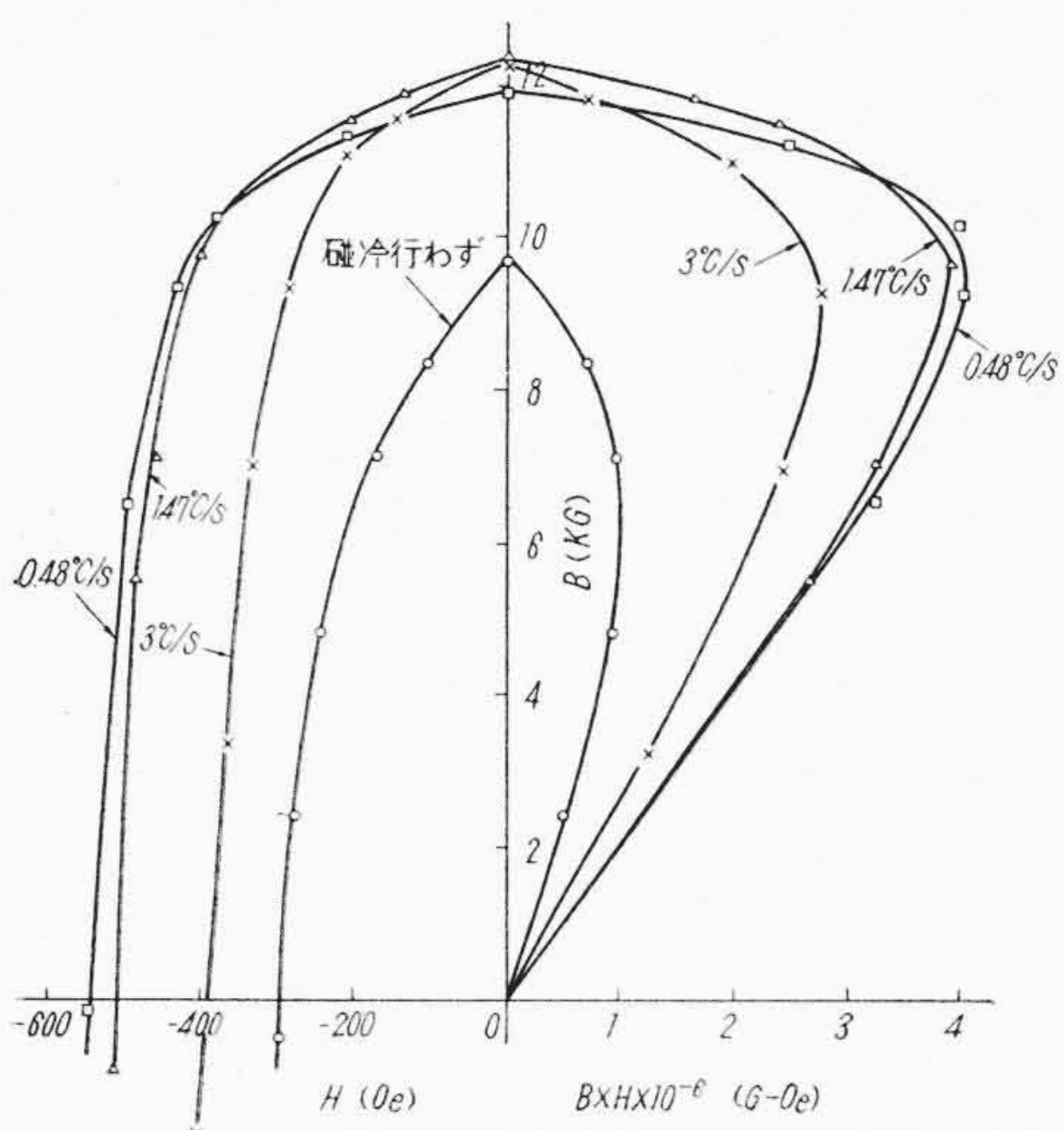
磁場冷却速度を増しても Br は大差ないか, あるいは



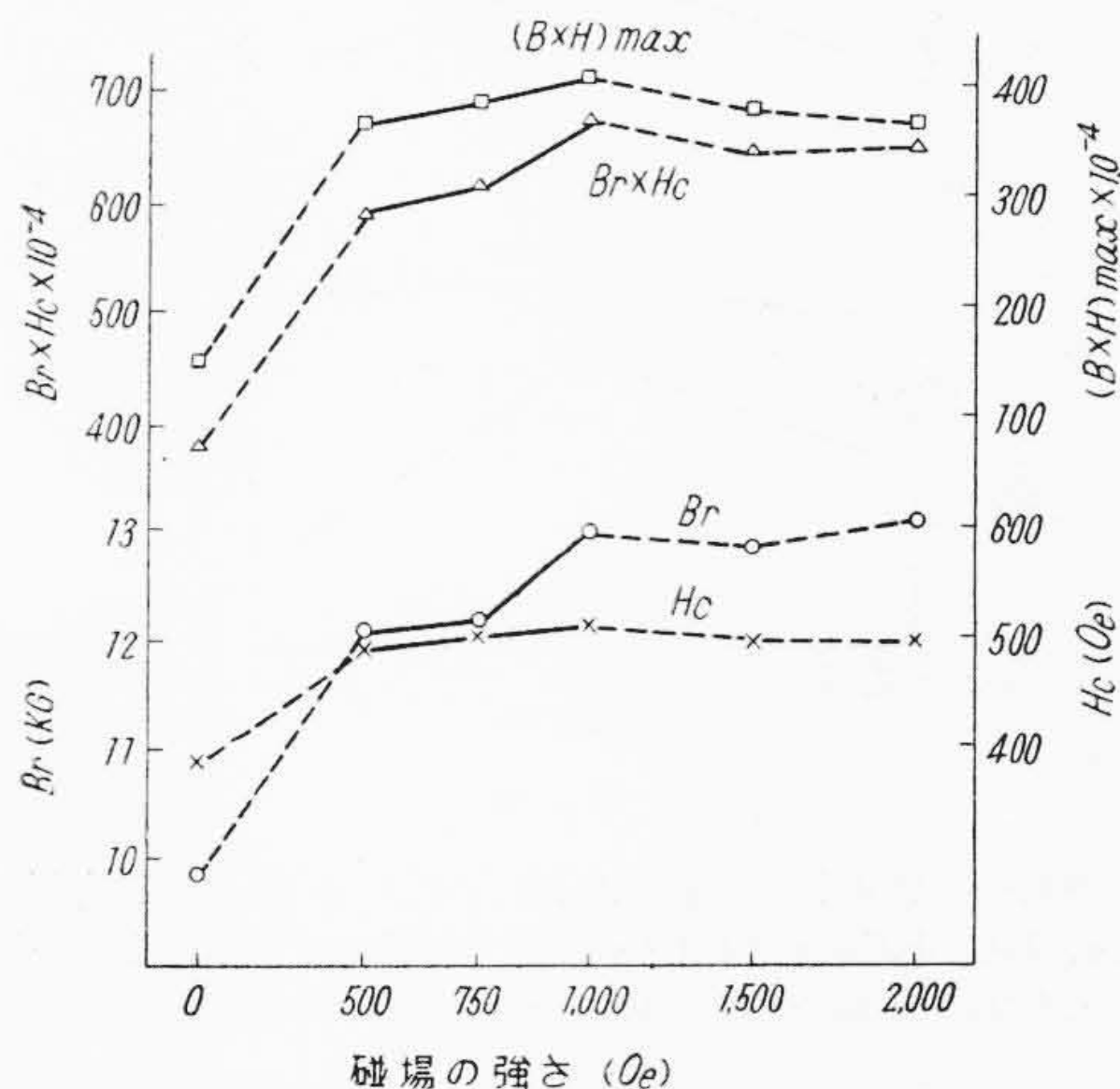
第3図 磁場冷却速度の影響 (A試料)
Fig. 3. Effect of Cooling Velocity at Magnetic Field Treatment (Test Piece A)



第4図 磁場冷却速度の影響 (B試料)
Fig. 4. Effect of Cooling Velocity at Magnetic Field Treatment (Test Piece B)



第5図 磁場冷却速度と反磁曲線の変化
Fig. 5. Relation between Velocity at Magnetic Field Treatment and Change of Demagnetization Curve



第6図 磁場冷却磁場の強さの影響 (B試料)
Fig. 6. Effect of Magnetic Field Intensity at Magnetic Field Treatment (Test Piece B)

わずかに増加する。Hc は磁場冷却速度がおそくても、またあまりはやすぎても低く、約 1°C/sec 位が適当である。Br x Hc および (B x H)_{max} の値は Hc の傾向とほぼ同様である。

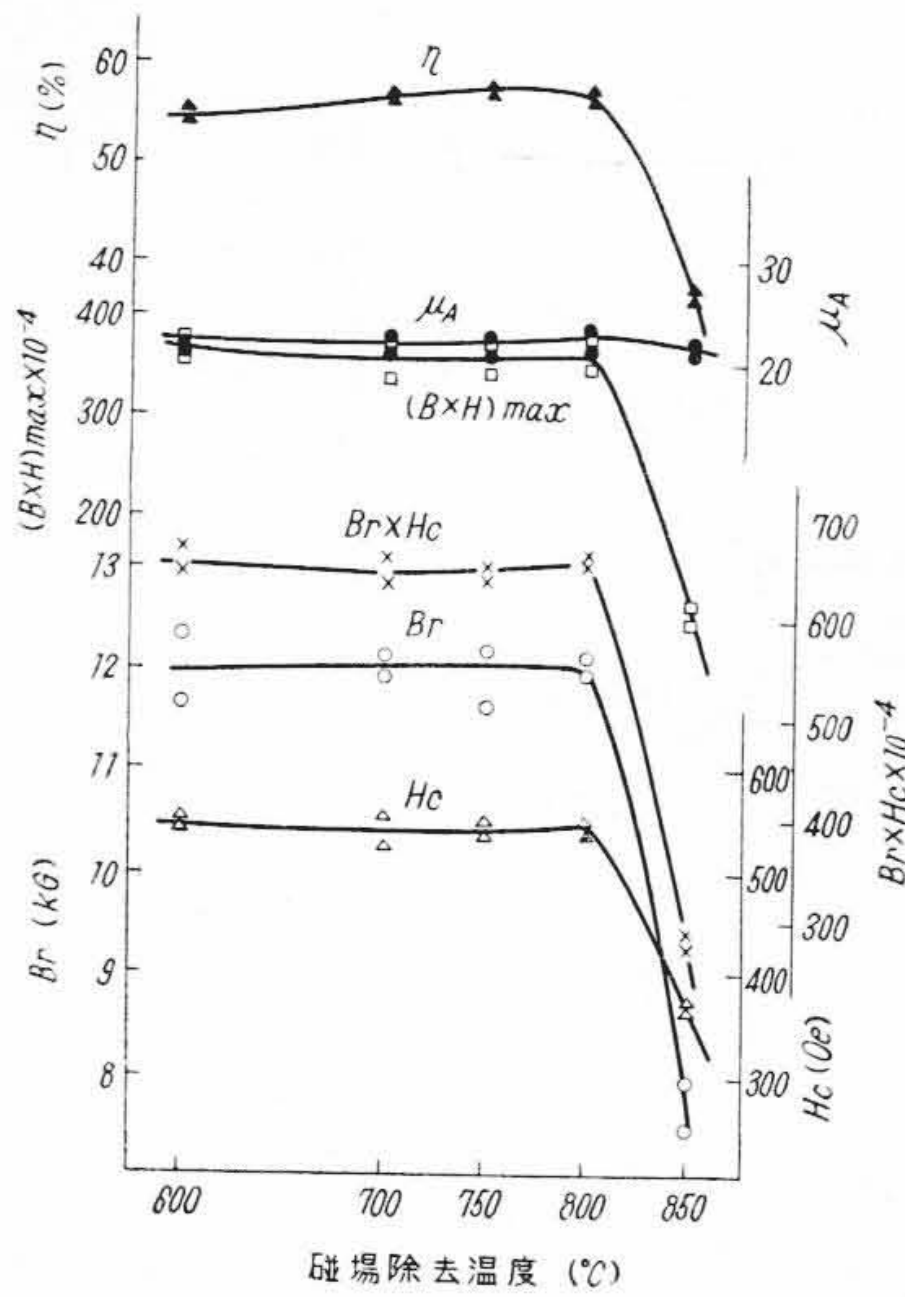
μ_A は磁場冷却速度のはやいほど増大し、μ は μ_A と反対に磁場冷却速度がはやいと低下するようであるが、あ

まりおそすぎても小さい。

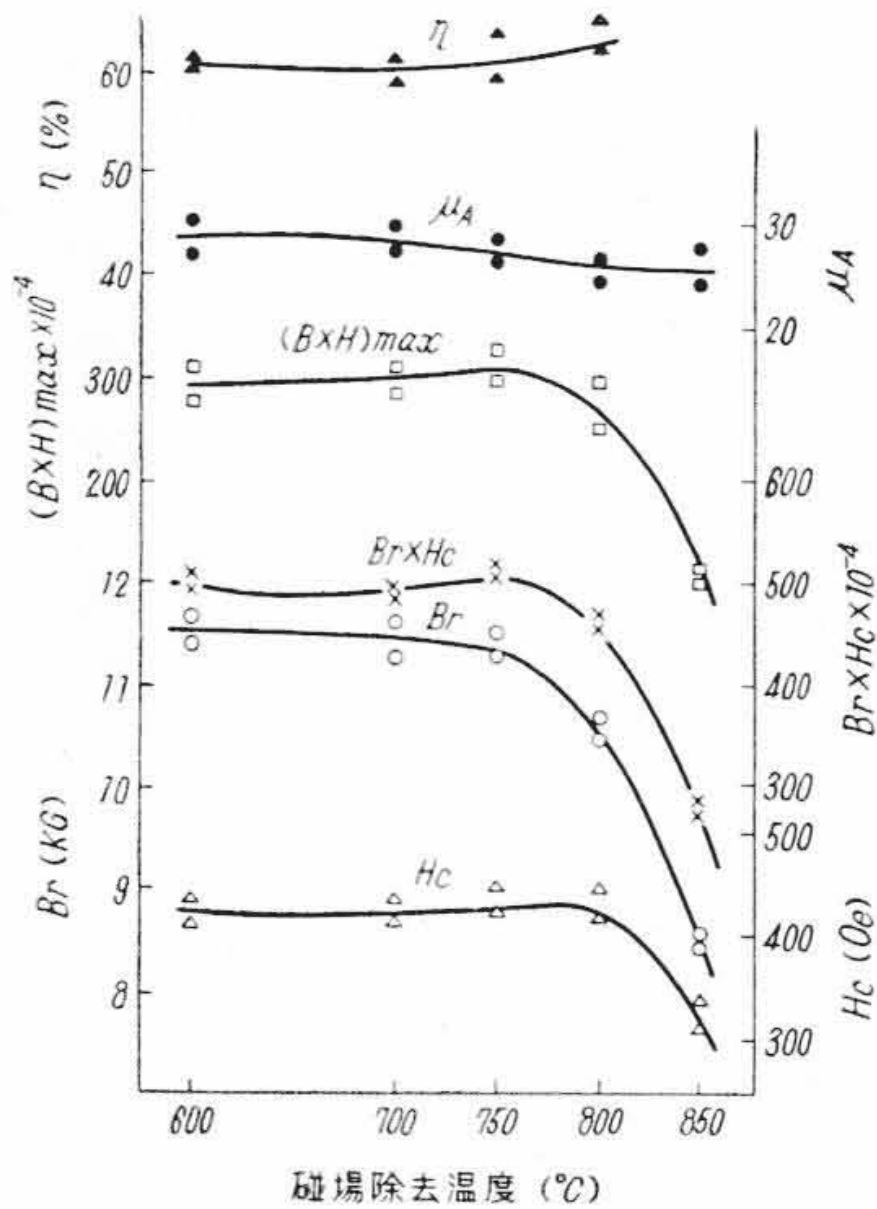
(2) 磁場冷却磁場の強さの影響

B試料で磁場冷却磁場の強さの影響を求めた結果を第6図に示した。ただし溶体化処理、析出処理は上述と同様で磁場冷却速度は約 1°C/sec の場合である。

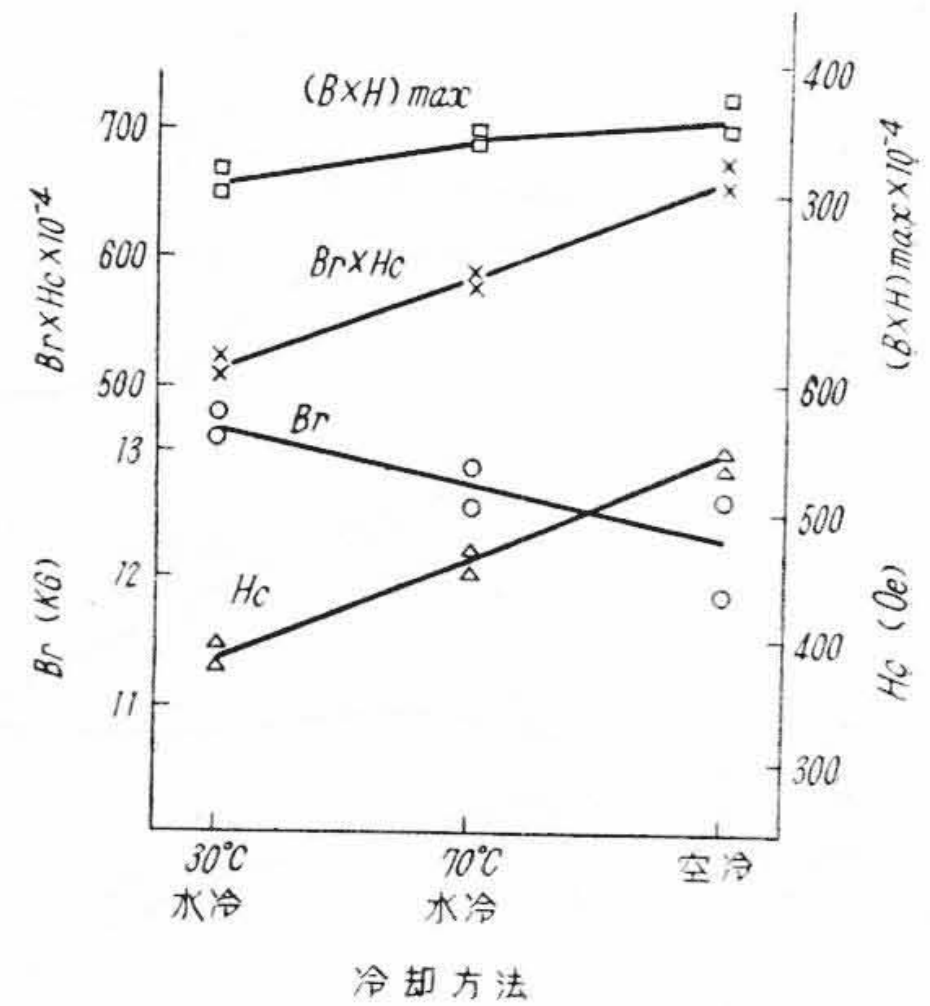
Br は磁場冷却磁場の強さが 1,000 エルステッドまで



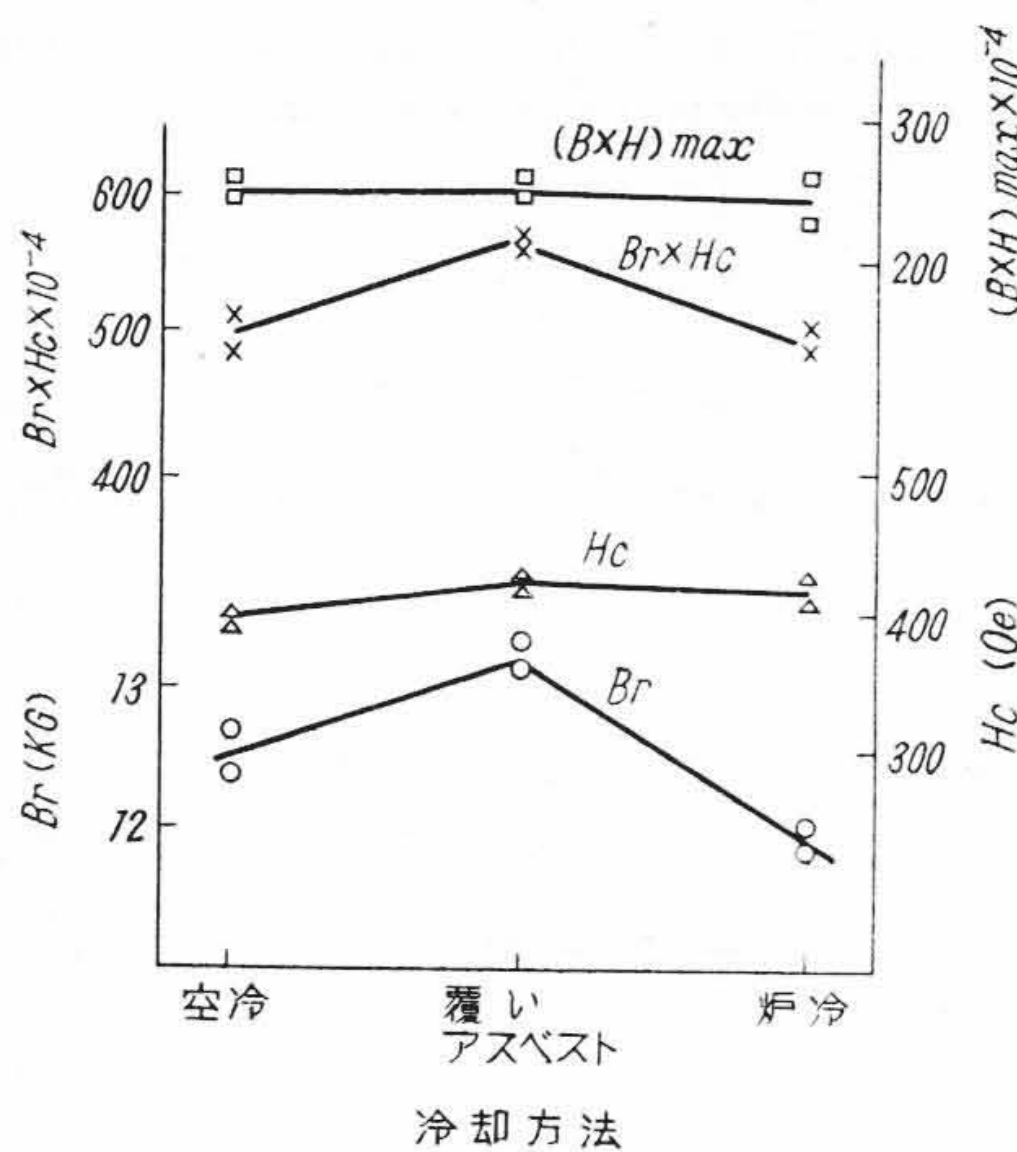
第7図 磁場除去温度の影響 (A試料)
Fig. 7. Effect of Eliminating Temperature of Magnetic Field (Test Piece A)



第8図 磁場除去温度の影響 (B試料)
Fig. 8. Effect of Eliminating Temperature of Magnetic Field (Test Piece B)



第9図 磁場冷却後の冷却方法の影響 (A試料)
Fig. 9. Effect of Cooling Method after Eliminating Magnetic Field (Test Piece A)



第10図 磁場冷却後の冷却方法の影響 (A試料)
Fig. 10. Effect of Cooling Method after Eliminating Magnetic Field (Test Piece A)

は増すが、それ以上磁場の強さを強くしても大差なくなる。Hcは磁場の強さが500エルステッド以上ではほとんどかわらない。また(B×H)_{max}の値は磁場冷却磁場の強さが約750エルステッド以上で大差なくなる。

(3) 磁場冷却磁場の除去温度の影響

上記の実験はすべて約1,000°Cより磁場を加え、750°Cまで冷却速度を調整し、後空冷をしながら約600°Cまで磁場を加えていたが、この磁場冷却の磁場を除去する温度の影響を求めた。その結果を第7図および第8図に示した。たゞし溶体化処理温度などは上記の実験と同様

で、冷却速度は磁場除去後も約600°Cまでは同条件になるように調整した。

A試料は800°C以下の温度で磁場を除去すれば磁性がほとんどかわりないが、850°Cで磁場を除去すると磁場冷却効果があらわれずBrおよびHcともに低下する。B試料は800°Cの除去ではBrがやゝ低く不十分であり、750°C以下の温度で除去しなければならない。

(4) 磁場冷却後の冷却方法の影響

磁場冷却の冷却速度を調整する750°C以下を従来はすべて空冷していたが、その冷却方法をかえた結果をA試料についてのみ第9図および第10図に示した。

第9図の結果は磁場冷却速度を0.6°C/secとした場合で、磁場冷却後の冷却速度がはやいほどBrは高く、Hcがひくくなる。また第10図の結果は磁場冷却速度を、3°C/secとして、それ以下の冷却をおそくした場合であるが、あまり大きな影響は認められない。

[IV] 実験結果の考察

Fe, Ni, Alを主体とする本析出型磁石合金はFeの体心立方格子α相とFe-Al型の体心立方格子α'相とよりなり、臨界溶体化温度以上の高温ではα'相のみであるが、これを適当に処理すると平衡状態にはならず格子常数を異にする二つの相に相当する状態の中間の段階をとる⁽⁴⁾。このときが異常に不均質な構造と大きな内部歪を持ちきたしHcを増すとされていた。最近Hc100エルステッド以上の場合はむしろ単一磁区効果によるも

のとしている。すなわち母金属と飽和磁気の強さの異なる粒子が母金属中に孤立した状態にあるとき、その大きさが一定値以下になると磁壁の存在が許されなくなつて単一の磁区になる。孤立している粒子が球状のときは反磁界エネルギーは零であるが、析出物などが針状もしくは板状になるときは反磁界エネルギーが重要になり磁場冷却の効果も多くはこれによる⁽⁵⁾。

本実験試料類似の Alnico 5 号による電子顕微鏡および電子回析による測定の結果⁽⁶⁾、はじめ磁場中で冷却すると準安定な Co 組成の多い析出物が 900°C 付近で強磁性となつて析出し、はじめて磁場の方向に伸びた針状の形となる。その後の時効によつてこの針状結晶が集まつて約 200 Å 間隔の板状となるが、母金属と析出相は異なる飽和磁気の強さであるので単一磁区を形成し Hc が増大する。

磁場冷却によつて Br が増大し履歴曲線が角型に近づく (B×H)_{max} の値が増加するのも、この強磁性析出核の発生方向をさだめるためといわれる。したがつて磁場冷却方向に垂直な方向では Br, Hc とともに悪い⁽²⁾。

この析出相が発生する際外部磁場の影響を受けるためには強磁性で、かつキュリー点がある程度高温でなければならぬ。Fe のキュリー点を高くする元素は V と Co であり Co がもつともいちじるしい⁽⁷⁾。本合金の析出相は Co 組成の多いものと考えられるゆえキュリー点は母金属より高く、かつ強磁性である。

本合金のキュリー点は約 880°C であるが⁽²⁾、外部磁場の影響はキュリー点付近でだけあり、それ以下の温度ではほとんど影響をあたえない。すなわち第 7 図および第 8 図の結果のように 750°C あるいは 800°C 以下の温度で磁場を加えても効果がない。試料の中心部の温度は測定した温度より若干高いと考えられるゆえ実際には外部磁場の効果はさらに狭い温度範囲、強磁性析出相のキュリー点と母金属のキュリー点の間が重要なものと考えられる。

磁場冷却の際の冷却速度は当然重要で、あまりはやすぎると強磁性析出物の発達が不十分になり、あまり冷却がおそすぎると過エージングするものと考えられ約 1°C/sec が適当である。冷却速度は磁場冷却効果をあたえる温度以下でも影響する。これはキュリー点附近の比較的低温で定まつてしまう磁場冷却効果とは別に磁場冷却を行わない Fe-Ni-Al 系合金と同様やゝ低い温度で影響する析出相もあるためと考える。したがつて従来磁場冷却速度として重要視されていた 750°C 以下の冷却速度も考慮しなければならない。

磁場冷却の際の磁場の強さは Hc には比較的到低い 500 エルステッド以上あればよいが、Br には 1,000 エ

ルステッド以上の強さが必要である。この結果は山川、牧野の実験結果⁽³⁾と同一で、Br が Hc より強磁性析出物の方向性に影響される⁽⁶⁾ためと考える。

つぎに Br, Hc の値は磁石材料の特性であつて、実際に使用される状態すなわち空隙による反磁場を有する磁石の値ではない。したがつて最近ではむしろ (B×H)_{max}, μ_A および η の値が重要視されている。牧野、山川⁽⁸⁾は Br, Hc および η より (B×H)_{max}, B_A, H_A および μ_A は次式によつて求められると述べている。

$$\begin{aligned} H_A &= H_c \sqrt{\mu} \\ B_A &= B_r \sqrt{\eta} \\ (B \times H)_{\max} &= \eta \cdot B_r \cdot H_c \\ \mu_A &= B_r / H_c \end{aligned}$$

μ_A は最適寸法比に関係する値でクロム磁石鋼で約 100 程度である。本実験試料のそれは約 20 で、一般に Hc が小さいと大きくなる。また η は反磁曲線の膨れをあらわすもので山川は国内製品の η を 43~55%, G.E. 社のそれを 62.5% と発表している。本実験結果は約 55% である。

[V] 結 言

MCB 1 の磁場冷却処理について実験を行つた。その結果を要約するとつぎのようである。

- (1) 磁場は約 750°C で除去してよく、それ以下の温度まで磁場を加えても磁場冷却の効果はかわりない。
- (2) 磁場冷却速度はあまりはやすぎると Hc が減少する。約 1°C/sec がよく、0.4°C/sec 以下ではおそすぎる。
- (3) 磁場冷却効果はキュリー点附近の狭い温度範囲で定まり、Br, Hc とともに増加し (B×H)_{max}, μ も増加する。また磁場冷却効果とは別に、やゝ低温の冷却速度も磁性に影響する。
- (4) 磁場冷却の磁場の強さは約 1,000 ガウス以上あればよく、500 および 750 エルステッドでは Hc は大差ないが、Br が約 1,000 ガウス低い。

参 考 文 献

- (1) Oliver, D.A. Shedden: J.W. Nature, 142 209
- (2) R.M. Bozorth: Ferromagnetism 389 (1951-3)
- (3) 山川, 牧野: 東京都立工業奨励館報告第 3 号 (昭 29-3)
- (4) 里, 白川: 磁性材料 50 (昭 29-8)
- (5) 伴野: 電気学会誌 73 351 (昭 28-4)
- (6) Heidenreich, Nesbitt; J. App. Phys 23 352 (1952)
- (7) 岩瀬, 岡本: 二元合金の標準状態図 208 (昭 28-1)
- (8) 牧野, 山川: 日本金属学会講演概要 3 120 (昭 29-4)