技 術 論 文

高炭素クロム磁石鋼の焼鈍温度と硬質性 および磁性との關係

太 田 和 一*

Waichi Ota : A Study on Heat-treatment of High C-Cr Magnet Steel. Relation between Annealing Temperature and Its Hardening Quality and Magnetic Properties.

High C-Cr steel is sensitive to heat-treatment. Especially, its susceptibility to hardening processes and its magnetic properties are strongly affected by its structure formed by previous annealing, as has been reported by many investigators. Its structure before heat-treatment is influenced by the temperature, the time of keeping the temperature and the velocity of cooling in the annealing process for softening. The author investigated the effect of annealing temperature on the hardening quality and its magnetic properties of quenched magnetic steel containing 1% of carbon and 3.6% of chromium. The results are summarized as follows: (1) After annealing, the steel shows minimum hardness at or near the point A_{c1} . The hardness decreases by raising the annealing temperature to A_{c1} , but increases by a further rise of the temperature. (2) The effect of annealing on the size of spheroidized carbide shows the same tendency as that on hardness. The size reaches the maximum at the point A_{c1} upon annealing, but becomes smaller with a rise or drop from that point. (3) Hardening becomes easier as the temperature of annealing is lowered. Annealing at A_1 makes the steel most refractory against hardening. A higher annealing temperature affects the quality in a lesser degree. (4) Upon the magnetic properties after quenching and aging, the effect of annealing temperature is similar to the upon hardness.

(Received November 25, 1952)

I. 緒 言

高炭素 Cr 鋼については磁石鋼, ball bearing 鋼として古くから多くの研究結果があるが, この種の鋼は甚だ熱処理に敏感であるので粗大炭化物, 焼入前の組織, 研磨割れ, 焼き割れ, 磁性等について未だ研究すべき點が多々残されている。本論文においては組織を調整するためおよび研磨割れや焼割れを防ぐために行う焼鈍熱処理が組織およびその後の硬質性および磁性に如何に影響をおよぼすかを研究した。

II. 試料および實驗法

實驗に用いた鋼材の化學成分は 1.02% C, 3.63% Cr, 0.23% Si, 0.38% Mn, 0.019% S, 0.02% P である。試料を作るにはまず鋼材を實際作業に従い厚さ 6.5 mm, 幅 19.5 mm の帶狀に熱間壓延し, 空中放冷後長さ 102 mm に切斷した。壓延の際の加熱のために表面部は多少脱炭しているがその深さは約 0.1~0.2 mm であつた。焼鈍は脱炭を防ぐために函中密閉して行い, 保持時間は 2hr として爐中冷却を行つた。硬度は Rockwell C を用い試料の横斷面を 4ヶ所で測定し平均した。磁性は彈動電流計法で測定し, 殘留磁束密度 B_r としては便宜上見掛けの値 B_r' を採用した。最高外部磁場は 1100 Oe であつた。焼入はその温度に 10 分間保持した後油中で行つた。

III. 實 驗 結 果

1. 焼鈍温度と硬度との關係

種々の焼鈍温度において焼鈍した各 3 本の試料について

Fig. 1 Dependence of Annealing Temperatures on the Hardness. (Annealed for 2 hrs).

硬度測定しその平均値を求め, Fig. 1 を得た。すなわち焼鈍温度が 700° から高くなれば硬度は低くなり, 800° 位で最低で 850° で

は寧ろ増加を示している。しかしてこの組成を有する合金の A_{c1} 変態點は村上博士等⁽¹⁾の研究の結果によれば 780° であるから A_{c1} 點直上で焼鈍することによつて最低の dead soft の硬度が得られる。

2. 焼鈍温度と組織との關係

この種の鋼は自硬性があるためにこの寸法に熱間壓延し空中冷却されたものはマルテンサイトまたはマルテンサイトとトルースタイトの混合組織を示し, 大量壓延して積み重ねた内部の比較的徐冷された部分はトルースタイト組織を示している。これらのものを 700~850° の各温度に焼鈍した場合には Photo. 1~4 に示すような組織になる。すなわち 700° で焼鈍したものはトルースタイト, ソルバイトの組織, 750° の場合は完全にソルバイト組織, 800° のものは炭化物が球狀化している。しかるに 850° になれば球狀化した炭化物の外に再びソルバイト組織が現われてく

* 東北金屬工業株式會社

る。これらの組織の変化から Fig. 1 の硬度の変化を説明することが出来る。すなわち 800° の変態点直上で焼鈍したものは完全に球状化して dead soft の状態になつており、850° 焼鈍のものはオーステナイト中に溶け込んだ炭化物の一部が冷却の際に自硬性のためにソルバイト組織になり硬度が高くなつて

Photo. 1 Annealed at 700° for 2 hrs.

Photo 2 Annealed at 750° for 2 hrs.

Photo. 3 Annealed at 800° for 2 hrs.

Photo. 4 Annealed at 850° for 2 hrs.

800°, 850° (A_{c1} 点以上) 焼鈍のものは硬度は焼入温度 840° までは餘り変らないが、860° で急に高くなり A_{c1} 点以下

たものは完全に球状化して dead soft の状態になつており、850° 焼鈍のものはオーステナイト中に溶け込んだ炭化物の一部が冷却の際に自硬性のためにソルバイト組織になり硬度が高くなつて

3. 焼鈍温度と焼入硬度との関係

まず 700°, 750°, 800°, 850° で焼鈍し、これらの試料を各々 800° から 20° 毎に 880° までの 5 種類の温度から油中焼入して硬度および磁気を測定した。測定値はすべて 3 本の平均である。Fig. 2 には硬度の測定結果を示してある。圖から明らかなように焼入温度の如何にかかわらず焼鈍温度が A_{c1} 点以下低いほど焼入硬度が高く、 A_{c1} 点直上の 800° 以上になれば焼入硬度差が少くなる。この傾向は Fig. 1 の焼鈍温度と硬度との関係と変化の傾向が似ていることが判る。

次に焼入温度と硬度との関係を見るに、 A_{c1} 点以下 700°, 750° 焼鈍のものは焼入温度の上昇と共に硬度は増すが 840° のところに硬度の谷が現われているが、860° で急に硬度が高くなり、その後は上昇が緩慢になる。

の焼鈍のものと同じ傾向になる。以上の結果は焼鈍後の炭化物が小さいほど、焼入硬化性が強いことを示している。

Fig. 2 Dependence of Oil Quenching Temperature on the Hardness Caused by Quenching, for Specimens Previously Annealed at 700~750°.

(Annealed for 2 hrs, Quenched after held at every temp, for 10 min).

これは炭化物の大きさと焼入硬化性との関係を研究した E. C. Bain⁽²⁾, Y. Bauzin⁽³⁾, A. S. Jameson⁽⁴⁾, 三橋氏等⁽⁵⁾の結果からも想像されることである。

4. 焼鈍温度と焼入後の磁性

次に磁性の測定結果を Fig. 3~5 に示した。

Fig. 3 には見掛けの磁束 B_r' を示してある。 B_r' は焼

Fig. 3 Relation between Oil Quenching Temperature and Apparent Remanence B_r' , for Specimens Previously Annealed at 700~850°.

- (2) E. C. Bain, Trans. A. S. S. T., **20** (1932), 385.
- (3) Y. Rauzin, Steel, **1** (1941), 68.
- (4) A. S. Jameson, Iron Age, **162**(1948), 72, 81, 88.
- (5) 三橋, 上野, 中川, 津谷, 鐵と鋼, **38**(1952), 413.

(1) 村上, 綿織, 岡, 金屬の研究, **6** (1929), 313.

鈍温度が Ac_1 点直上までのものは焼入温度が 840° まで緩慢に上昇するか、または少し下降する等不規則な変化

Fig. 4 Relation between Oil Quenching Temperature and Coesive Force H_c for Specimens Previously Annealed at $700\sim 850^\circ$.

Fig. 5 Relation between Oil Quenching Temperature and Apparent Energy Product $B_p \times H_c$ for Specimens Previously Annealed at $700\sim 850^\circ$.

をするが、 860° になると急に上昇し、 880° になれば再び低下する。しかし焼鈍温度が Ac_1 点を越した 850° 焼鈍のものは最高 Br' を示す温度が高温度の方に移り 880° 位のようなのである。次に一定温度から焼入れた場合の Br' におよぼす焼鈍温度の影響を考察しよう。 Br' は焼鈍温度が Ac_1 点以下では温度が低いほど高く、 Ac_1 点直上では最低になり、 Ac_1 点を越せば再び高くなる。

抗磁力 H_c に対する焼鈍温度および焼入温度の影響を示す測定結果は Fig. 4 である。焼入温度 840° 以下における H_c は焼鈍温度が Ac_1 点以下の場合では温度が低いほど低く、 Ac_1 点を越せば再び高くなる。しかし焼入温度が 860° 以上における H_c は 700° 焼鈍のものが最高で焼入温度 880° では 700° 焼鈍のものは下降気味を示し、 Ac_1 点附近 ($750^\circ, 800^\circ$) で焼鈍したものは餘り變らないが、 Ac_1 点以上 850° で焼鈍したものは明らかに低下を示している。

磁石の優良度を表わす見掛けの磁束 Br' と抗磁力 H_c

との積を Figs. 3, 4 から求めると Fig. 5 のごとくなる。圖から明らかなように曲線の傾向は Fig. 3 (Br') の場合と大同小異である。以上これらの磁気的特性は焼鈍温度およびその後の焼入温度の影響に對しほとんど硬度和同じ傾向にある。

5. 焼入後 100° で 8 時間時効を與えた場合の硬度および磁性

一般に磁石鋼の場合は焼入後磁性の安定を保つために時効を與えて使用する。焼入後 100° で 8 時間加熱した場合の硬度および磁性は Figs. 2~5 中に破線で表わした。Fig. 2 から判るように焼鈍温度が Ac_1 点以下のものは焼入温度が 840° 以下では時効によつて硬度は多少上り、 840° 以上においては低下する。また焼鈍温度の如何に拘らず 340° から焼入したものは硬度は時効後もほとんど變らない。

次に時効による磁性は Figs. 3~5 中の破線で示した曲線から判るように焼入のまゝの實線の曲線より低くなっている。特に抗磁力 H_c (Fig. 4) は焼入温度が高いほどおよび焼鈍温度が Ac_1 点以下低いほど時効による低下度が大い。これは時効による硬度の變化と同様の傾向を示しており、焼入温度が高いほど、また炭化物が微細なほど容易に焼が入りマルテンサイト中に固溶する炭化物の量が多く、 100° の加熱により炭化物が容易に析出した結果と考えられる。

IV. 總 括

以上の實驗の結果を要約すれば次のようになる。

(1) 熱間延後空冷せる Cr 磁石鋼の焼入前の調質のための焼鈍温度が、焼入後の硬化性および磁性に對して如何なる影響を與えるかを研究し次の結果を得た。(a) 焼入硬化性、硬変測定および鏡鏡の結果により焼鈍温度が Ac_1 点以下では焼鈍硬度および焼入硬度は共に温度の低いほど高く、 Ac_1 点以上では焼鈍硬度は水平か多少上り氣味になり、焼入硬度は少し高くなり、この原因は焼鈍後の炭化物の微細化の程度によるものであることが判つた。(b) 見掛けの殘留磁束および抗磁力を測定し、磁性は焼鈍温度が Ac_1 点を境として低いほど高く、 Ac_1 点で最低になり、それ以上においては再び高くなり、その變化の様相は焼鈍温度と焼入硬化性との關係と並行的である。

(2) 焼入後 100° で 8 時間加熱して硬度ならびに磁性を測定し、時効によつて両者が減少し、その程度は低温焼鈍および高温焼入のものほど大きく、かつまた全體としての傾向は時効前と同じである。

終りに臨み本研究の發表を許可された會社當局へ敬意を表すると共に、終始御懇切なる御指導を賜りました東北大學の岩瀬先生ならびに御丁寧なる御校閲を賜りました白川先生に感謝の意を表します。なお本實驗の遂行に當り柴田梯次郎、中村善吉、鈴木覺および岡本西育の諸氏の絶大な御援助を受けましたことを記して謝意を表します。