

軸受鋼の変態*

安倍浩二**・橋口隆吉***

THE TRANSFORMATION OF BALL-BEARING STEEL

Kozi Abe and Ryukiti R. Hasiguti, Dr. Eng.

Synopsis:

The authors studied the continuous cooling and isothermal transformation of ball-bearing steel after austenitizing at 1050°C for 30 min. The results were as follows. (1) The beginning curve of pearlite transformation during continuous cooling calculated by Pumphry-Jones method were found to be in reasonable agreement with those determined experimentally. (2) In the products of continuous cooling transformation, no primary cementite and bainite were found, when the C and Cr contents were richer, while some primary cementite and bainite were found, when the C and Cr contents were poorer.

I. 緒言

亜共析鋼の等温変態と連続冷却変態の関係についてはすでに多数の研究がある。過共析鋼の場合には等温変態に関しては相当研究されている^{1)~5)}が、連続冷却変態はほとんど研究されていない。筆者等は過共析鋼の等温変態と連続冷却変態の生成物の顕微鏡組織および変態開始曲線の関係を知るために軸受鋼第2種 (SUJ2) の連続冷却変態および等温変態を研究し両者を比較した。またパーライト範囲およびベーナイト範囲の変態開始時間に対するC, Cr等の影響およびそれに関連した連続冷却変態の様相の変化を知るために軸受鋼第2種の規格内でC, Cr%の異つた試料について二, 三の実験を行つた。

II. 実験方法とその結果

電弧炉で溶製した軸受鋼第2種材を32mmφの丸棒に鍛造しJominy試験片および等温変態用試験片を採取した。試料の化学成分は次表の通りである。試料1のCおよびCr%は規格の上限に近く試料2のCおよびCr%は規格の下限に近い。

先ず試料1について(1)~(3)の実験を行つた。

(1) オーステナイト化条件の決定

試料のオーステナイト粒度が不均一だと変態が一様に

進行しないおそれがあるので、10×10×20mmの試片を2個採取しタンマン管の底に入れて木炭の粉をつめそれぞれ1000°Cおよび1050°Cに30mn保持後730°Cまで炉冷、730°Cに30mn保持して炭化物を粒界に析出させ再び炉冷して5%ピクラルで腐蝕、検鏡して粒度を調べた所1000°Cの方は粒度6~10の混粒、1050°Cの方は粒度約3の齊粒であつた。また1000°Cの方は球状炭化物が完全に固溶せず若干残留しているが、1050°Cの方は残留炭化物は認められなかつた。この結果によりオーステナイト化条件を1050°C×30mnと決定した。

(2) 連続冷却変態

先ずJominy試験片を用いLiedholmの方法によつて冷却曲線を求めた。すなわち水冷端からそれぞれ10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70mmの点に0.6mmφアルメル・クロメル熱電対の先をフラッシュウェルドした10本の試験片を1本づつ炉に入れて1050°C×30mnオーステナイト化後Jominy試験機で一端焼入を行い50~20°C降下する毎にストップウォッチで時間を測定した。炉は横型の管状エレマ炉で鋼管中に試験片を入れ木炭で脱炭を防いだ。熱電対はPt.-Pt.-Rd熱電対で補正した。

次に同じ条件で一端焼入した試験片をホルダーに20,

Table 1. Chemical composition of the samples.

Samples	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
1	1.10~1.13	0.39~0.40	0.41~0.42	0.013~0.017	0.010~0.012	1.56~1.59	0.12	0.14~0.18
2	0.97	0.21	0.36	0.024	0.016	1.41		

* 昭和31年4月本会講演大会にて講演 ** 東京大学工学部 *** 東京大学教授, 工博

30, 50, 70, 95, 140, 200, 290, 420, 600 sec 保持した後水中に完全焼入し深さ 0.4mm に平削し硬度と組織を調べた。水温は約 20°C とした。試験片は径 1 吋長さ 4 吋の標準試験片で内径 1 吋の鋼管に入れ管の内外に十分木炭を入れて脱炭を防いだ。脱炭の程度を知るため深さ 1 mm に平削して組織を比較したが深さ 0.4mm の位置の組織との相違は認められなかった。

正誤：Fig. 1. 中 実線左側の P は右側の誤り

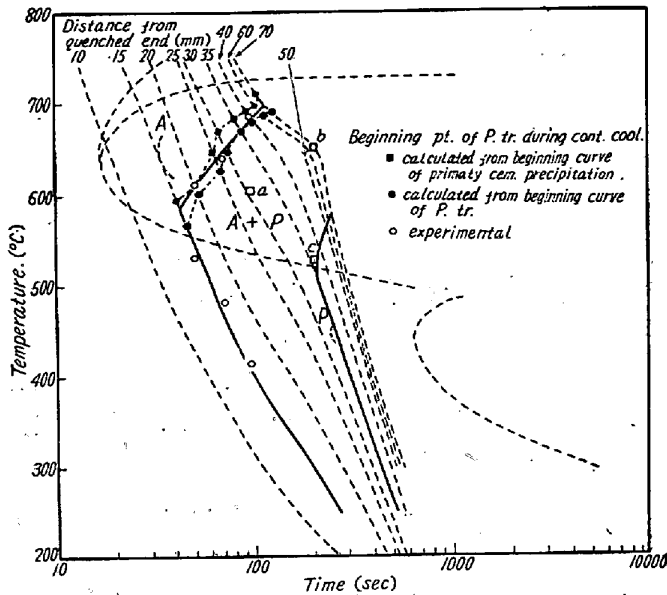


Fig. 1. CCT-diagram of SUJ 2 (A.T. 1050°C)

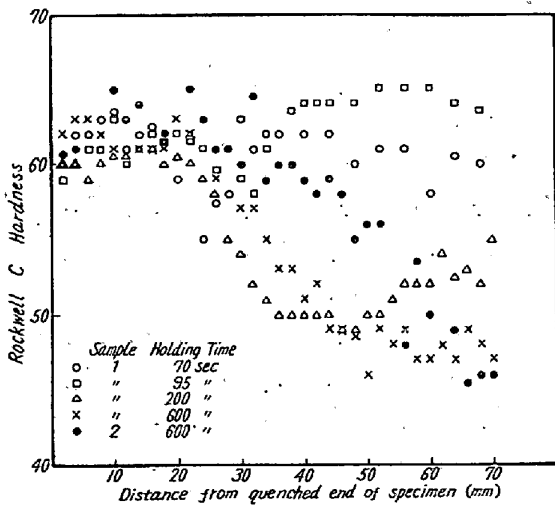
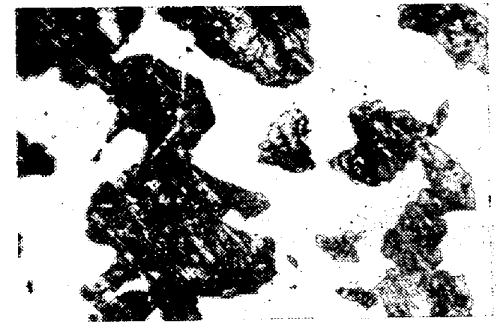


Fig. 2. Hardness curves of Jominy bars, quenched after holding in spray fixture for indicated time.

顕微鏡組織によって決定した変態曲線を Fig. 1 に、硬度を Fig. 2 に示す。ベーナイトおよび初析炭化物は認められず組織は広義のパーライトだけでそれが生成の温度および冷却速度によって形状を異にしている。Fig. 1 の a, b, c および 10mm 保持して完全焼入した試験



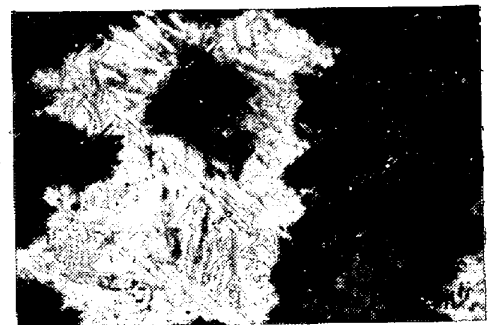
(a) ×500 (2/3)



(b) ×500 (2/3)



(c) ×1200 (2/3)



(d) ×500 (2/3)

Photo. 1. Microstructure of products formed during continuous cooling of sample 1.

片の水冷端から 28mm の位置 (d) の組織を Photo. 1 に示す。(a) は粒界に析出した多角形状のパーライト、(b) は冷却速度が遅く輪郭は丸味を帯び倍率をさらに高くすると層状組織が識別できる。(c) は層状組織であるが (b) より層の間隔がせまい。(d) の黒い部分は

高温で先に析出したパーライト，灰色の部分は低温で後から析出したパーライトと考えられる．腐蝕はいずれも5%ピクラルを用いた．

(3) 等温変態

5mm 角の立方体の試片を管状エレマ炉に入れ，木炭の粉で脱炭を防ぎ，1050°C×30mn オーステナイト化後所定の温度に保たれた鉛浴または塩浴中に急冷し，所定の時間保持後水中に焼入れ組織を見た．塩浴は KNO₃ 51% NaNO₂ 49% の組成で 300°C と 350°C の等温保持に用い，鉛浴は 400~700°C の等温保持に用いた．

変態開始曲線は Fig. 3 の通りである．初析炭化物は 500°C では針状結晶をなしパーライト範囲の他の温度ではオーステナイト粒界に析出し，450°C 以下のベーナイト範囲では認められなかつた．Fig. 3 の a, b, c, d, e, f の位置の変態生成物の顕微鏡写真を Photo. 2 に示す．腐蝕は何れも 2% ナイタルで，(a) は普通の下部ベーナイト，(b) は下部ベーナイトの針が少々太くなり (c)，(d) は上部ベーナイトであるが (c) の方が輪郭の凹凸が多い．(e) は低倍率で見るとオーステナイト粒界に析出した黒い組織であるが倍率を上げると写真のように針状の炭化物に黒色のパーライトと白い点状のフェライトの混じた組織が識別できる．変態時間 10mn ですでに三者の共存した組織が見られるが針状の炭化物が黒色のパーライトを貫通している点から考えて針状炭化物が先ず析出し続いてパーライトおよびフェライトが析出したと考えられる．これは A. Hultgren³⁾ が求めた C 1%, Cr 1% の Cr 鋼の等温変態曲線のパーライト領域の最下部で炭化物，フェライト，パーライトの順に変態が開始している部分に相当すると考えられる．(f) は粒界に析出したパーライトである．

(4) 試料 2 の変態

Table 1 の試料 2 を用い Jominy 試験を行い等温変態開始曲線のパーライトおよびベーナイトのノーズの位置を測定した．

(i) Jominy 試験．10mn 間一端焼入を行つた後完全焼入した試験片の組織検査の結果水冷端から 50mm で始めてパーライト 100% の組織となり，それより水冷端に近い 40mm 附近に Photo. 2 (c) の 400°C の等温変態のベーナイトおよび Photo. 2 (e) の 500°C の針状炭化物，フェライト，パーライトによく似た組織の双方が観察された (Photo 3 (a))．この後の組織を倍率を高めて見たのが Photo. 3 (b) である．硬度測定の結果は Fig. 2 に示すように硬度の降下する点が試料 1 に比べ著しく右に寄っている．

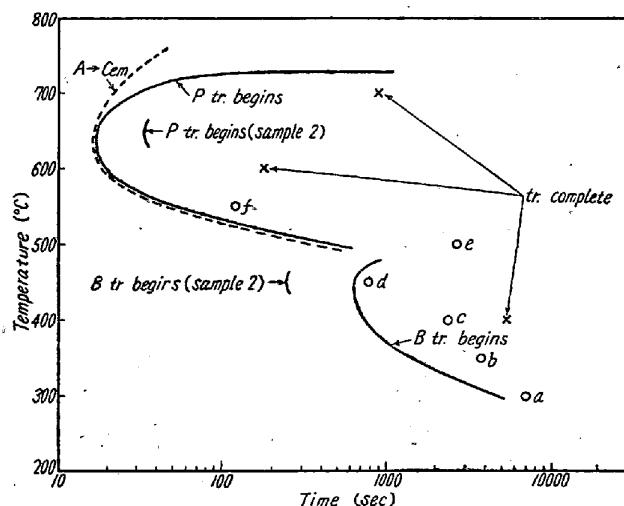
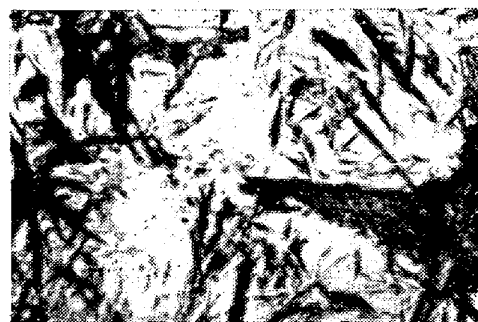


Fig. 3. Isothermal transformation diagram of SUJ2. (A.T. 1050°C)



(a) ×500(2/3)

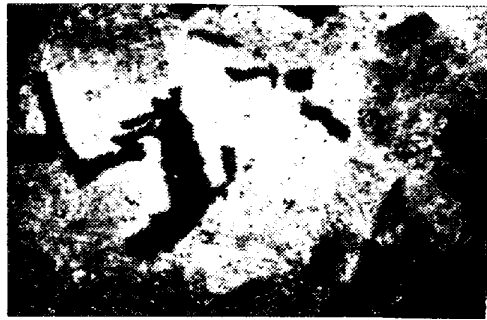


(b) ×500(2/3)

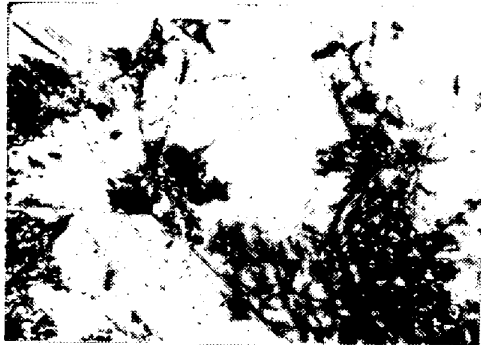


(c) ×500(2/3)

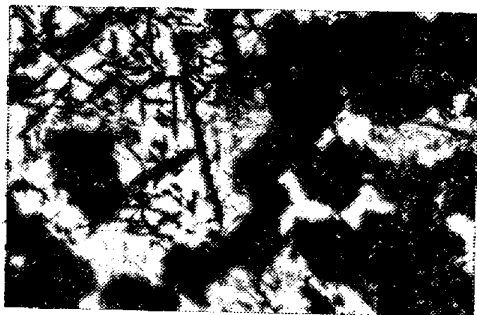
Photo. 2. Microstructure of products formed during isothermal transformation of sample 1.



(d) ×400(2/3)



(e) ×1200(2/3)



(f) ×500(2/3)

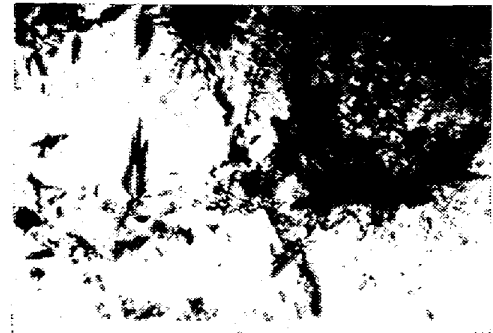
Photo. 2. Continued

(ii) パーライトのノーズ: 変態開始時間は Fig. 3 に示すように試料1の大体2倍である。試料2は試料1より Cr, Si, Mn が少くこの事は変態開始を早めるが C の減少による遅延効果の方が大きい。

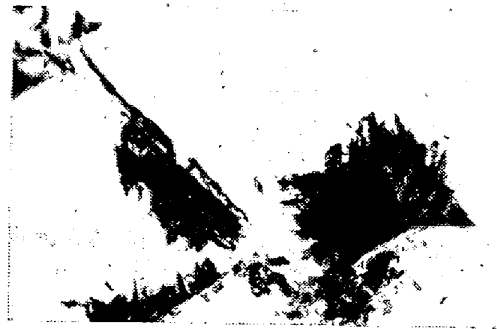
(iii) ベーナイトのノーズ: 変態開始時間は試料1の大体半分でこの場合 C, Si, Mn, Cr の減少がすべて変態開始を早める。

II. 等温変態と連続冷却変態の関係

先ず試料1の場合等温変態では初析炭化物が認められたが連続冷却の場合は認められなかつた。これは連続冷却の場合初析炭化物が独立せずに続いてパーライトが析出するためと考えられる。等温変態の初析炭化物の析出



(a) ×500(2/3)



(b) ×1200(2/3)

Photo. 3. Microstructures of products formed during continuous cooling of sample 2.

開始曲線とパーライト変態開始曲線から連続冷却のパーライト変態開始曲線を Scheil の仮定に基づく Pumphry-Jones²⁾ の方法で計算すると Fig. 1 に示すように何れも大体実験結果と一致する。またベーナイト変態は等温変態開始が著しく遅く計算の結果は連続冷却ではベーナイトを生じないことになり実験結果と一致する。比較のため Fig. 1 に Fig. 3 の等温変態開始曲線を記入した。

C の少い試料2の方はノーズだけで正確なことはわからないがパーライトのノーズの変態開始時間は試料1の2倍近くベーナイトのノーズの変態開始時間が半分以下である (Fig. 1) ことは、Jominy 試験の結果パーライト 100% の位置が水冷端から著しく遠くそれより水冷端に近い箇所にベーナイトが出ている事実と一致する。

なお等温変態のベーナイト変態開始時間が類似の成分の鋼に関する外国の文献^{3,4)} のデータより著しく大きいのは成分の少しの違いが案外大きな影響をおよぼすためではないかと思うが、これらの文献の場合とはオーステナイト化温度が異なるのでそれ等の影響も考慮に入れてさらに検討する必要がある。

III. 結 言

軸受鋼第2種材を 1050°C で 30mn オーステナイト

化し炭化物を完全に固溶させたものの連続冷却変態曲線を Liedholm の方法によつて求めこれを等温変態曲線と比較した。結果を要約すれば

1. 等温変態のパーライ変態開始線から Pumphry-Jones の方法で連続冷却の変態開始線を求めたところ、いずれも実験結果とよく一致した。

2. 初析炭化物は等温変態の場合パーライト範囲にだけ認められ、500°C では針状の炭化物を形成し、他の温度ではオーステナイト粒界に析出した。連続冷却の場合 C, Cr% が規格の上限に近い試料では初析炭化物は認められなかつたが規格の下限に近い試料ではベーナイトの現われた位置に針状炭化物が認められた。

3. 軸受鋼第2種の規格範囲内でも成分特にC%によつて変態開始時間が相当異りC%の多いものはベーナイトのノーズがパーライトのノーズに比べて著しく右方にあり、そのため連続冷却の場合ベーナイトが全く認められないが、C%の少ないものはパーライトのノーズが右にベーナイトのノーズが左に移動するので連続冷却の際少量のベーナイトが認められる。

終りに臨み試料の製作その他に関し御援助下さつた日本精工株式会社服部喬、喜熨斗政夫の両氏、実験上種

々の便宜をお与え下さつた東大の芥川武教授、熱電対の溶接に関して御教示下さつた運輸技術研究所鈴木春義氏、有益な御教示を与えられた機械試験所三橋鉄太郎氏、実験に協力して下さつた中島陽三君に感謝の意を表する。(昭31-4月寄稿)

文 献

- 1) U. S. Steel Co., Atlas of isothermal transformation diagrams.
- 2) T. Lyman, A. R. Troiano: Metals Technology A.I.M.E. Tech. Publ. No. 1801, Sept 1945
- 3) A. Hulthren: Rev. de Met., 1953 pp. 737~760, pp. 847~867
- 4) T. Ko and S. A. Cottrell. J.I.S.I. 1952, Vol. 172, pp. 307~313.
- 5) A. Hultgren, Transaction of A. S. M., 39 (1947), pp. 915~1004
- 6) W. Jeliinghaus, A. Rosse and H. Holetzko Arch. Eisenhttenw. (25) 1954, p. 251
- 7) W. I. Pumphry and F. W. Jones, J.I.S.I. 1948, Vol. 159, pp. 137~144

異方性 MK 磁石の研究 (II)*

(熱処理と組織について)

三 島 徳 七**・牧 野 昇***

STUDIES ON ANISOTOROPIC MK PERMANENT MAGNET (II)

(On the Heat Treatment and the Structure)

Tokushichi Mishima Dr. Eng. and Noboru Makino

Synopsis:

The magnetic properties in the anisotropic MK magnet alloy has been proved to be sensitive to the heat treatment. Effects of solution treatment, cooling conditions in magnetic field, and aging treatment on the magnetic properties were examined on the specimens of representative composition, and the optimum heat treatment was determined as follows:

The specimens are solution-treated by heating for 10 or 20 minutes at 1200 or 1250°C, and cooled in a magnetic field of 1500 oersteds or so. The optimum cooling rate for magnetic treatment is 1°C/sec when going from 900 to 800°C. The action of the field is effective from the Curie point to 150°C below. In age hardening, the alloy is held for 1 or 3 hours at 600 or 625°C. The magnetic properties can be improved by the growth of columnar crystals. On the specimens subjected to the optimum heat-treatment, any precipitation cannot be discerned. It is suggestive that the magnetic anisotropy and high coercive

* 第41回本会講演大会にて発表 ** 東京大学名誉教授 *** 株式会社東京計器製造所, 磁鋼製造所