

加工変態測定装置と応用例*

関野 昌蔵**・森 直道***・田向 陵****

Apparatus for Measurement of Deformation-CCT Curves and Its Applications

Shozo SEKINO, Naomichi MORI, and Shinogu TAMUKAI

Synopsis:

An apparatus has been devised with which the transformation processes can be dilatometrically measured after compressive straining. With this apparatus, the deformation CCT curves can be drawn, and also the recrystallization process of austenite can be studied.

The deformation CCT curves were drawn for a 60 kg/mm² class high tensile steel. By deformation, ferritic and bainitic transformations shifted the higher temperature and shorter time region. Ferritic transformation started along γ grain boundaries. In general, when a specimen with deformed γ grains was quenched, the micro-structure became finer and the hardness also higher.

Recrystallization of deformed γ grains was studied by the use of an 80 kg/mm² class high tensile steel. When the degree of deformation was high, many γ grains originated along the prior γ grain boundaries and fine γ grains resulted. When the degree of deformation was low, the recrystallization was not clear, and the extraordinary grain growth occurred.

(Received Feb. 22, 1973)

1. 緒 言

CCT 曲線はいままでにも溶接性の評価、熱処理の条件選定などに広く使われてきている。しかし加工後の冷却中の変態挙動を知りたい場合には従来の CCT 曲線では不正確である。加工によって変態挙動がかなり変わるからである。そこで従来の CCT 曲線の測定装置に加工が加えられる機構をとりつけた新装置を開発した。

本論文ではこの新装置の概略と、これを使つて求めた加工 CCT 曲線、さらに加工過程での γ 粒の再結晶挙動を紹介する。

2. 実験方法

2.1 実験装置

CCT 曲線をえがくのには富士電波製のフォーマスターと称する便利な装置が市販されている。われわれはこの装置に試料の加工を加える機構をとりつけることを計画し、同メーカーと共同で開発をすすめた。加圧方式は円柱形試料を上下の石英ガラスの間にはさんで油圧で圧縮する方式である。Fig. 1 には加工 CCT 装置、すなわち加工フォーマスターのブロック結線図を、Fig. 2 には装

置の概念図を示す。加工量はあらかじめ石英ブロックの間隔をセットすることで定める。加圧速度は0.5~5 mm/secの範囲内で可変であり、最大 50% の圧縮加工が可能である。加工終了後 2~3 sec で測定をはじめられる。

2.2 試料および実験方法

試料は普通に使われている 60 キロ級、および 80 キロ級の高張力鋼の実験室での圧延材である。その化学成分は Table 1 に示す。この試料から 6 mm ϕ \times 15 mm の丸棒を切り出した。温度測定は試料の中央表面に熱電対をとりつけて行なつた。

第 1 の実験は試料 A を用いた加工 CCT 曲線の作成であり、条件として

加熱条件：1 250° \times 10 min

加工温度：1 000° および 900°C

加工度：0, 20, 50% を選んだ。

第 2 の実験は試料 B を用いた γ 粒の再結晶挙動の実験である。条件は、

* 昭和48年 2 月22日受付

** 新日本製鉄(株)八幡技術研究所

*** 新日本製鉄(株)製品技術研究所

**** 新日本製鉄(株)生産技術研究所

Table 1. Chemical composition of samples (%).

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Ti	N	Remarks
A	0.14	0.43	1.13	0.016	0.007	0.03	0.01	0.18	—	0.03	0.0009	0.013	0.0040	Quench and tempered, 60 kg/mm ² class
B	0.17	0.27	0.97	0.007	0.006	0.27	0.06	1.00	0.46	—	—	—	0.0100	Quench and tempered, 80 kg/mm ² class

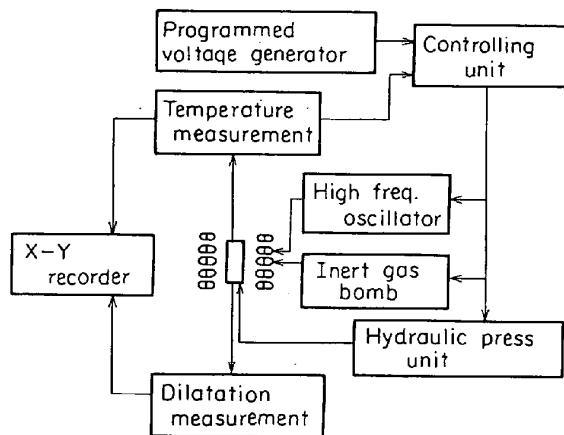


Fig. 1. Block diagram of Formaster with deformation device.

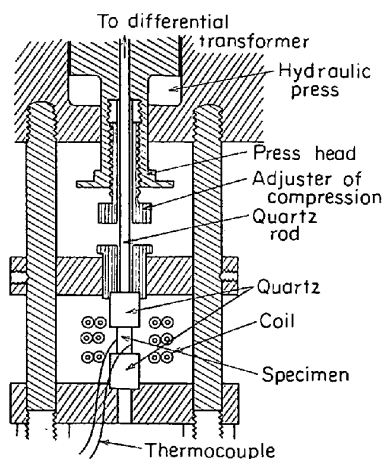
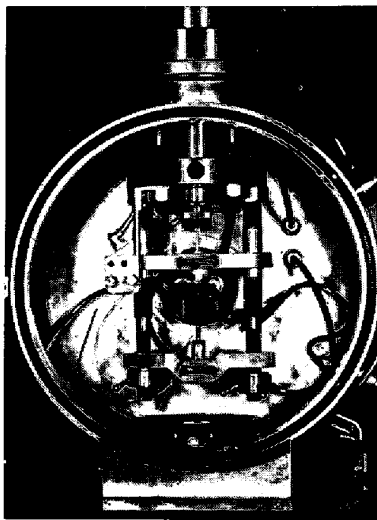


Fig. 2. Formaster with deformation device.

加熱条件：1 250°C × 10 min

加工温度：950°C

保持温度：同上

加工度：5, 20, 50%

を選んだ。

3. 実験結果

3.1 試料 A の加工 CCT 曲線

Fig. 3 は 1 000° で加工したときの曲線を加工しない普通の CCT 曲線と比べたものである。加工によつてフェライト変態の開始温度は高まり、開始時間は短時間側へずれる。要するにフェライト変態が起こりやすくなるということである。Fig. 4 は加工度の影響がはつきりするようにならせた 3 つの曲線を重ねて示した。さきの傾向は加工度とともにいちじるしくなることがわかる。一方ベーナイト変態の終了点（温度、時間）はほとんど動かない。Fig. 5 は加工温度を 900° としたときの結果である。同一加工度でも、加工温度が低くなるにしたがつて、フェライト変態の開始点はより高温、短時間側へ移動することがはつきりわかる。

Fig. 6 には加工度と冷却速度の関数として冷却後の硬さを示す。冷却速度が 8°/sec 以下では加工によりより軟化するが、それ以上ではかなり硬化することがわかる。

Fig. 7, 8 には 1 000°, 900° で加工した場合の冷却速度による変態開始温度の変化を示す。加工の影響は冷却速度が速くなればことに顕著になること、ベーナイト変態開始温度が高まることわかる。

Photo. 1 には加工しない場合と 900° で加工した場合の組織を比較して示した。1°C/sec とゆつくり冷却した場合は、加工するにしたがつてフェライト粒は微細化され、パーライトコロニーも細まかくなることがわかる。10°C/sec で冷却した場合は加工度とともに旧 γ 粒界からのフェライト変態が促進されることがわかる。30°C/sec で冷却したときは加工度とともにベーナイト組織は微細化されることがわかる。

Photo. 2 は 1 000° で 50% 加工したときの組織を示すが、これと Photo. 1 の 900° で 50% 加工したときの組織を比べることによつて加工温度の影響を知ることがで

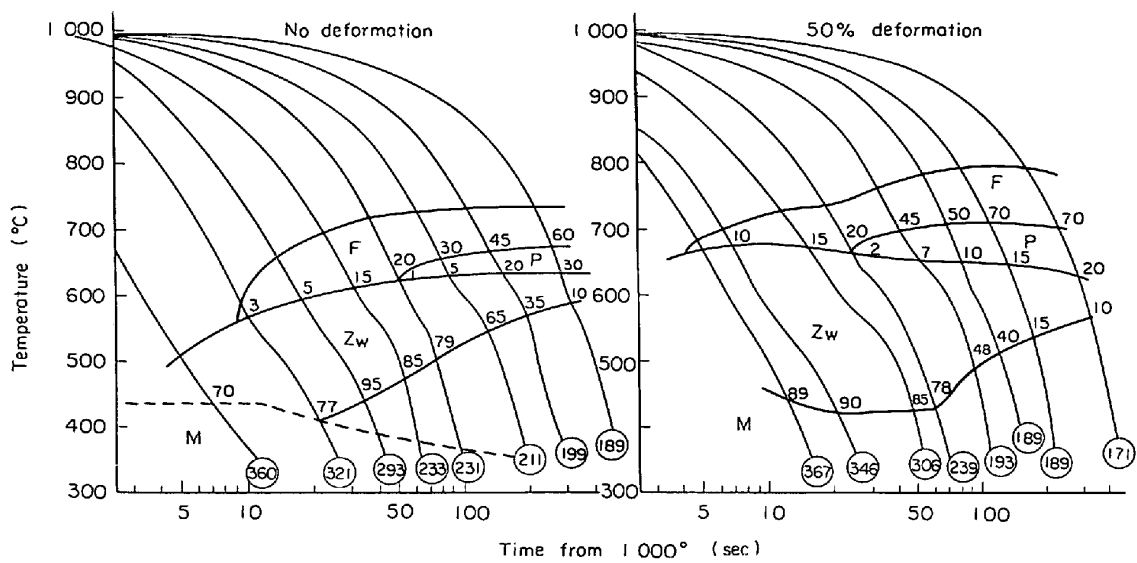


Fig. 3. Change of CCT curves by deformation in steel A. Heating condition, 1250°×10 min.

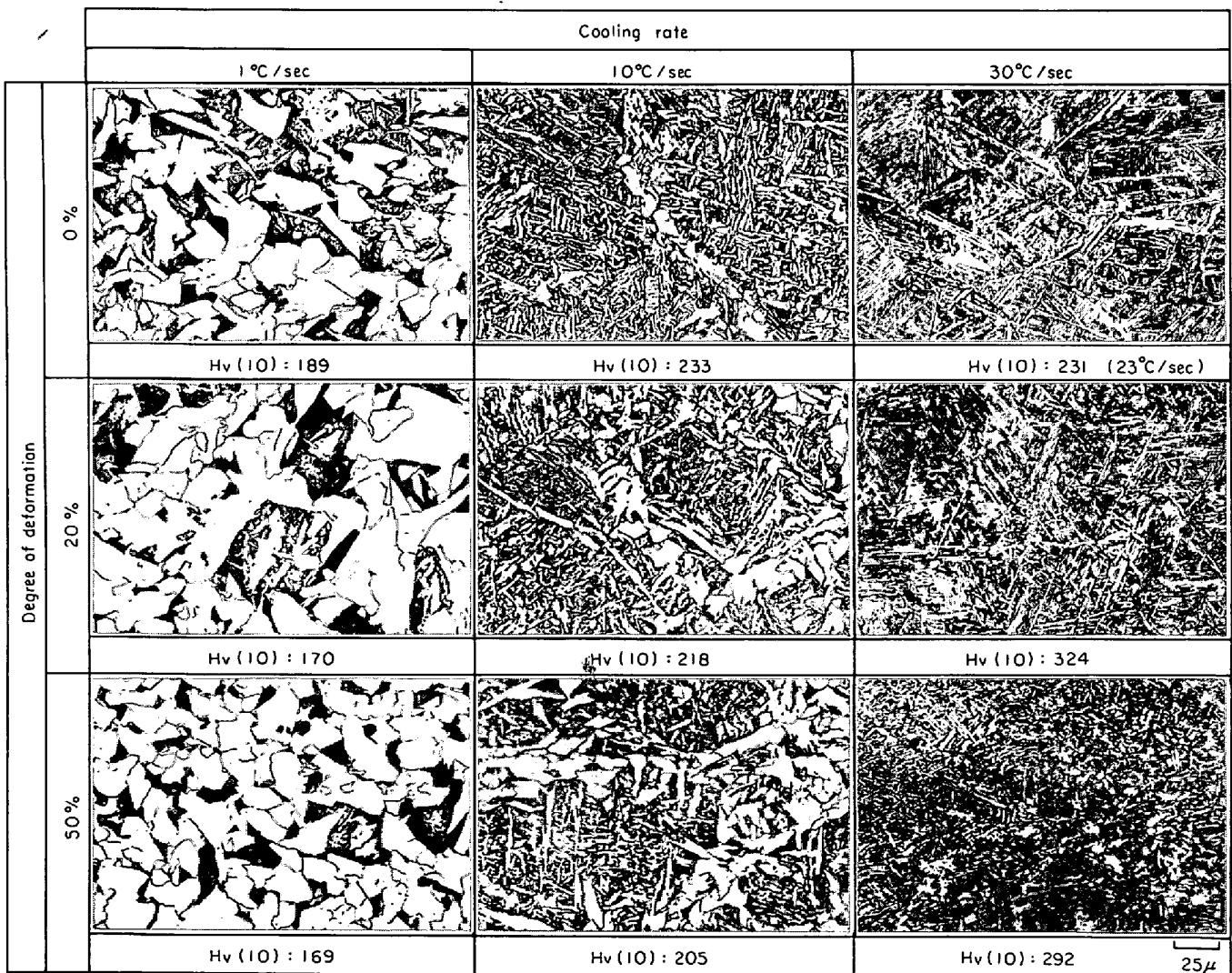


Photo. 1. Micro-structures. Deformed at 900°.

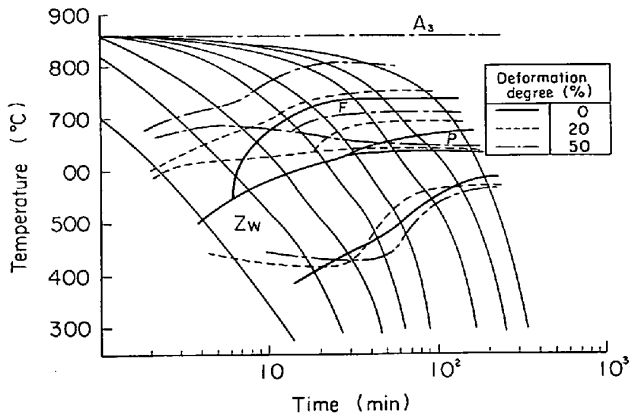


Fig. 4. Change of CCT curves with the degree of deformation. Heating condition, $1250^{\circ} \times 10$ min; deformation temperature, 1000° .

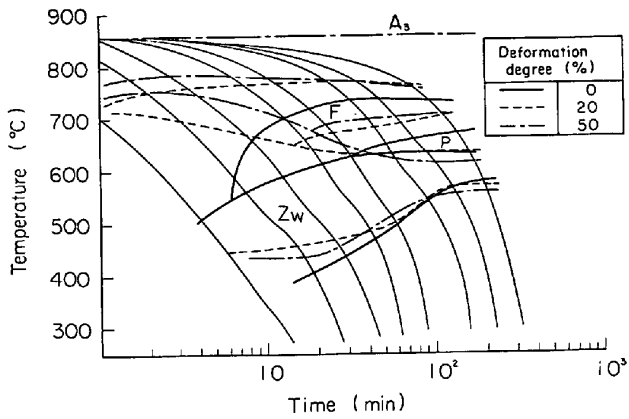


Fig. 5. Change of CCT curves with the degree of deformation. Heating condition, $1250^{\circ} \times 10$ min; deformation temperature, 900° .

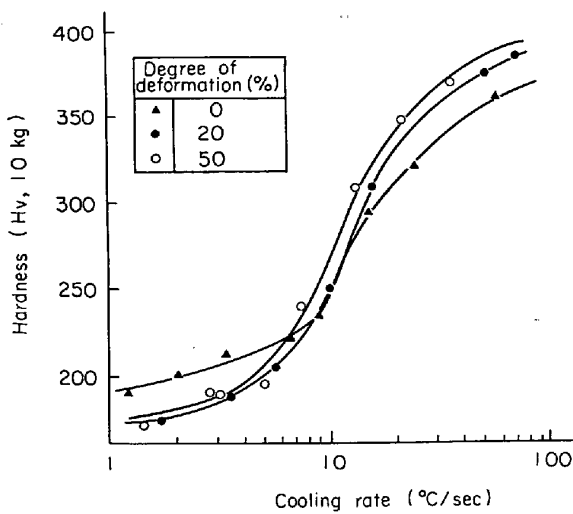


Fig. 6. Change of hardness with cooling rates and the degree of deformation. Cooling rate is the mean value between $860^{\circ} \sim 400^{\circ}$. Deformation temperature, 1000°C .

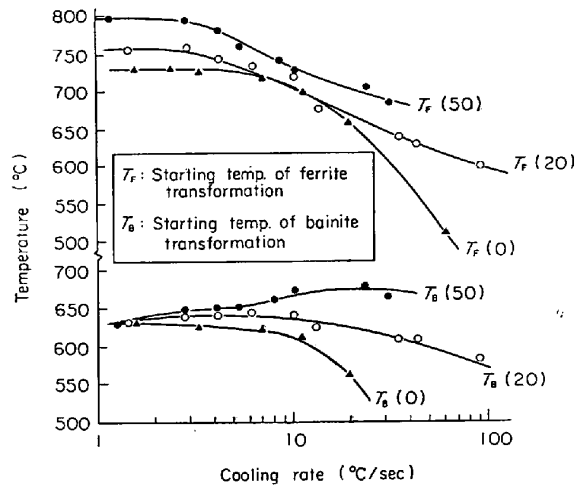


Fig. 7. Relation between transformation temperature and cooling rate. Deformed at 1000° by 0, 20 and 50%. Cooling rate is mean value between $1000^{\circ} \sim 400^{\circ}$.

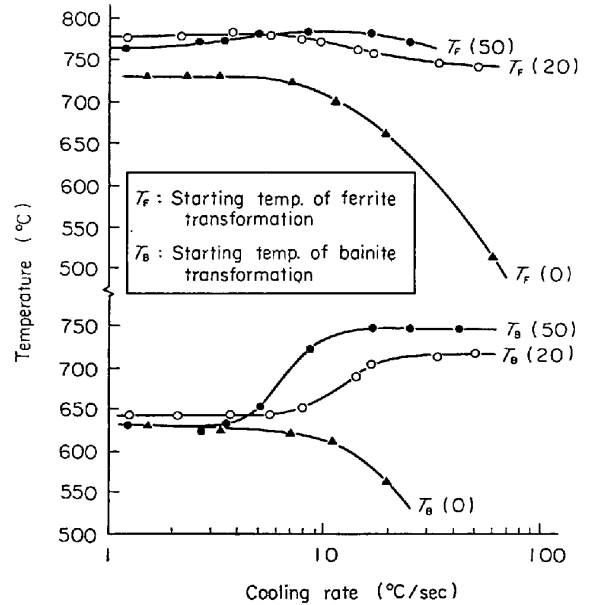


Fig. 8. Relation between transformation temperature and cooling rate. Deformed at 900° by 0, 20 and 50%. Cooling rate is mean value between $900^{\circ} \sim 400^{\circ}$.

きる。低温で加工するほど加工の影響、すなわちフェライト粒の微細化、旧 γ 粒界からのフェライト変態の促進、パーライト組織の微細化が顕著になることがわかる。

3.2 試料 B での加工 γ の再結晶挙動

この装置は任意の量だけ加工できて、しかも任意の温度に保持することができるので、加工後の γ の再結晶挙動などを調べるのにも適している。Photo. 3 には試料 B を 1250° で 10 min 保持後 950° で、5, 20, 50% 加工後 0~30 sec その温度で保持したときの γ 組織を示し

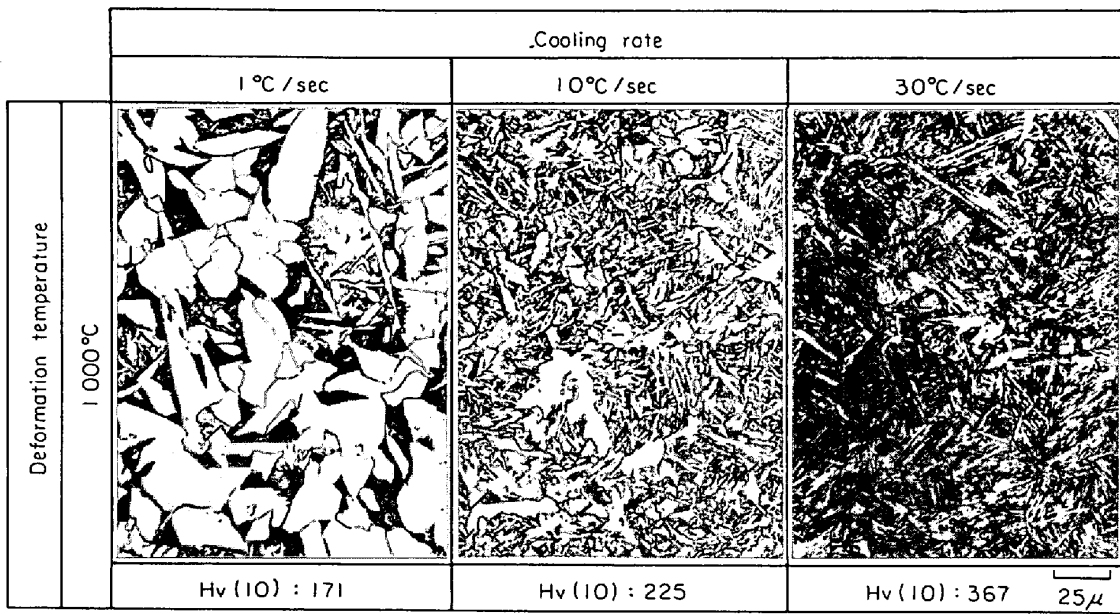
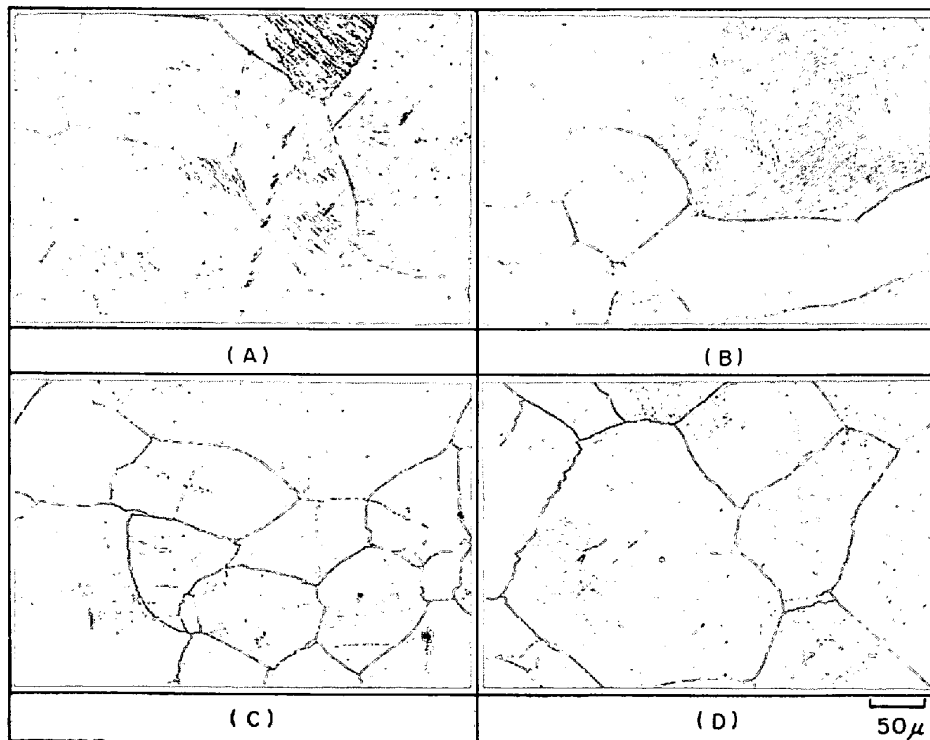
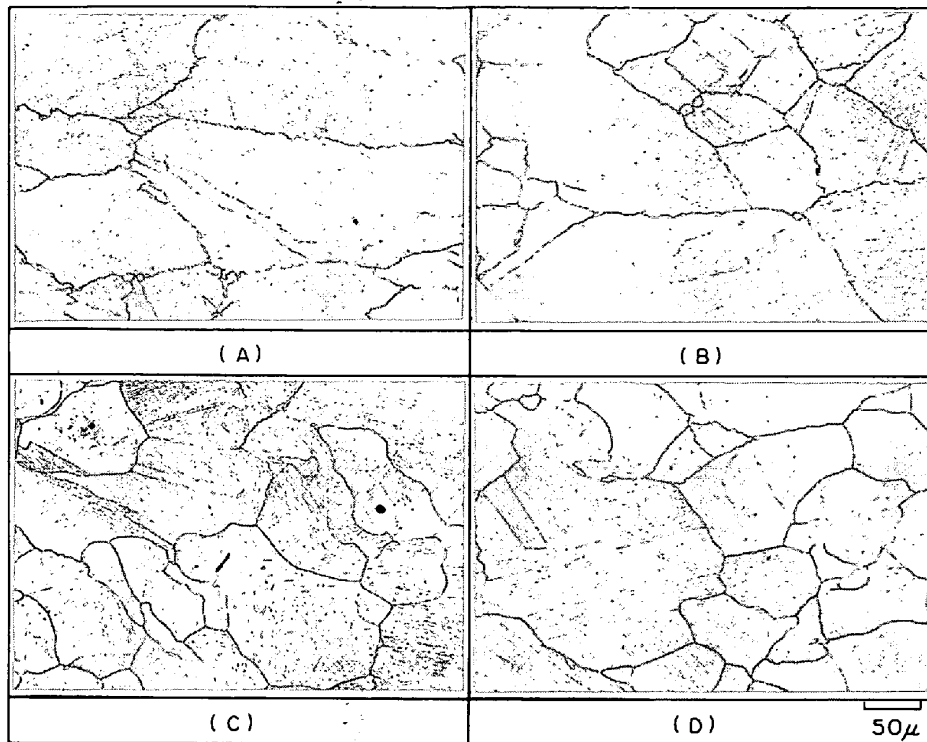


Photo. 2. Micro-structures. Degree of deformation, 50%.



Heating temp. (°C)	1250
Deformation temp. (°C)	950
Degree of deformation (%)	5
Holding time (sec)	(A) 0
	(B) 4
	(C) 15
	(D) 30

Photo. 3-1. Recrystallization of γ -structure in steel B.



Heating temp. (°C)	1250
Deformation temp. (°C)	950
Degree of deformation (%)	20
Holding time (sec)	(A) 0
	(B) 4
	(C) 15
	(D) 30

Photo. 3-2. Recrystallization of γ -structure in steel B.

た。エッチは焼入試料について表面活性剤を加えたピクリン酸で行なった。加工度5%でははつきりしないが、30 secの保持では再結晶は完了しているとみられる。加工度20%では、4 sec保持では再結晶はきわめて部分的であり、15 sec保持ではほぼ完了している。加工度50%では加工直後でも γ 粒界で部分的再結晶が起こっており、4 secの保持で γ 粒界からの再結晶はすすむ。15 sec保持では再結晶は完了して整粒になっており、30 sec保持では部分的に粗大化している。この例からもわかるように加工 γ 粒の再結晶挙動の研究には加工フォーマスター装置は効果的な研究手段といえる。

4. 考 察

4.1 本装置の問題点

本装置の問題点として以下の点があげられる。

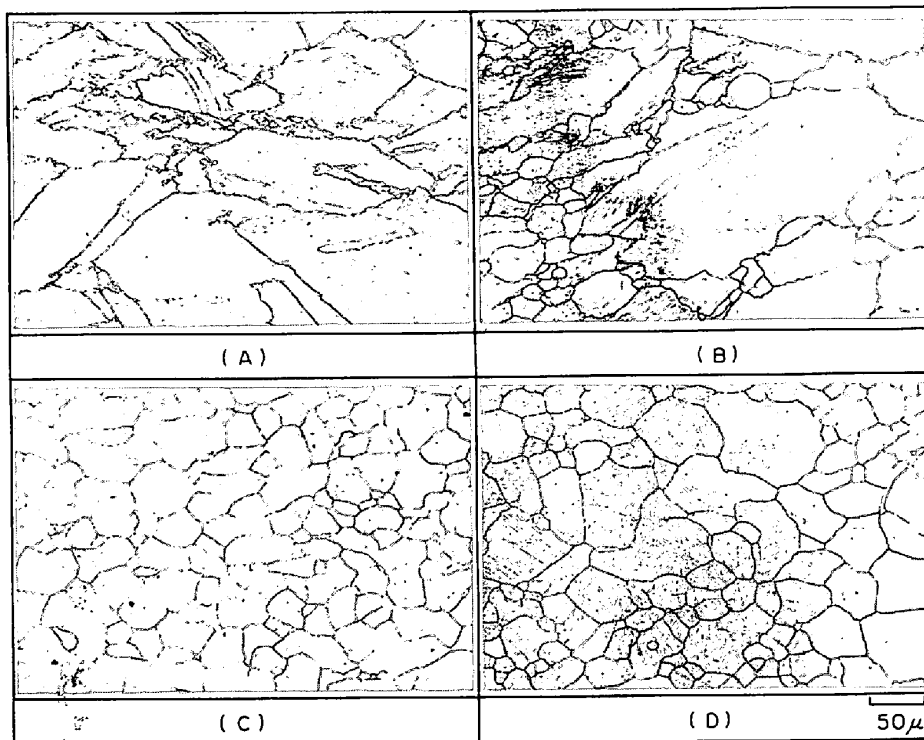
- i) 石英のブロックがわれやすいこと。
- ii) 石英ブロックの重さのために膨張の検出感度が普通のフォーマスターと比べて若干悪いこと。
- iii) 試料内の加工度がかなり不均一なこと。
- iv) 歪速度が現実の圧延材と比べて小さいこと。

などである。i) については石英を固定することでかなり改善されるが、根本的には材質の検討が必要である。ii) iii) については名案がない。iv) については油圧装置のパワーの増加が必要であろう。いずれにしろ今後さらに改良していく必要がある。

4.2 加工 CCT 曲線

単に熱処理の基礎データとしてなら従来の CCT 曲線で十分であるが、最近各所でこころみられている TMT (Thermo-mechanical treatment) やホットストリップ圧延後の組織検討には従来の CCT 曲線は不十分である。それは加工によつて変態点はかなり変るからであり、加工 CCT 曲線は TMT の基礎データとして有効である。

SMITH ら、HAERAKEN は加工 CCT 曲線を作成しており¹⁾²⁾加工によつてフェライトおよびペーナイト変態が促進されるといつている。われわれの結果も同じである。加工が加わると、オーステナイト中に塑性歪エネルギーが蓄積されるが、これが変態によつて開放されること、もともとフェライト変態は体積膨張をともなうことから、引張応力(圧縮であるが試料表面は引張応力が働



Heating temp. (°C)	1 250
Deformation temp. (°C)	950
Degree of deformation (%)	50
Holding time (sec)	(A) 0
	(B) 4
	(C) 15
	(D) 30

Photo. 3-3. Recrystallization of γ -structure in steel B.

いている)が変態を促進することからも上の結果は理解できる。変態はことに旧 γ 粒界から起こるが、粒界に歪が集中することからも当然といえる。

加工 CCT 曲線を実際に使う場合には、実際の圧延が数パス以上の圧延であり、この間でたえず再結晶、回復の過程が起こっていることを考えなければならないであろう。

すなわち加工 CCT 曲線は通常の CCT 曲線よりは実際に近いものの、やはり実際の状態をほんとうに再現していないといえよう。

4.2 硬 さ

オーステナイトの加工状態から速い速度で冷却したときは Hv にして 30 程度は硬くなる。これは引張強さにして 7 kg/mm² 程度に相当する。この硬化の原因はペーナイト組織が微細になることで説明できよう。これは加工 γ からの変態では核発生が起こりやすいこと。加工による γ 粒の微細化で説明できよう。冷却速度が遅くなると、加工が加わっているとフェライト変態が促進されることから、当然焼きが入るべき鋼でも不完全焼入状態となりかえって硬さが低下する。

5. 結 論

(1) 加工後連続冷却中で変態温度を求められる装置を試作した。この装置を用いれば加工 CCT 曲線図を作成することができる。この加工 CCT 曲線は実用的には直接焼入処理、ホットストリップでの圧延冷却条件の決定などに通常の CCT 曲線より有効である。

(2) 加工後の焼入処理では、加工によりフェライトペーナイト変態が促進される。組織がフェライトペーナイトとなる場合でも、加工が加われば粒は微細になる。ペーナイト組織となる場合は組織は緻密となる。

(3) 焼入後の硬さでは、完全に焼きが入った組織に比べれば加工が加わることで、Hv で 30 程度は硬くなる。焼きの入らない組織では逆に加工で軟化する。

(4) 本装置を用いれば、加工をうけた γ 粒の再結晶過程を研究することができる。

文 献

- 1) Y. E. SMITH and C. A. SIEBERT: Met. Trans., 2(1971), p. 1711
- 2) L. HABRAKEN and M. ECONOMOPONLOS: Liege 大学, 工学部報 No 8 (1968)