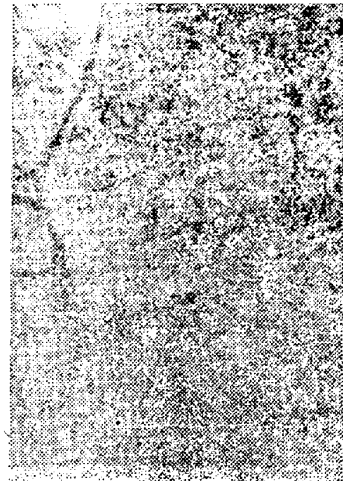


添加せるものは若干析出硬化を阻止する傾向が認められ Ti 0.5% 添加せるものはその傾向を認めない。又全試料共析出硬化の著しく起るのは最印の 30mm 間で、その後は保熱時間を増すに従つて極めて少しづつ、硬度の上昇衝撃値の低下を示すに過ぎない。

又 1200° より水冷したる試料に於ては 750° に 1h 保つ時は最初の衝撃値に對して 1/4~1/5 に迄低下し、その後は長時間保熱による低下は殆どない。即ち焼入温度 1100° の場合でも 1200° の場合でも 750° に保つ時間 30mn ~ 1h の間にこの温度に於ける炭化物の析出が最盛に起り、その後は徐々に起るのであるから、この種の鋼の熱處理としては焼入後 750° に 1h 保持して置けば使用温度がこれ以下の場合には充分である。又本實驗に於て添加した程度の V 又は Ti によつては顯著なる影響は認め難いが、1100° 焼入の場合と同様この場合にも Ti 0.2% 添加試料の衝撃値低下が他のものに比し若干少い様である。

尙 1200° 焼入後 750° に加熱したるものでは、粗大結晶粒の内部に劈開面に沿つて炭化物の析出が認められるが、この種のもは極めて脆弱であり又 750° に 5h 以上加熱したるものに於ては寫眞第 4 に示すが如く小き多角



寫眞第 4 (×500)

試料 35, 1200° 水冷,  
750° × 5h.

形の Ti 化合物が認められる事もある。

### (3) 總 括

(i) 14%Cr-14%Ni-W 耐熱鋼に V 又は Ti を單獨に添加したる場合には過熱による結晶粒粗大化阻止には殆ど効果がない。(ii) 1100° 又は 1200° 焼入後 750° に保持することによる炭化物析出状況は、最初の 1h 以内に大部分析出を終りその後は極めて少しづつ、析出量を増加する。加熱温度を 1200° とすると結晶粒の發達著しく従つて材質を脆弱化する。(iii) V 又は Ti の添加により炭化物析出阻止に對し期待するだけの効果は得られず、幾分効果を認め得るゝものは Ti 0.2% 程度加へたもので、0.5% 添加は多きに過ぐる様に思はれる。

終りに臨み本研究に對し御指導御鞭撻を賜りし渡邊社長、玉置研究部長並に村上武次郎先生に深甚の謝意を表す。(昭. 23.10月寄稿)

### 脚 註

8) 寺島氏, 誌上未發表.

9) 濱住, 輓近鐵鋼及特殊鋼 (昭19), 271. 大屋博士は V 炭化物として  $V_5C$  ( $\beta$ ) 又  $V_4C_3$  ( $\epsilon$ ) の存在を認め, Vogel-Martin 兩氏は  $V_4C_3$  のみを認めて居る.

10) 「數種の構造用特殊鋼の過熱に関する研究」(鐵と鋼, 29 (昭18), 704) に於て著者は構造用特殊鋼の過熱によるオーステナイト結晶粒の粗大化に對して熔解の際の脱酸剤の種類及量が影響を及ぼす事を實驗的に證明した. オーステナイト鋼の結晶粒に關しては未だかゝる實驗を完成して居ないが, 矢張りこの場合にも添加元素の種類及量の影響があるものと推定される.

## 大型特殊鋼材の軟化焼鈍への等温變態の應用 (I)

(昭 23. 4 月本會講演大會講演)

堀 川 一 男\*\*

### FULL ANNEALING OF LOW ALLOY STEEL THICK FORGINGS BY A ISOTHERMAL TRANSFORMATION. (I)

Kazuo Horikawa.

Synopsis; The purpose of this study was to save fuels, equipments and labours required for full annealing of low alloy steel thick forgings.

In this first report, theory of isothermal annealing and fundamental studies carried out on small spacimens were given..

\*\* 日本鋼管株式會社技術研究所

The steel used was a medium C low Ni-Cr-Cu-Mo steel contg. 0.30~0.35% C, 0.6~1.0% Mn, 1.0~1.8% Ni, 1.0~1.3% Cr, 0.2~0.4% Cu and 0.4% Mo.

To determine the S-curve of this steel, thermal expansion was measured and microstructure and hardness of specimens quenched after isothermal heating were investigated.

The results obtained were summarized as follows:

(1) This steel can be full annealed within 5 hrs. if its supercooled austenitic state is kept and transformed at 660~670°C, 6 hrs. at 650~680°C and 9 hrs. at 640°C

(2) The isothermally annealed steel is satisfactorily softened and its Brinnel hardness number is below 200.

(3) The microstructure of the isothermally annealed steel is quite different from that of the ordinary annealing, but the time required for heating in the quenching operation those steels was not varied between these two different annealing structures.

(4) That different annealing process has no influence on the mechanical properties of the steel after hardening and tempering.

## I. 緒 言

一般に特殊鋼は熱処理によつてその性能を高度に發揮せしめて使用する。熱処理効果を高める爲には（機械加工の能率向上にも）熱処理前に素材の餘肉を出来るだけ除去する必要がある。然るに特殊鋼は自硬性が大であるから鍛造後軟化焼鈍を行はなければ硬度が高く機械加工が困難である。従つて特殊鋼を取扱ふ場合には軟化焼鈍が重要な工程になつて、その適否は直接生産能率に影響を及ぼす。特に大型特殊鋼材の軟化焼鈍作業には、努力、時間、設備及び燃料を大量に要するから最も經濟的に行ふ方法につき研究する必要がある。

著者は等温變態を應用する事に着想し、室内的基礎實驗から始めて外徑 660mm 長さ 4500mm 肉厚 90 mm 重量 6t の大型鋼材による現場的實驗まで行ひ、時間設備及燃料の節約上有効なる事を確認し得た。

以下第 1 報に於ては主として室内實驗につき述べる。

## II. 等温變態焼鈍法

特殊鋼を鍛造後普通の冷却方法で冷却せしめると A/r

が完了せず未變態のオーステナイトが低温で變態を起す爲に硬度高く切削困難となり又種々の缺陷を生成するのである。

E.C.Bain 等<sup>1)</sup>は炭素鋼を  $A_3$  以上に加熱して  $A_1$  以下の各温度に急冷し、その温度に保持すれば、或る時間後變態が開始し一定時間經過後完了する事を發見し

(1) 變態完了に要する時間には A/r に相當する極小點が存在する

(2) 變態により生成する組織の硬度は保持温度の高い程低い

と述べてゐるが、特殊鋼でも同様の傾向を示す事が其後の Kaiser Wilm. Inst. 等に於ける研究によつて明かにされた。

代表的特殊鋼に就て、變態完了時間の極小を示す温度及時間の例は第 1 表に示す通りであつて、鋼材を鍛造後此の温度に保持すれば比較的短時間で變態を完了せしめ得て完全軟化と缺陷の防止が可能の筈である。尙現場作業の都合で直ちに焼鈍に移れぬ場合は、徐冷後再び  $A_3$  以上に加熱して本法に移ればよいわけである。

第 1 表 特殊鋼の上部變態完了時間の極小を示す温度及時間

鋼 種	C	Mn	Ni	Cr	Mo	變態温度	變態時間
Cr-Mo 鋼	0.29	0.43	0.60	1.84	0.25	720°C	22分
Ni-Cr "	0.33	0.44	3.10	1.66	0.14	600 "	23 "
低Ni-Cr-Mo "	0.30	0.56	1.10	1.92	0.52	710 "	46 "
Mn-Cr-Mo "	0.27	1.92	0.34	1.45	0.54	690 "	4 時間10分
低Ni-Mn-Cr-Mo "	0.28	1.76	1.17	1.47	0.31	670 "	7 " 47 "
Ni-Cr-Mo "	0.25	0.88	3.24	1.62	0.51	650 "	23 " 20 "

### III. 等温變態曲線の決定

前述の通り、等温焼鈍を行ふには、豫め該鋼種に就いて變態完了時間の極小を示す變態温度を決定する必要がある。此の目的で供試鋼種の上部變態曲線を作製した。

#### a) 供試材

酸性平爐で熔製した、下表に示す如き化學成分を有する低 Ni—Cr—Cu—Mo 鋼であつて、徑 30mm 及 10mm の丸棒に鍛造後適當に切斷並に機削した。

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo
A	0.30	0.30	1.0	<0.035	<0.035	1.0	1.00	0.40	0.4
B	0.35	0.30	0.6	<0.035	<0.035	1.8	1.30	0.20	0.4

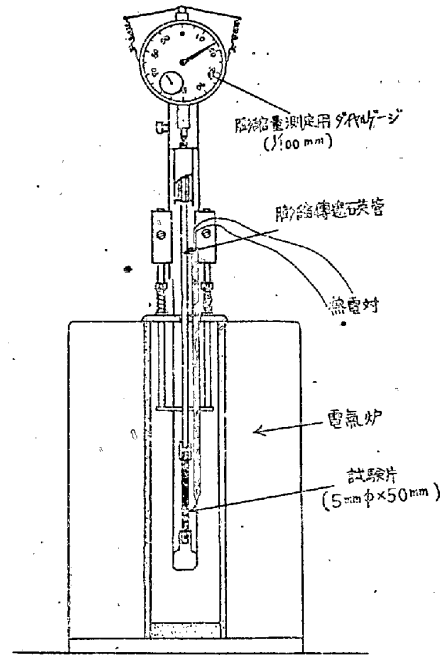
#### b) 實驗方法及裝置

主として熱膨縮の測定に依つたが、補助として焼入試験を行つた。

熱膨縮測定装置は第 1 圖に示す通であつて、徑 5mm 長さ 50mm の試片を管狀電氣爐内に挿入し、其の膨縮を石英棒にて「ダイヤルゲージ」に傳達せしめて讀取るのである。

實驗方法は、試片を 850°C に加熱後急速に 630, 650, 670 及 690°C の各温度迄冷却して該温度に保持し、膨縮の進行状況を觀察した。

焼入試験は、徑 30mm 長さ 20mm の試片を電氣爐にて 850°C に加熱後 600, 630, 650, 670, 690 及 700°C

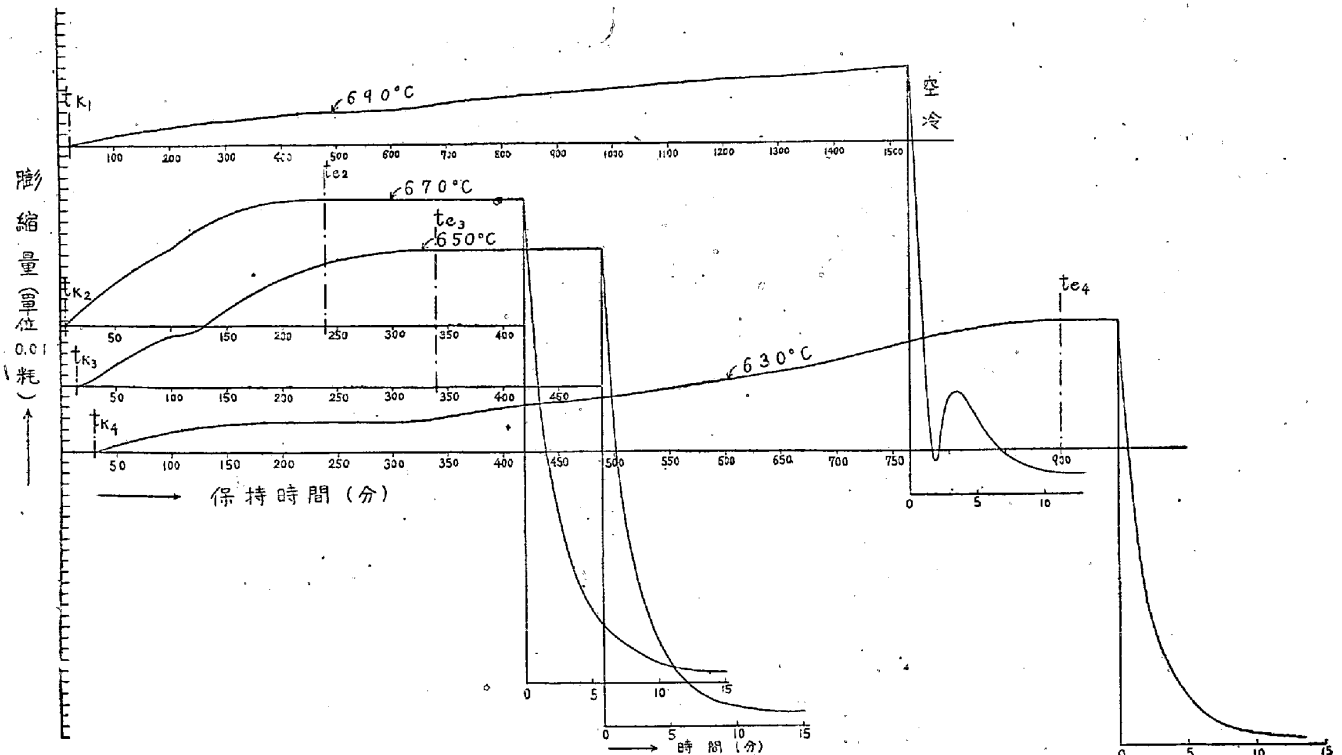


第 1 圖 熱膨縮試験裝置

の金屬浴中に浸漬し該温度に一定時間保持後油中に焼入れて、その顯微鏡組織とブリネル硬度を檢したのである。

#### c) 測定結果

熱膨縮試験の測定結果は第 2 圖の如くであつて、試片を變態温度に保持すると、暫時の後膨脹を開始し、時間の経過につれて次第に膨脹するが一定時間後は膨脹が止り、以後空冷すると收縮する。然し膨脹の進行途中で空

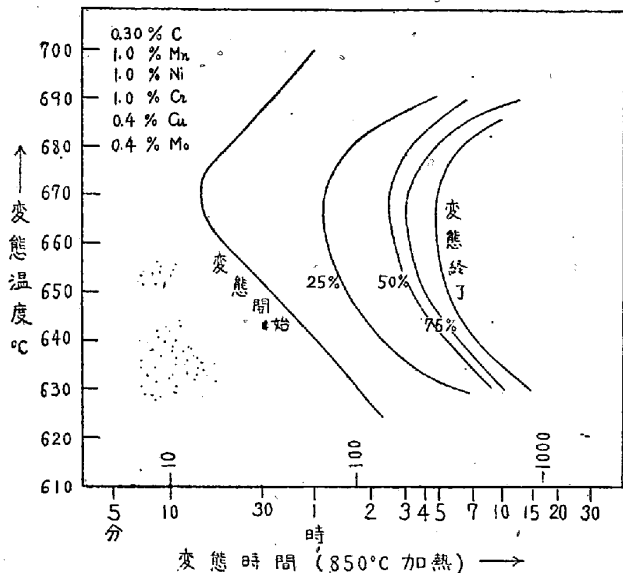


第 2 圖 熱膨縮試験成績 (材質 B)

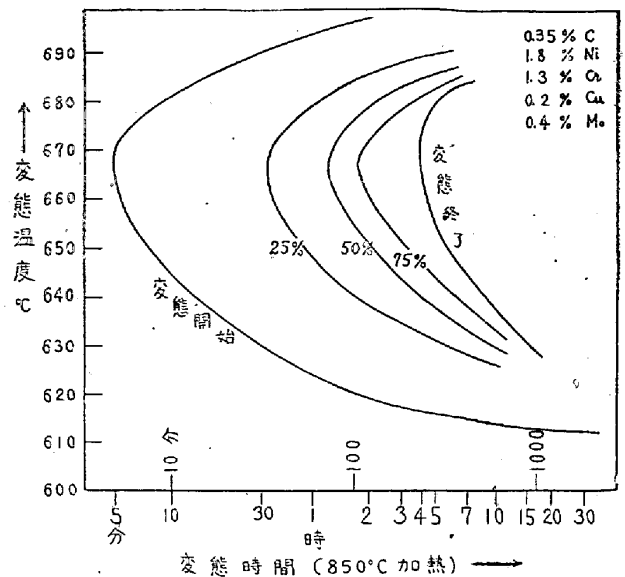
冷すると、冷却中に再び膨脹を起す。之等は $\gamma$ 相から $\alpha$ 相への變態に因る體積變化により説明出来る。

注意して觀察すると、膨脹過程が二段階に成つてゐるが、之は焼入試験と對照の結果オーステナイトの分解は第一段階としてフェライトの析出が先行し、第二段階としてパーライト及フェライトが析出する事が判つた。

焼入試験による顯微鏡組織及硬度の測定結果は、熱膨



第3圖A. A鋼の上部等温變態曲線



第3圖B. B鋼の上部等温變態曲線

縮試験の結果と大體一致(測定値省略)してゐた。

生成組織の硬度はブリネル 180~190 であつて、普通焼鈍材の硬度 190~200 に比し満足すべきものであつた。

以上の測定結果を基として等温變態曲線を決定すると第3圖の通りであつて變態の開始 進行 完了の狀況が明瞭に判る。

		等 温 焼 鈍					普 通 焼 鈍				
焼鈍試料の調製		 焼鈍所要時間 17R 50 min 衝撃値 (ft-lb) 18.3~16.4 2% Nital B. H. N. 174 x200 破面状態 密粒白					 焼鈍所要時間 28R 55 min 衝撃値 (ft-lb) 10.0~13.1 2% Nital B. H. N. 154 x200 破面状態 粗粒白				
		焼入 / 値 組織 2% Nital x200 B.H.N. 左 / 試料 7570°C x 2R 空冷 組織 2% Nital x200 B.H.N. 衝撃値 (ft-lb)					焼入 / 値 組織 2% Nital x200 B.H.N. 左 / 試料 7570°C x 2R 空冷 組織 2% Nital x200 B.H.N. 衝撃値 (ft-lb)				
調質後の材力に及ぼす影響	880°C 1R	油冷		467 471		340 26.2~26.0 26.0		467 451		343 29.5~30.0 29.5	
		空冷		298 298		273 13.0~12.0 12.5		295 295		277 13.9~13.9 13.9	
		石灰冷		277 272		259 11.4~12.2 11.8		282		259 11.5~10.3 10.9	
		炉冷		271 269		260 10.3~11.0 10.6		269 266		259 3.9~12.4 8.2	

第4圖 焼鈍試料の調製及び焼鈍方法の相違が調質後の材力に及ぼす影響

本圖から各温度に於ける變態完了時間を求めると次の如くである。

鋼種	A	B
保持温度 °C		
640	7 時間 40 分	9 時間 0 分
650	5 " 20 "	5 " 30 "
660	4 " 40 "	4 " 20 "
670	4 " 40 "	4 " 0 "
680	6 " 20 "	5 " 10 "

本表により、兩鋼種の急速焼鈍には 660~670°C の等温變態を行へば 5 時間以内で完了する事が判る。

#### IV. 材質に及ぼす影響の調査

等温焼鈍法の實用に當り豫め焼鈍方法の差異に因り後續熱處理作業及調質後の材力に如何なる影響があるかを確認し置く必要がある。

##### a) 試料の調製

現場の状況を加味して第 4 圖に示す要領で試料を作製した。生成試料の組織、硬度、靱性は圖示の通りであつて兩者間には可成りの差が認められる。

##### b) 焼入試験

焼鈍組織の相違に因つて焼入作業に於けるオーステナイト化の所要時間に差異ありや否やを確めんとした。

兩試料を 30mmφ×20mm に機削し 880°C の金屬浴中に 10, 30, 60 及 120 分間浸漬後油冷及空冷を行ひその硬度を測定した。試験結果は第 2 表の通りであつて

第 2 表 焼鈍材の焼入温度保持時間と焼入硬度 (材質 A)

880°C 保持時間	等温焼鈍		普通焼鈍	
	油冷	空冷	油冷	空冷
10 分	450	308	451	304
30 "	464	321	454	317
60 "	464	331	467	321
120 "	477	337	471	321

數字はブリネル硬度數  
試片寸法 15×15×15

兩者間に全然差異無く、何れも 30 分以上保持すれば大體均質なオーステナイトに成ると考へられる。

##### c) 調質試験

兩試料からアイゾット衝撃試験粗材を採り、880°C に 1 時間保持後油冷、空冷、石灰冷及爐冷の各冷却速度による焼入後 570°C で 2 時間保持空冷の焼戻を施行して、組織硬度及衝撃値を比較したのであるが、第 4 圖に示す通り兩者は全く一致してゐた。従つて新焼鈍法を採用しても後續熱處理及材質に悪影響なき事を確認し得た。

#### V. 總 括

特殊鋼は自硬性が大きいから普通の焼鈍方法では軟化に長時間を要するから、燃料、勞力及時間を節約する目的で等温變態を應用すべく、先づ基礎的實驗を行つた。

- (1) 試料として、構造用低 Ni-Cr-Cu-Mo 鋼を使用した。
- (2) 熱膨縮及焼入試験を基として供試材の上部等温變態曲線を決定した。
- (3) 供試鋼は、オーステナイト状態から過冷して 660~670°C で保持すれば 5 時間以内に 650~680°C では 6 時間以内に、又 640°C では 9 時間以内に完全に軟化する事が判つた。
- (4) 焼鈍後の組織は非常に異つてゐるが、硬度はブリネル 200 以下であつた。
- (5) 焼鈍組織に差異があつても、焼入作業に於けるオーステナイト化に要する時間には殆んど相違は認められなかつた。
- (6) 調質後の材力には、焼鈍法の相違に因る差は認められなかつた。

以上の如く、特殊鋼の軟化焼鈍作業に等温變態を應用すれば、材質及後續處理に何等害を及ぼすことなく、所要時間を 1/2 以下に短縮せしめ得る事が判つた。

(昭. 23. 11 月寄稿)

#### 文 獻

- (1) Davenport and Bain; Trans. A. I. M. E., 1930. P. 117
- (2) 河合; 本誌 27 年 (1941 年) p 663-71