

高炭素クロム鋼の炭化物の挙動と焼入性

Behavior and Hardenability of the Carbide of High Carbon Content Chrome Steel

宇和野 晃三* 佐藤 昭男* 渡辺 明*

Kōzō Uwano Akio Satō Akira Watanabe

内 容 梗 概

高炭素クロム鋼の球状化セメンタイトのオーステナイト中への固溶度がセメンタイト粒度、加熱温度および保持時間によって変化する様相およびこれらの諸因子がマルテンサイト基地に残留するセメンタイト中の成分組成変化に及ぼす影響を炭化物の電解分離法を利用して究明し、あわせてオーステナイト化処理の程度が焼入性に及ぼす影響を求めた。

1. 緒 言

高炭素クロム鋼で製造される鍛鋼焼入ロールおよび大形ベアリングレースなどの成績の良否は焼入深度やマルテンサイトの強さときわめて密接な関係を有しているが、これらの因子は焼入温度、保持時間のほかに焼入前の球状化焼鈍組織に影響を受ける。球状化セメンタイト粒の大小が焼入性に及ぼす影響については近藤氏⁽¹⁾はじめ多くの研究者^{(2)~(4)}によって明らかにされ、筆者らの1人⁽⁵⁾も軸受鋼の焼入性に及ぼす球状化セメンタイト粒度の影響を変態点測定やジョミニー試験を利用して定量的に検討した。近年電解分離法の進歩により炭化物の直接分離抽出が可能となり、軸受鋼の研究にも有力な実験手段であることが発表され^{(6)~(8)}、高炭素クロム鋼の研究に新分野を開拓したが、本報告は炭化物の電解分離法によって高炭素クロム鋼の炭化物を抽出し、セメンタイトのオーステナイト中への固溶度ならびに残留セメンタイト中の成分組成変化に及ぼすセメンタイト粒度、加熱温度、保持時間の影響を定量的に求め焼入性との関連性を検討したものである。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材の化学成分

本実験に使用した供試材は塩基性弧光炉で熔製された高炭素クロム鋼で第1表に供試材の化学成分を示す。

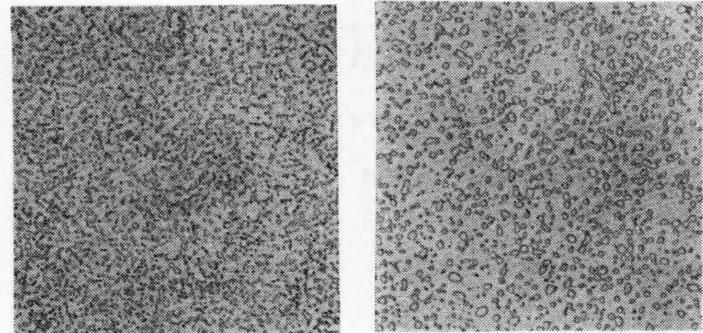
2.2 試料の作製

第1表の成分の鋼塊を鍛伸して $50\phi \times 150\text{mm}$ の丸棒を数多く作製し、これらを 880°C より焼準後、球状化焼鈍処理を行い、セメンタイト粒が細粒のものと粗粒のものとの2種類の試験片を調製した。さらにそれらを $10\phi \times 10\text{mm}$ に機械加工し熱処理実験ならびに電解分

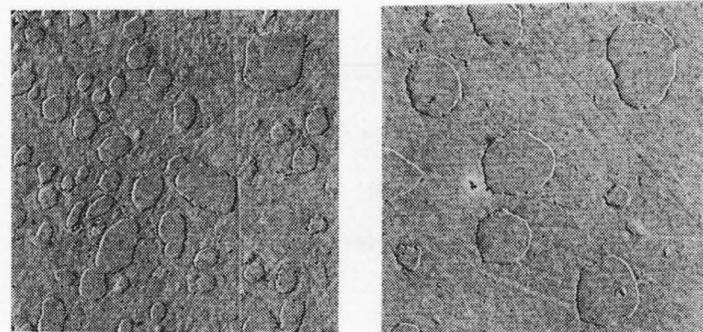
第1表 試料の化学成分(%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
高炭素クロム鋼	1.05	0.58	1.06	0.017	0.008	0.21	0.06	1.17	0.18

* 日立製作所水戸工場



(A) 顕微鏡組織 ($\times 400$)



(B) 電子顕微鏡組織 ($\times 4,000$)

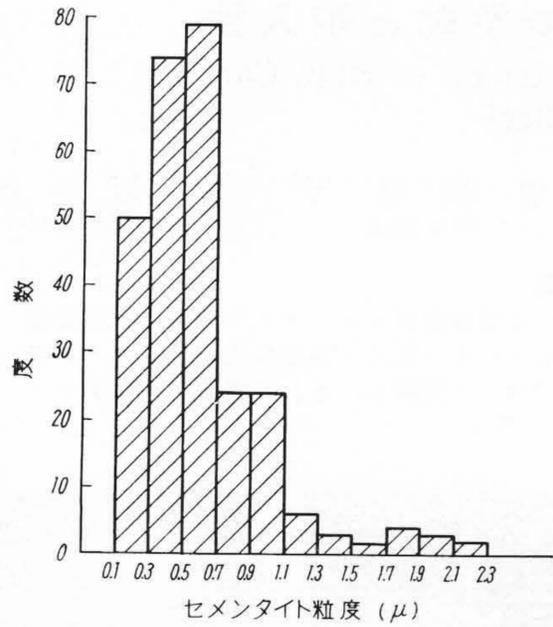
第1図 球状化焼鈍組織

離実験用試料に供した。

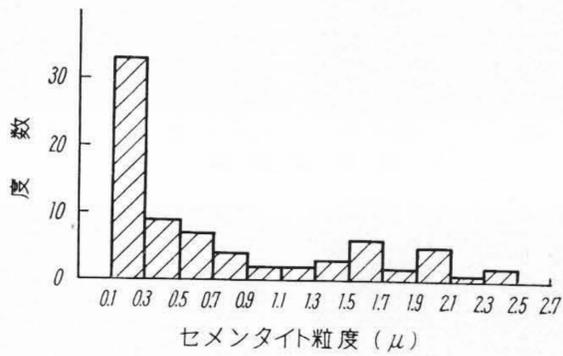
第1図に焼鈍試料の顕微鏡組織および電子顕微鏡組織を示す。電子顕微鏡組織からセメンタイト粒の大きさの度数分布を求めると第2図のとおりである。これからわかるように細粒試料は粗粒試料に比べて均一性があり $0.3\sim 0.5\mu$ の範囲のものが全体の $30\sim 40\%$ 、 $0.1\sim 0.7\mu$ を集計すると $70\sim 80\%$ も存在する。粗粒試料は粗粒と細粒が混合し、 $0.1\sim 0.3\mu$ の細粒は量的には 10% 前後であるが粒数は 50% 以上もある。

2.3 実験方法

$10\phi \times 100\text{mm}$ に加工された焼鈍試料を真空加熱炉中で加熱温度 800 、 820 、 840 および 880°C 、保持時間を 20 分、 1 、 2 および 5 時間とそれぞれ変化してオーステナイト化後水焼入した試料から炭化物を電解抽出し、球状化セメンタイトのオーステナイト中への固溶度に及ぼすセメンタイト粒度、加熱温度および保持時間の影響を検討



(a) 細粒



(b) 粗粒

第2図 焼鈍組織におけるセメントイトの大きさの度数分布

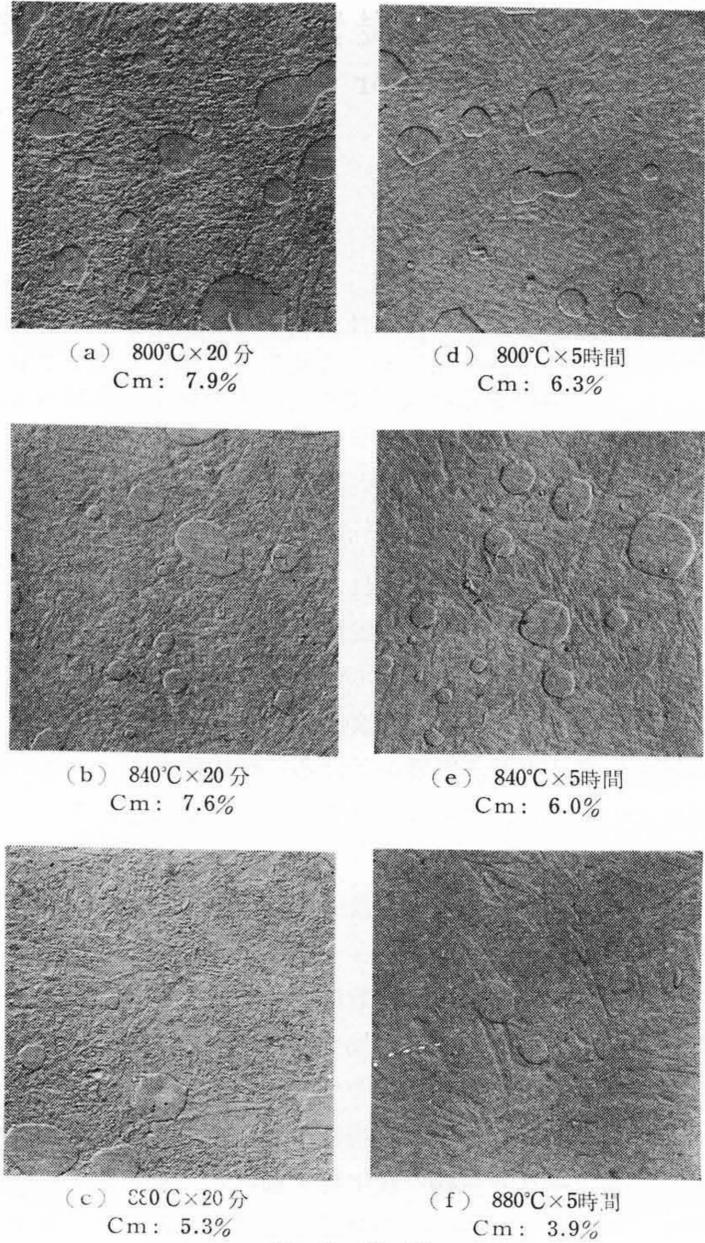
するとともに、残留セメントイト中の成分組成変化を求めて焼入性との関連性を究明した。

炭化物の電解分離には塩酸法を用いた。電解条件は第2表のとおりである。電解装置は東北大学佐藤教授の使用された装置⁽⁹⁾を参考として製作したものである。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 固 溶 度

セメントイトの細粒のものは粗粒のものに比べてオーステナイト中への固溶度は大きく、マルテンサイト地に残留するセメントイトの量は少ない。第3,4図はこの状況を電子顕微鏡組織にて示したものである。これらの組織より残留セメントイトの大きさの分布を求めると第5,6図のとおりである。この図からわかるようにセメントイトが細粒の試料は焼鈍状態におけるセメントイトの分布と同様に残留セメントイト粒の大きさの分布が均一であるが、粗粒のものは不均一である。このことはセメントイトがオーステナイト中に固溶する様相は細粒のほうが球の曲率が小さいために容易に進行し先に消失して



(a) 800°C×20分 Cm: 7.9% (b) 840°C×20分 Cm: 7.6% (c) 880°C×20分 Cm: 5.3% (d) 800°C×5時間 Cm: 6.3% (e) 840°C×5時間 Cm: 6.0% (f) 880°C×5時間 Cm: 3.9% (細粒試験)

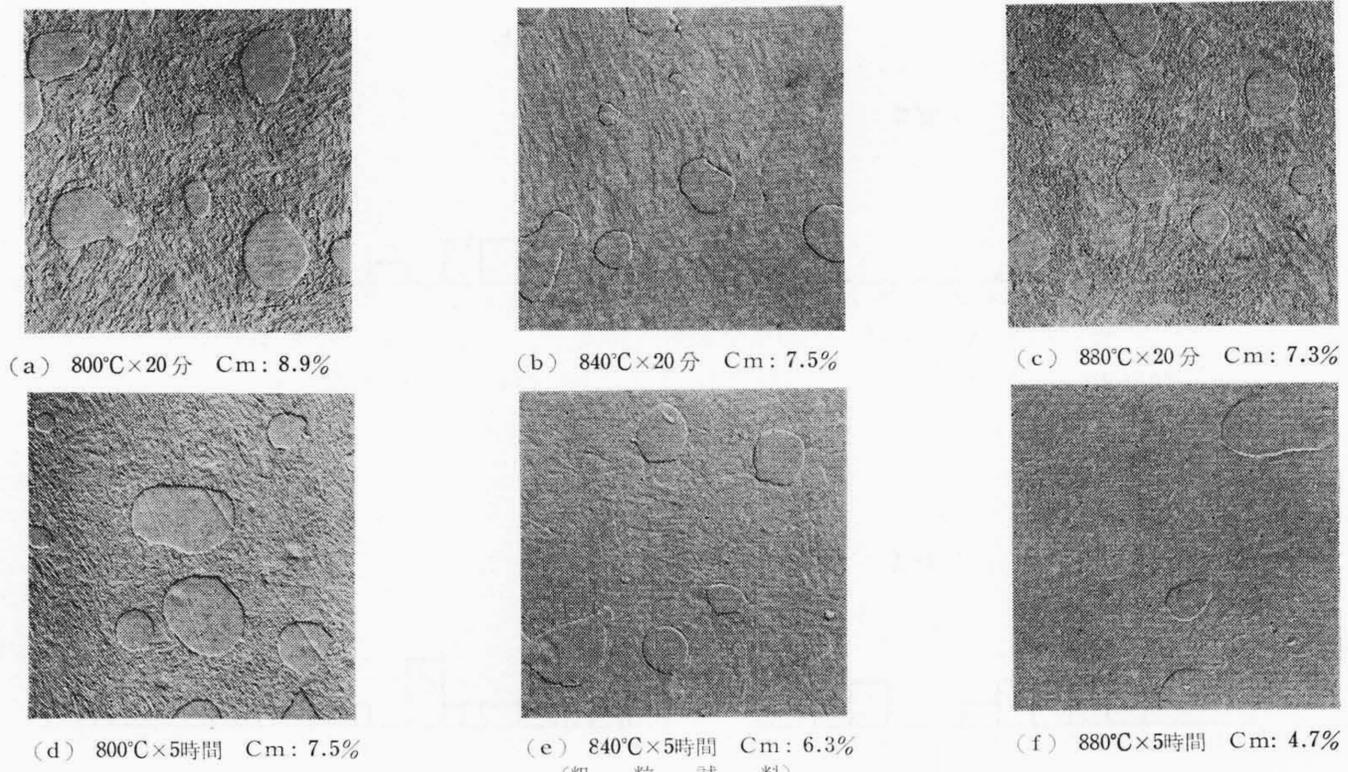
第3図 焼入組織に及ぼすオーステナイト化処理の影響 (×4,000)

第2表 電 解 条 件

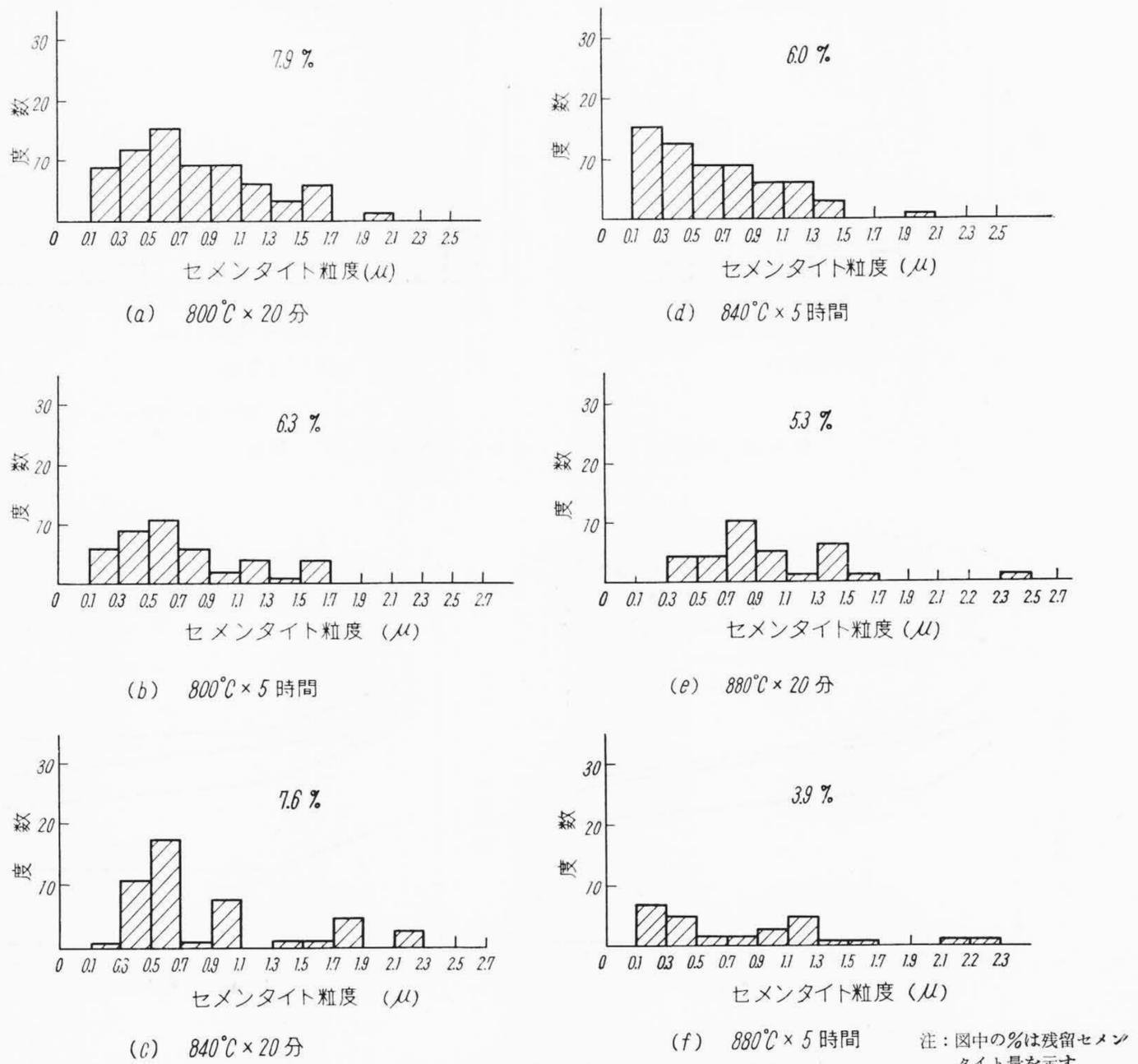
電 解 条 件	焼 鈍 試 料	焼 入 試 料
電 解 液	0.5N 塩 酸	1.2N 塩 酸
電 流 密 度 (mA/cm ²)	10	10
電 解 時 間 (h)	8	8

ゆくものと考えられ、焼鈍状態における粒形のばらつきがそのまま遺伝してくるものと思われる。電子顕微鏡組織に検出される残留オーステナイトが細粒、粗粒に関係なくその隣接域に認められることはこのことを裏書きしているものと考えられる。

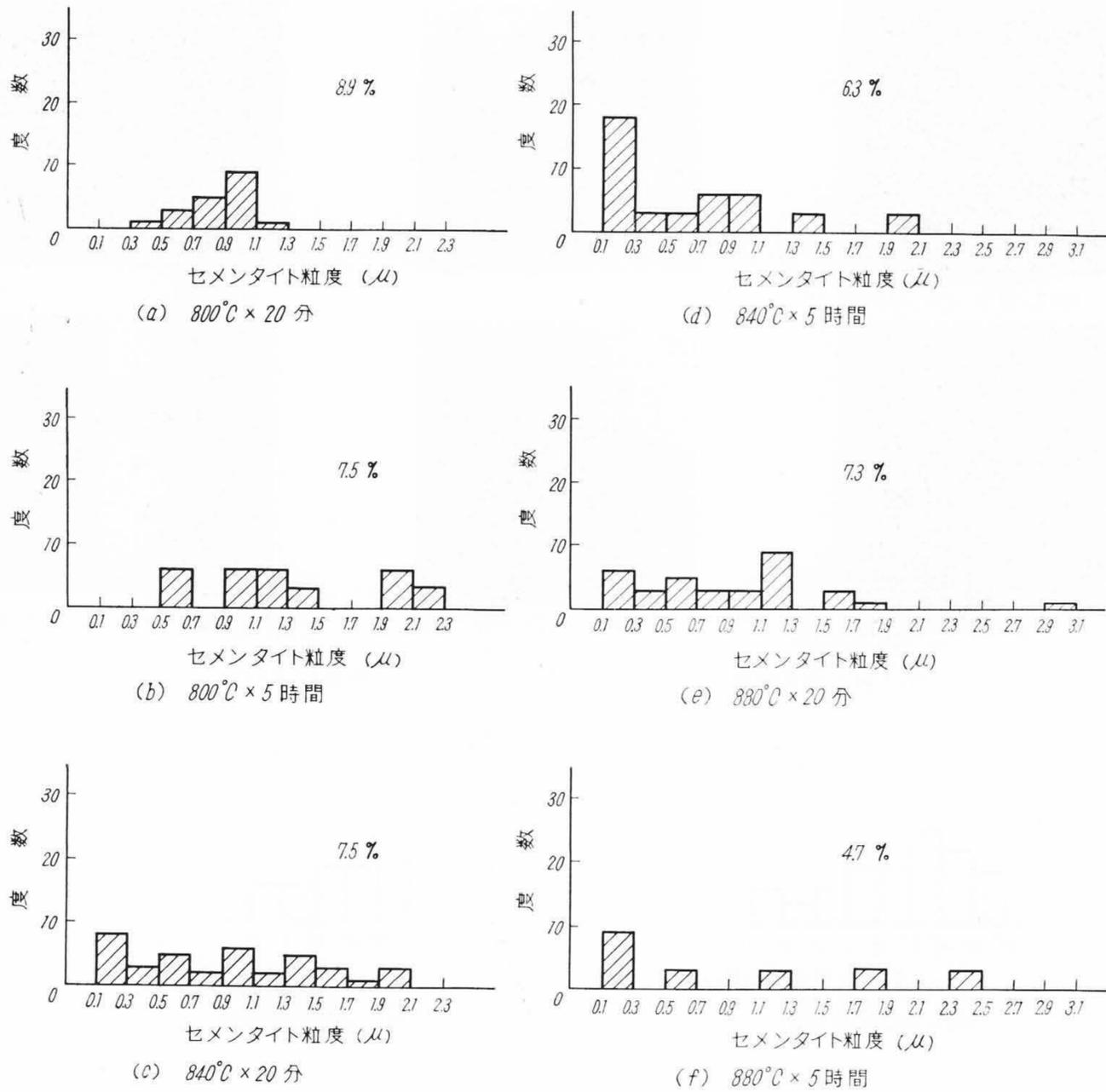
残留オーステナイトは一般的には第3,4図の示すようにオーステナイト化温度が高いほどその量を増す傾向にあるが、オーステナイト化が不十分であっても固溶した成分の拡散が十分でなく局部的に濃度の高いものなどには残留オーステナイトが容易に発生する。880°Cのオーステナイト化処理における残留オーステナイト量を細粒、



第4図 焼入組織に及ぼすオーステナイト化処理の影響 (×4,000)

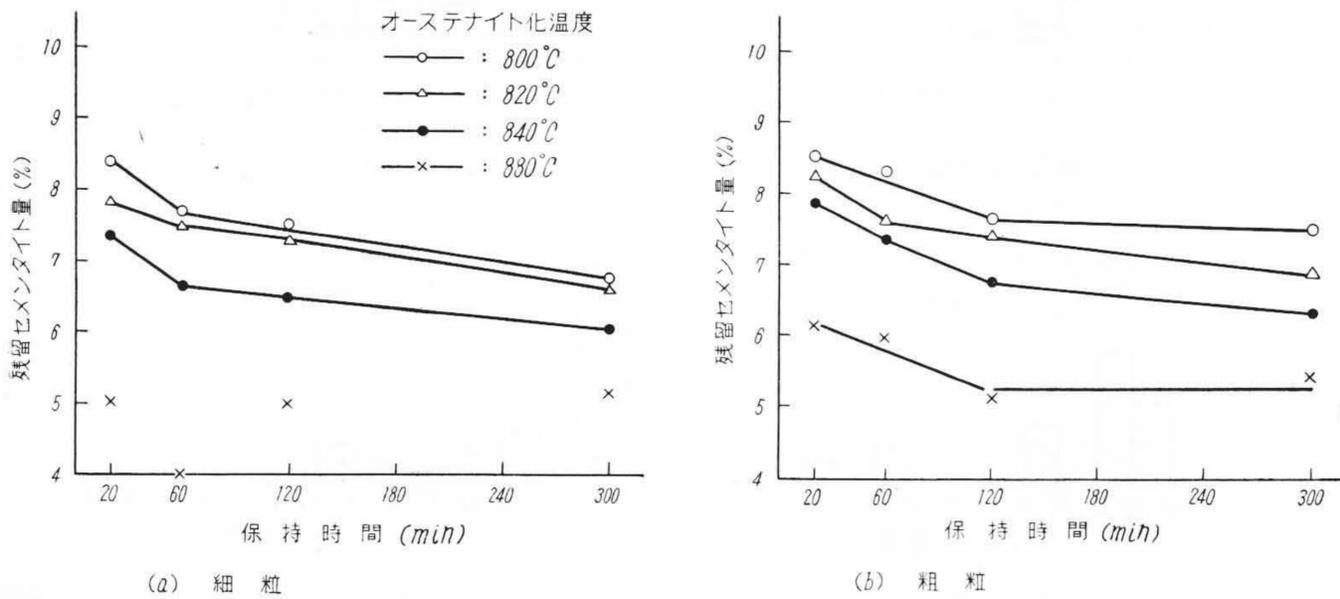


第5図 残留セメントタイトの大きさの度数分布 (細粒)

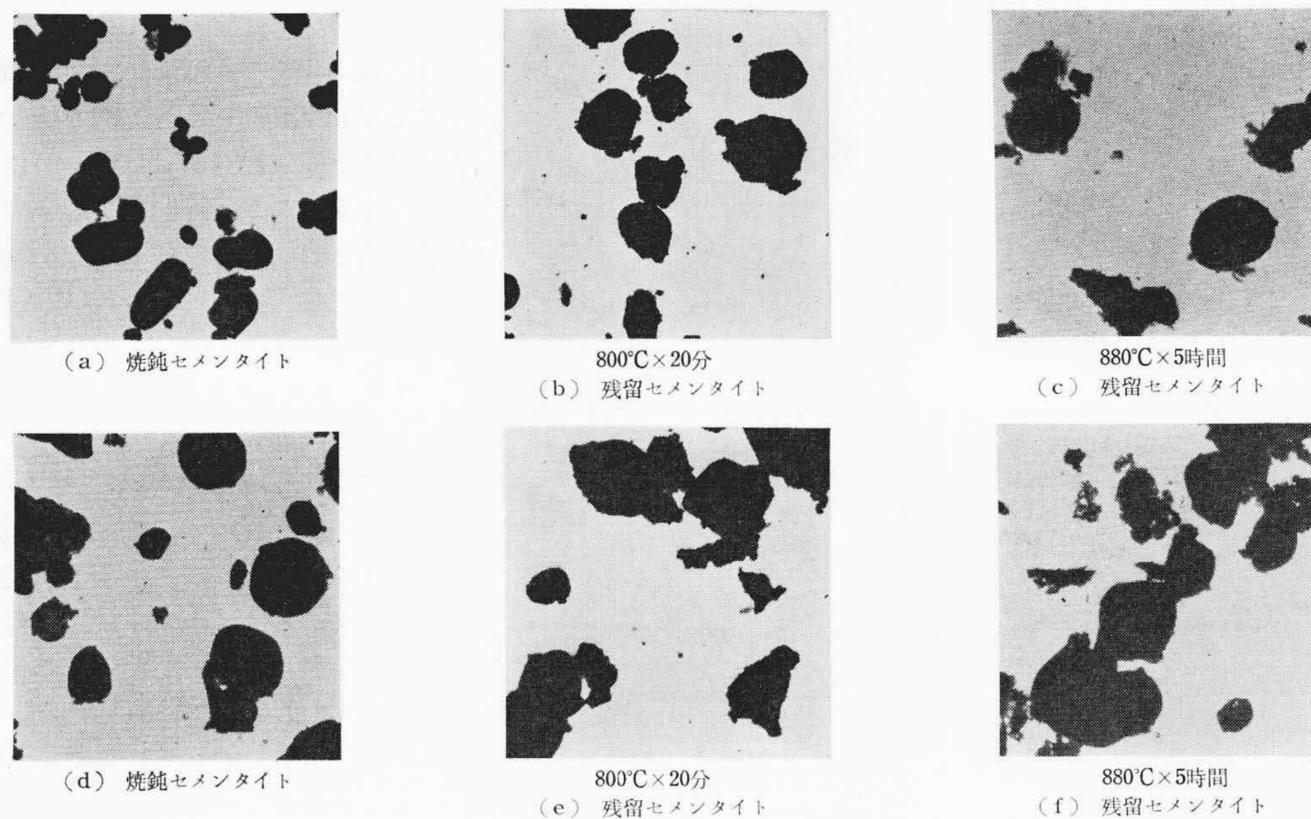


注: 図中の%は残留セメントタイト量を示す

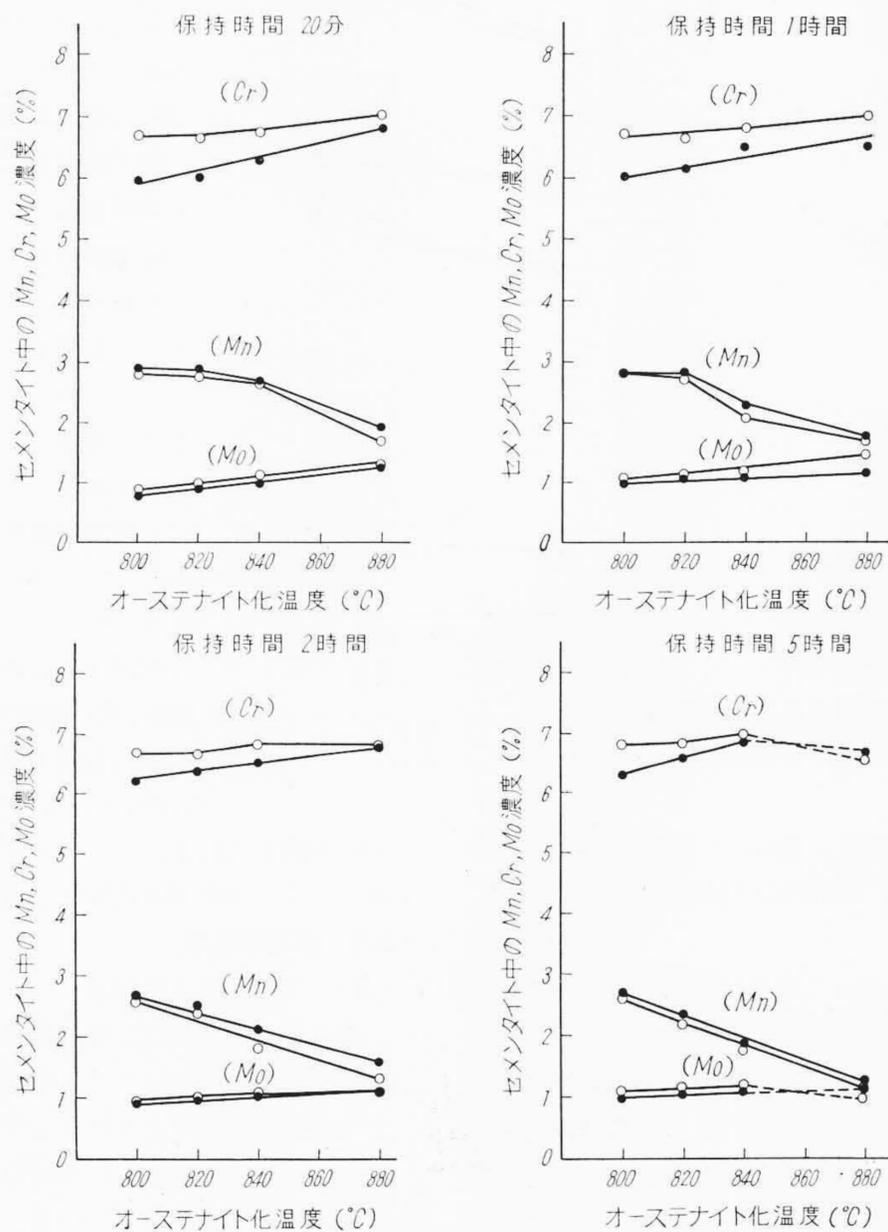
第6図 残留セメントタイトの大きさの度数分布 (粗粒)



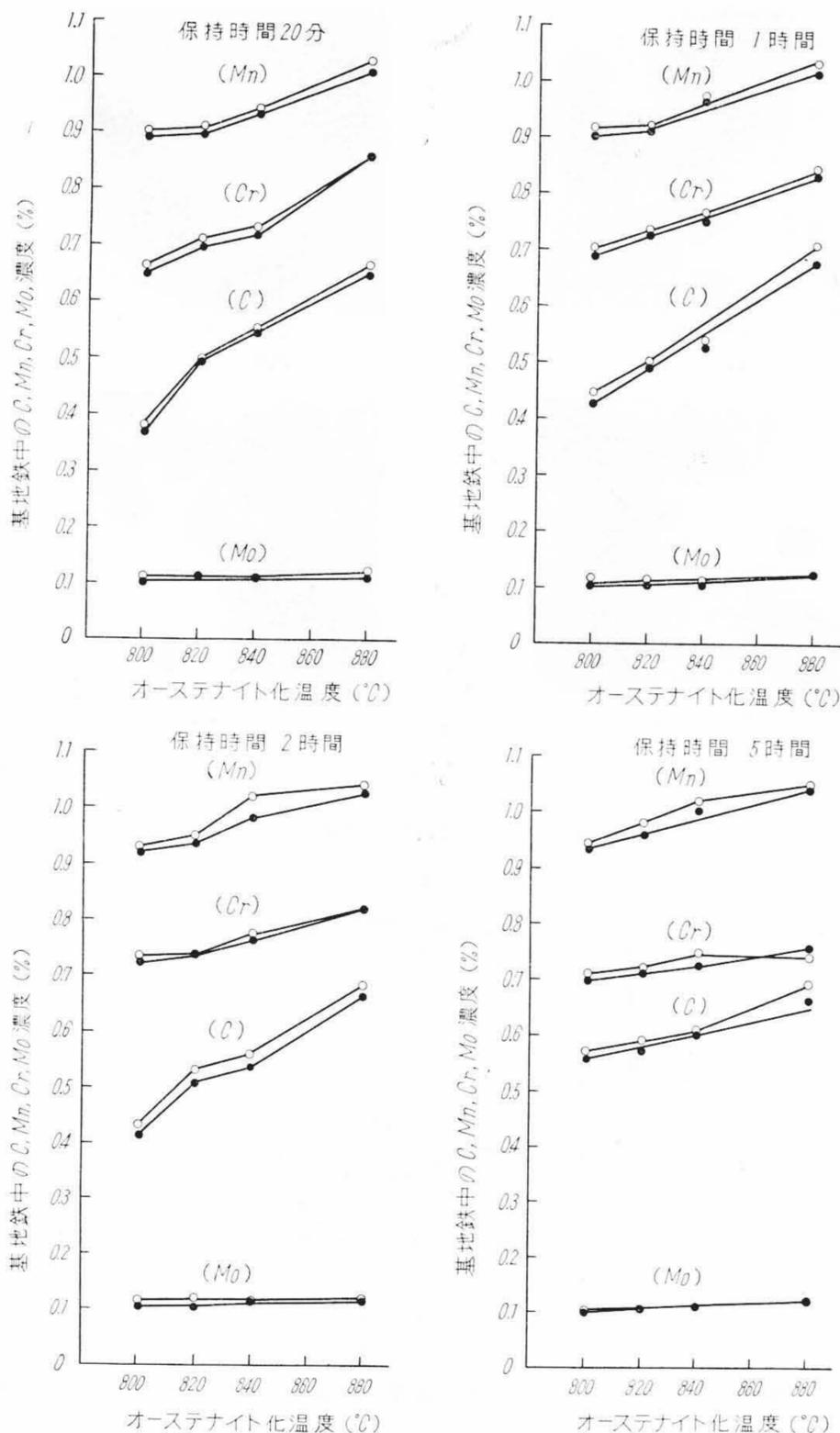
第7図 残留セメントタイト量に及ぼすオーステナイト化処理の影響



第8図 セメンタイトの抽出写真 (×4,000)



第9図 残留セメンタイト中の特殊元素濃度に及ぼすオーステナイト化温度の影響 [○—○ 細粒 ●—● 粗粒]



第10図 基地鉄中の各種元素濃度に及ぼすオーステナイト化温度の影響 (○—○—○ 細粒) (●—●—● 粗粒)

粗粒試料について比較すると、880°C×20分 処理で前者は 12.1% 後者は 14.2%，880°C×5時間処理でそれぞれ 12.2%，29.0% である。

第7図は電解分離法によって求めた残留セメンタイトの量とオーステナイト化処理との関係を示したものである。これからわかるようにミクロ的な観察結果と同様に細粒のほうが粗粒に比べて固溶度は大きく、加熱温度に伴う固溶に 820°C と 840°C の間で断層をなしているが、粗粒では 840°C まではこの現象は認められない。この方法ではオーステナイト化処理がきわめて進行すると生成

するマルテンサイトや残留オーステナイトの表面電位が貴となるため無定形炭素や遊離鉄が混入してきて 880°C のオーステナイト化処理のようにデーターがばらつきやすくなる。第8図のセメンタイトの抽出写真には 880°C×5時間のオーステナイト化処理にあきらかに不純物が認められる。

3.2 セメンタイトの組成

(A) 焼鈍状態のセメンタイト組成

第3表は球状化焼鈍状態において分離抽出されたセメンタイトの量およびセメンタイト中の特殊元素濃度を示す。この表からわかるように細粒のものは抽出中、表面積が大きいため一部溶解し収率が低くなっている。カーバイド生成元素である Mn, Cr, Mo は C との親和力が強く焼鈍セメンタイト中にかなり固溶され Mn, Cr, Mo の量はそれぞれの添加量の約 40, 70, 50% 存在している。

(B) 焼入状態のセメンタイト組成

第9図は残留セメンタイト中の特殊元素濃度に及ぼすオーステナイト化処理の影響を示したものである。この図からわかるように Cr, Mo はオーステナイト化温度の上昇とともに漸次セメンタイト中に濃化してゆき Mn はこれと逆の現象を示す。このことはセメンタイトがオーステナイト中に固溶して行く速度は曲率半径に反比例するのであるが、一つのセメンタイトについては C がカーバイド生成元素よりも多く固溶するためであると考えられる。Mn は炭化物生成元素であるが Cr, Mo に比べ金属半径が小さく親和力が弱い

ため C について優先的にオーステナイト中に固溶して行き、オーステナイト化温度に反比例してカーバイド中の Mn 濃度は小さくなってゆく。

3.3 基地の組成

(A) フェライトの組成

第4表は抽出された焼鈍状態のセメンタイト中の組成より算出したフェライト中の特殊元素濃度を示す。この表からわかるようにフェライト中には特殊元素がかなり固溶し、Mn, Cr, Mo の量はそれぞれ添加量の約 60, 30, 50% 存在している。

(B) マルテンサイトの組成

高炭素クロム鋼の炭化物の挙動と焼入性

第3表 セメントタイト中の特殊元素分析結果

試料	セメントタイト量			セメントタイト中の特殊元素量					
	Cm anal	Cm calc	収率	<Mn>	<Mn>/Mn	<Cr>	<Cr>/Cr	<Mo>	<Mo>/Mo
細粒	13.86	15.70	88.3	3.20	3.02	6.20	5.30	0.65	3.60
粗粒	14.72	15.70	93.7	3.15	3.00	6.20	5.30	0.55	3.05

注: Cm anal : 分析値 (%) <M> : セメントタイト中の組成 (%)
 Cm calc : 計算値 (%) M(Mn Cr etc) : 供試材の成分
 <M>/M : 濃縮係数

第4表 フェライト中の特殊元素濃度計算結果

試料	フェライト量	フェライト中の特殊元素量					
	Mat	[Mn]	[Mn]/Mn	[Cr]	[Cr]/Cr	[Mo]	[Mo]/Mo
細粒	86.14	0.72	0.68	0.36	0.31	0.10	0.56
粗粒	85.28	0.76	0.72	0.31	0.27	0.12	0.66

注: [M] : フェライト中の組成 (%) [M]/M : 固容係数 Mat : 地

第5表 ジョミニ硬さ分布表

オーステナイト化処理	ジョミニ距離 (in)						マルテンサイト基地の組成 (%)					結晶粒度	備考
	1/16	1/4	1/2	3/4	1	2	C	Si	Mn	Cr	Mo		
840°C×20分	63.9	63.9	57.1	51.5	46.3	37.9	0.55	0.58	0.94	0.73	0.11	7.0	計算
840°C×1時間	64.4	64.4	59.9	55.2	50.6	41.3	0.57	0.58	0.97	0.77	0.11	7.0	
840°C×2時間	64.2	64.2	60.8	57.0	53.2	45.0	0.56	0.58	1.02	0.78	0.11	7.0	
840°C×5時間	65.0	65.0	62.0	58.5	53.9	45.3	0.61	0.58	1.02	0.75	0.11	7.0	
※ 840°C×20分	65.0	64.5	62.8	62.0	54.7	39.6	1.01	0.47	1.00	1.11	0.18	—	実測
	65.0	63.5	61.0	52.7	39.8	32.5	1.00	0.52	1.04	1.08	trace	—	

※: 成分は完全分析値

第10図はマルテンサイト中の元素濃度に及ぼすオーステナイト化処理の影響を残留セメントタイトの組成から計算により求めたものである。これからわかるようにすべての元素ともオーステナイト化温度の上昇とともに濃化して行くが、その傾向はCが最も著しく、ついで Mn, Cr, Mo の順となっている。したがって高炭素クロム鋼の焼入性に大きな影響を及ぼす成分は C, Mn, Cr, Mo の順序であり、質量の大きな製品、たとえば大形レース材などの焼入性を向上させるためには Mn が非常に効果のあることを示している。また強力なカーバイド生成元素である Mo は焼入性をゆるやかに向上させることおよびセメントタイトを細かく均一に分布させることなどに効果があるわけである。

4. 焼入性の検討

炭化物の電解分離はオーステナイト化処理が十分に施された焼入試料においては無定形炭素や遊離鉄が混入するため不正確となり、したがってマルテンサイト基地の組成を十分に求めることができないが、高炭素クロム鋼の一般的な焼入温度範囲では割合に信用できる値を示す。この検定を細粒試料の 840°C につきジョミニカーブ

を計算で求める法により行った⁽¹⁰⁾。計算の方法はマルテンサイト基地の組成から焼入性倍数を求めて理想臨界直径を算出しこれらから誘導したものである。計算には微細セメントタイトが変態核となることなどをまったく無視しているのだからかなりの危険性はあるが、焼入性を検討するには有効である。

第5表は Field 法によって求めたジョミニ硬さの計算結果である。比較のために Mo を含有しているものと含有していない高炭素クロム鋼のジョミニ焼入試験結果を掲載してある。計算によって求めたジョミニ硬さ分布は含 Mo 鋼のジョミニ試験値に比べて各位置とも低下しているが、Mo を含まぬ材料に比べて高く、ほぼその中間に位し、近似の値を示している。若干の相違は分離法自体の問題に基づくものと、仮設を設けた計算法の誤差によるものからくるのであるが、カーバイド生成元素を含有する高炭素クロム鋼の焼入性を検討するのに有効であることがわかる。

5. 結 言

高炭素クロム鋼の球状化セメントタイトのオーステナイト中への固溶度を炭化物の電解分離法を利用して検討し

あわせてオーステナイト化処理の程度が焼入性に及ぼす影響を求めた。その結果を要約するとつぎのとおりである。

- (1) セメンタイトがオーステナイト中に固溶する様相はセメンタイトの粗密に関係なく行われるが、細かいセメンタイトのほうがあらいものに比べて固溶度は大きい。
- (2) 残留セメンタイト中の Cr, Mo はオーステナイト化処理の進行とともに濃化し, Mn は逆に稀薄化して行く。
- (3) 高炭素クロム鋼では焼入性に大きな影響を及ぼす成分は C, Mn, Cr, Mo の順である。
- (4) マルテンサイト基地の組成から Field 法によりジョミニカーブを計算で求める方法は焼入性と炭化物

の挙動を検討する上に効果的である。

終りに臨み、ご指導いただいた日立製作所水戸工場幹部のかたがたに深厚な謝意を表す。

参考文献

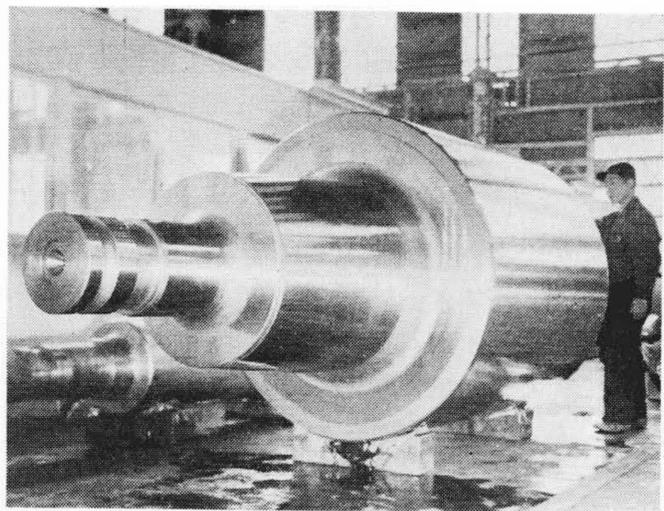
- (1) 近藤：日本金属学会誌 11, 11 (昭 23-12)
- (2) 久道：日本金属学会誌 9, 4 (昭 20-8)
- (3) 藤沢：日本金属学会誌 18, 441 (昭 29-7)
- (4) Rapatzū Franz: Stahl und Eisen 74, 1195 (1954)
- (5) 渡辺, 宇和野：鉄と鋼 41, 309 (昭 30-3)
- (6) 佐藤, 西沢, 本田：鉄と鋼 41, 1188 (昭 30-11)
- (7) 上野, 中島, 本田：鉄と鋼 43, 818 (昭 32-8)
- (8) 上野, 中島, 本田：鉄と鋼 43, 409 (昭 32-3)
- (9) 佐藤, 金子, 西沢：日本金属学会誌 19, 336 (昭 30-5)
- (10) 大和久：焼入性 p. 120~125

製品

高硬度の大形鋳鋼製補強ロール完成

日立製作所水戸工場において株式会社大阪造船所, 横浜工場新設2号機の冷間圧延機(コンビネーションミル)用大形特殊鋳鋼製補強ロールがこのほど完成した。

ロールの仕上重量は約 22 t, 長さ 4,130 mm, 胴径 1,340 mm という大物品で, 水戸工場では, さきに富士製鉄株式会社広畑製鉄所に納めた熱間圧延機用補強ロールに次ぐ記録品である。またこのロールは従来の補強ロールと異なり, 硬度(ショアー) 60以上という高硬度のものである。



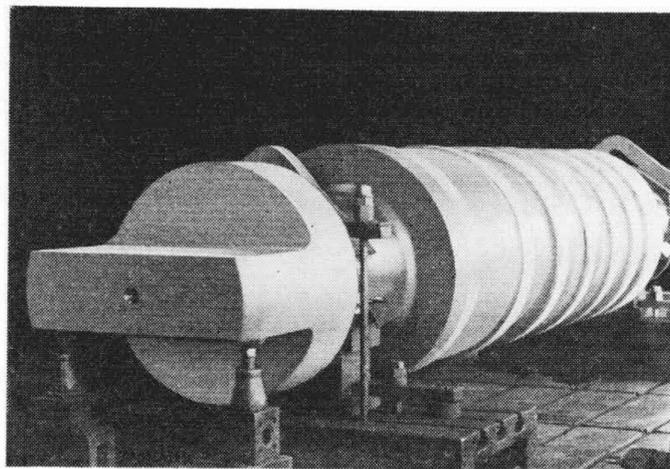
株式会社大阪造船所納冷間圧延機用の大形補強ロール

紹介

富士製鉄株式会社釜石製鉄所納粗角Vo用ロール

日立金属株式会社若松工場では分塊および粗圧延用ダクタイルロールの新材質を製作し好評を得ているが, このほど完成した富士製鉄株式会社釜石製鉄所納新設粗角Vo(分塊)用ダクタイルロール1セットはその成果が期待されている。おもなる仕様は次のとおり。

全長	4,455 mm
胴長	2,440 mm
胴径	835 mm
重量	12,500 kg
材質	ダクタイル



富士製鉄株式会社釜石製鉄所納粗角Vo用ロール