

ダイス №	直 径 (mm)			真 円 度 ( $\mu m$ )		
	実 験 前	実 験 後	穴 拡 大 量	実 験 前	実 験 後	真 円 度 比
3	20,005	20,011	0.006	1.0	2	2
4	20,005	20,013	0.008	1.5	3	2
1	20,009	20,017	0.008	1.2	3	2.5

表3 実験前後のダイスの形状比較

$$\left( \text{真円度比} = \frac{\text{実験後の真円度}}{\text{実験前の真円度}} \right)$$

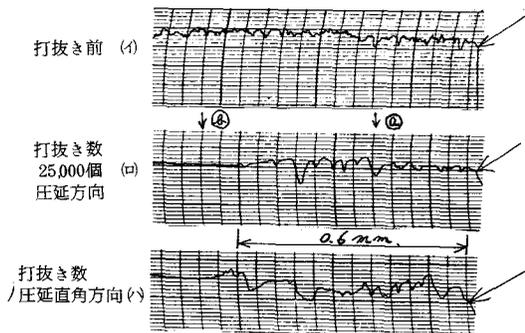


図9 打抜き前後のダイス穴内面の表面あらし  
(縦倍率×2,000, 横倍率×100)  
(№1ダース)  
矢印は切刃, 線図は穴打抜き方向

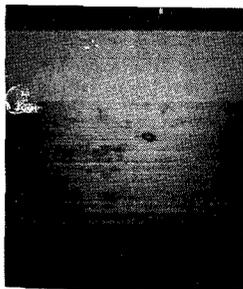


写真4 25,000個打抜き後のダイス内壁  
(№3ダイス)

5. おわりに

JIS, DF2B-B相当の硬化肉盛溶接棒で肉盛したダイス(硬さHRC55程度)を用いて、冷間圧延鋼板SPCC-SBの打抜き試験を行ない以下の結論を得た。

- (1) 製品の要求精度にもよるが、25,000個程度の打抜きでは寿命にいたらない。
- (2) 超合金工具でないと機械加工は困難であるが、簡易金型として十分な耐久力がある。
- (3) 溶接条件が安定しているなら金型による耐久度に差がない。
- (4) 剪断面の割合は打抜き数が増すと増加するが、一定の所で安定する。
- (5) ブランクの寸法拡大はダイス内径の拡大量と一致し、表面あらし及び真円度はダイス切刃近傍の形状に依存すると考えられる。
- (6) 切刃から離れた位置にある小さな溶接欠陥は、使用した板厚程度の加工力のもとでは金型の寿命に影響しない。

文 献

- 1) 昭和51年度当センター業務報告書

## 2. 熱処理に関する試験研究

ステンレス袋焼入における脱炭と焼入性について (第2報)

浜石和人・清藤純一

1. はじめに

前回は高温と低温加熱用ステンレス袋と環元剤

について、主にステンレス袋の使用回数とステンレス袋加熱試料の酸化、脱炭防止効果について調

べたが、この際ステンレス袋中の空気を排除しないように、吸気孔を開口した状態で加熱したため、低温用ステンレス袋と環元剤の脱炭防止効果が得られなかった。したがって今回は、脱炭防止効果に一層の検討を加えると同時に、ステンレス袋中焼入試料の焼入性について調べた。

## 2. 実験方法

### 2-1 低温用ステンレス袋と環元剤の脱炭防止効果について

写真1に示す低温用ステンレス袋(100×200×0.03)に環元剤とSK3相当の試料(12.5φ×20)を2個づつ入れ、ステンレス袋中の空気を定規で見掛上完全に排除した上で吸気孔を閉閉じてエレマ電気炉中にて加熱温度800℃で1、

表1 各試料の加熱・焼入条件

材 質	記 号	加熱温度(℃)	加 熱 環 境	冷却方法	冷却剤温度℃
S 4 5 C	C 2	8 5 0	大 気 中 加 熱	水 完 冷	3 0
	C 6	"	ス テ ン レ ス 袋 中 加 熱	油 完 冷	3 0
	C 7	8 7 0	"	"	2 9
S C M 3	C M 4	8 5 0	大 気 中 加 熱	水 完 冷	2 9
	C M 1	"	"	油 完 冷	3 0
	C M 6	"	ス テ ン レ ス 袋 中 加 熱	水 完 冷	2 9
	C M 3	"	"	油 完 冷	3 0
S K 3	K 1	7 8 0	大 気 中 加 熱	水 完 冷	2 9
	K 6	8 1 0	"	"	2 8
	K 2	7 8 0	ス テ ン レ ス 袋 中 加 熱	油 完 冷	2 9
	K 5	8 1 0	"	"	2 8
S K S 3	K S 1	8 3 0	大 気 中 加 熱	油 完 冷	3 0
	K S 3	"	ス テ ン レ ス 袋 中 加 熱	"	3 0
	K S 2	"	"	水 完 冷	2 9

表2 供試材の規格 ( I J S )

記 号	化 学 成 分 (%)							
	C	S i	M n	P	S	C r	M o	W
S 4 5 C	0.42	0.15	0.60	0.030	0.035	-	-	-
	0.48	0.35	0.90	以 下	以 下			
S C M 3	0.33	0.15	0.60	0.030	0.030	0.90	0.15	-
	0.38	0.35	0.85	以 下	以 下	1.20	0.30	
S K 3	1.00	0.35	0.50	0.030	0.030	-	-	-
	1.10	以 下	以 下	以 下	以 下			
S K S 3	0.90	0.35	0.90	0.030	0.030	0.50	-	0.50
	1.00	以 下	1.20	以 下	以 下	1.00		1.00

2、4時間加熱、空冷後鏡面仕上した試料中央断面を5%硝酸アルコールで腐食し、顕微鏡(400

倍)で脱炭の有無を調べた。

2-2 ステンレス袋の焼入硬さと硬化深さに及ぼす影響。

各鋼種のうち臨界冷却速度の大きい炭素鋼の中からS45とSK3, 前者より小さい低合金鋼の中からSCM3とSKS3を選び40φ×80の試料を加工し表1に示す条件下で焼入して, 表面より2, 7, 12, 17, 20mm(中心)の硬さ(HRC)と組織

を調べステンレス袋(100×200×0.03)中焼入試料の焼入硬さと焼入深さに及ぼす影響を検討した。試料に供した鋼種のJIS化学成分を表2に, ステンレス袋の外観を写真1に示す。なお高合金鋼の焼入硬さと焼入深さについては, S45C, SK3, SCM3, SKS3に関する実験結果より十分に推定できると考え実験しなかった。

### 3. 結果

3-1 低温用ステンレス袋と環元剤の脱炭防止効果。

800℃1, 2, 4時間加熱試料のうち1, 2時間加熱試料表面には, 全く脱炭層は認められなかった。しかし, 4時間加熱試料の一個の全周に脱炭層が確認された。前回の如くにステンレス袋中の空気を全く排除せず, 吸気孔を開放の状態に加熱した場合, 1時間で明瞭に脱炭層が認められた点を考えると, 今回のように見掛上完全にステンレス袋中の空気を排除して吸気孔を密閉使用することで, 長時間加熱ではステンレス袋中の試料が脱炭される可能性があるが, 今回使用したステンレス袋中に入り得る品物の形状, 寸法からして, 焼入における加熱時間は2時間も取れば十分と考えられ, 実用上は問題ないと言える。つまり, ステンレス袋と環元剤の脱炭防止効果は十分にあると言える。



写真1 ステンレス袋の外観

3-2 焼入硬さと焼入性について

3-2-1 S45CとSK3の焼入硬さと焼入性

S45Cに関する実験結果を図1に示す。図中の破線曲線は, 図2のS45Cの40φ試料の焼入硬さ分布の写しである。

図1より直接水焼入した試料の硬さは, おおよそその径の試料の焼入硬さに達しているが, 質量効果により表面附近(HRC50)から中心部(HRC26)にかけて低くなっている。

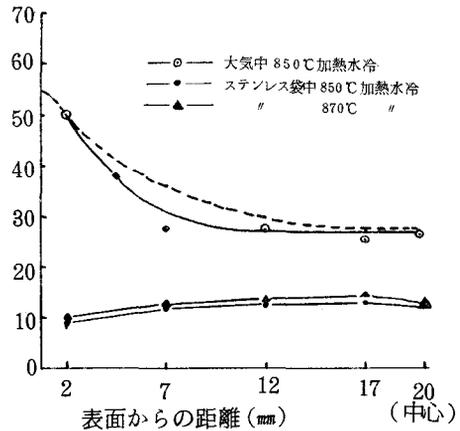


図1 S45Cの焼入条件と硬さ分布

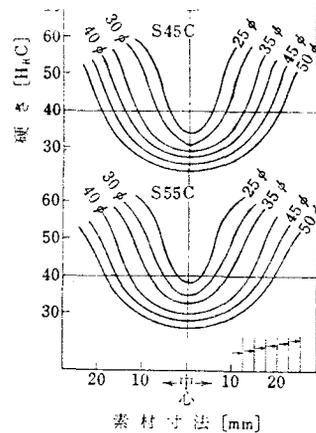


図2 焼入したSC材の直径方向の分布(2)

ステンレス袋中焼入試料の硬さは, 加熱温度の高い方が若干高い傾向にあり, 表面附近と中心部の硬さの差も小さいが, 各断面の硬さは非常に低く(HRC9~14), 焼入効果は全くないと言える。これら試料のうち直接水焼入とステンレス

袋中 850℃ 加熱焼入した試料の表面附近と中心部の組織を写真 2 に示す。

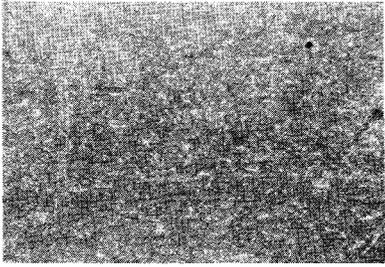
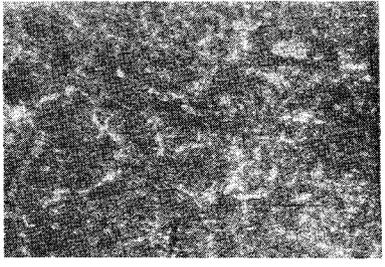
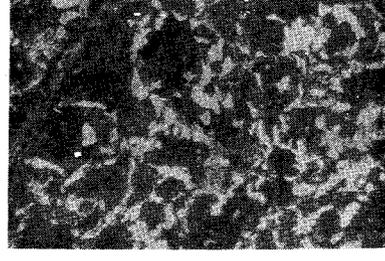
焼入条件	表面附近	中心部
大気中 850℃ 加熱 水 完 冷		
ステンレス袋中 850℃ 加熱 水 完 冷		

写真 2 S 4 5 C 組織

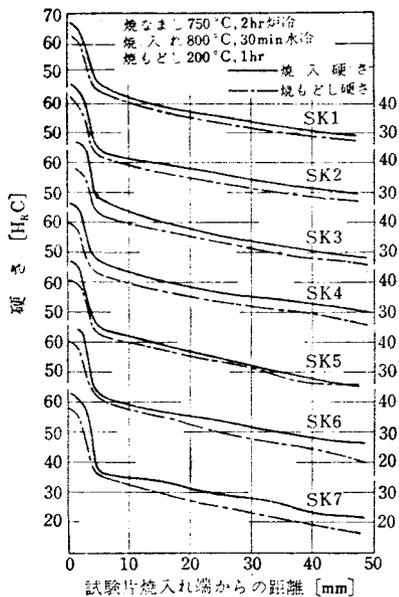


図 4 SK の焼入性能曲線 (3)

直接水焼入した試料の表面附近は、マルテンサイトで、中心部は球状パーライトと若干のフェライトである。ステンレス袋中水焼入した試料は、表面附近、中心部共に若干層状のくずれたパーラ

イトとフェライトである。これ等組織、各試料の硬さ分布とよく対応している。

SK 3 の実験結果を図 3 に示す。図中の破線で示す曲線は、<sup>(3)</sup> 図 4 の SK 3 の焼入性能曲線の写しである。

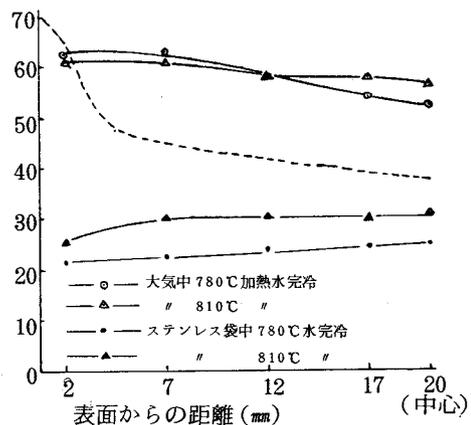


図 3 SK 3 の各条件下で焼入した試料の硬さ分布

図 3 より SK 3 の直接水焼入試料の硬さは、表面より約 12 mm 付近までは加熱温度の高い方が高

く、以後逆転して中心部にかけて低くなっている。これは残留オーステナイトによるものと思われる。両試料の硬さは、表面より約10mmまではHRC60以上を示し、中心部はHRC53~56である。ステンレス袋中水焼入試料の硬さは、加熱温度の高い方が5~7硬度高く、HRC30程度

を示し、両試料共に表面附近と中心部の硬さの差は小さいが、直接水焼入試料の硬さよりかなり低く焼入効果は認められない。SK3はS45Cより炭素量が多いため同レベルで焼入した試料の硬さは高い。次に大気中780℃加熱直接水焼入とステンレス袋中780℃水焼入試料の表面附近と中心部

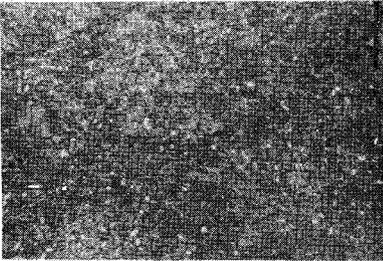
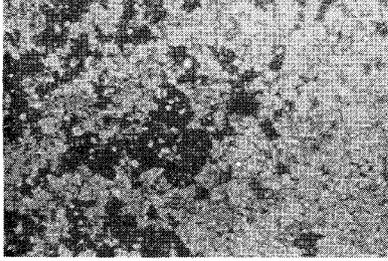
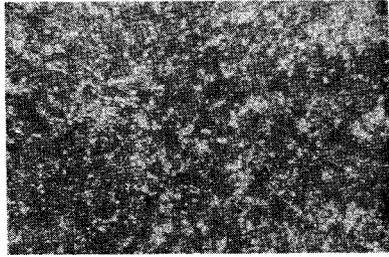
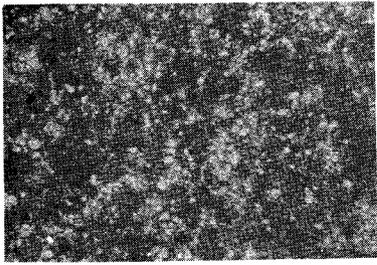
焼入条件	表面附近	中心部
大気中780℃加熱 水完冷		
ステンレス袋中780℃加熱 水完冷		

写真3 SK3の組織

の組織を写真3に示す。直接水焼入の表面附近はほぼ完全なマルテンサイトで中心部はマルテンサイトとベーナイトである。ステンレス袋中水焼入試料の表面附近と中心部の組織は、良く類似して球状パーライトとフェライトである。このように組織により、各試料の硬さ分布の相違を良く説明できる。

これまでのS45CとSK3に関する実験結果からステンレス袋中水焼入試料の冷却速度は、結果として、この2鋼種の臨界冷却速度をかなり下まわって直接水焼入れなみの焼入硬さを示さなかったと言える。したがって、きわめて小さい物を除き炭素鋼素をステンレス袋中で焼入して所定の硬さを得るのは、難しいと言える。

### 3-2-2 SCM3とSKS3の焼入硬さと焼入性

SCM3の実験結果を図5に示す。図中の一点鎖線と破線で示す曲線は図6とSCM3Hのシヨミ

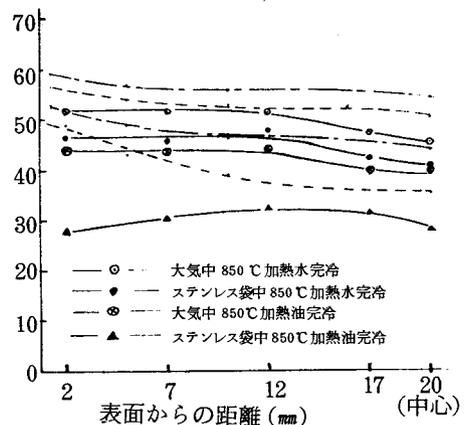


図5 各条件下で焼入したSCM3試料の硬さ分布

ニーカーブより推定した水焼入硬さと油焼入硬さ  
の上限と下限を示す曲線である。

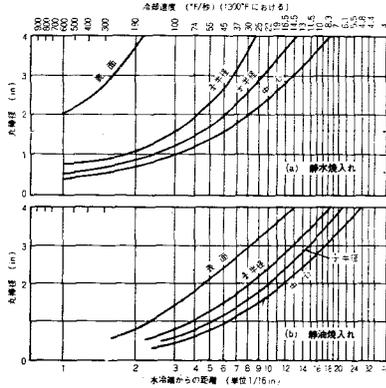


図6 ジョミニー距離からφ1~4丸棒の  
断面硬さを読む図表

図5から、硬さは、直接水焼入が最も高く、ステンレス袋中水焼入、直接油焼入そしてステンレス袋中油焼入の順となっており、前三試料は表面より約12mmまで均一に硬化している、ほぼ推定硬さ内にある。ステンレス袋中油焼入試料の硬さはほぼ均一で表面附近と中心部の硬さ差は小さく、前三試料の硬さよりかなり低く焼入効果はない。これら試料のうちステンレス袋中水焼入、直接油焼入そしてステンレス袋中油焼入試料の表面附近と中心部の組織を写真4に示す。ステン袋中水焼入と油直接焼入試料は表面附近および中心部共に同様な組織で表面附近がマルテンサイト、ペーナイトおよび若干のフェライトであり、いわゆる不完全焼入組織を示す。ステンレス袋中油焼入の表面附近と中心部は、共に若干のペーナイト、パーライトおよびフェライトである。このように各試料の硬さと組織はよく対応していることが解る。

SKS3の実験結果を図7に示す。図中の破線曲線は、図6と図8のSKS3の焼入性能曲線より推定した硬さである。

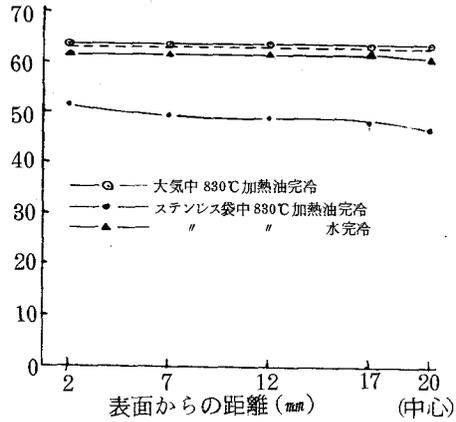
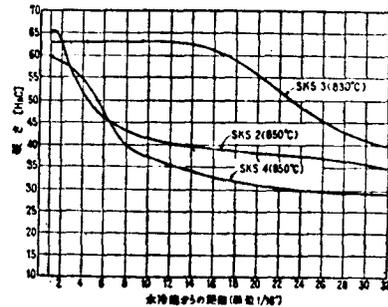


図7 各条件下で焼入したSKS3試料の  
硬さ分布



(5)  
図8 SKSの焼入性能曲線

図7より、油直接焼入試料の硬さがステンレス袋中水焼入試料より若干高いが、両者とも中心部までほぼ均一に硬化してHRC60以上を示す。また推定した硬さに近似している。ステンレス袋中油焼入試料の硬さは、前二試料の硬さより10硬度ほど低く、質量効果により中心部へかけて硬さが若干低くなっている。これら試料のうち直接油焼入とステンレス袋中油焼入の表面附近と中心部の組織を写真5に示す。直接油焼入の表面附近と中心部ともにマルテンサイトと若干のペーナイトで、ステンレス袋中焼入試料の表面附近は、マルテンサイトとペーナイトで、中心部はマルテンサイトと表面より多量のペーナイトが見られる。このように組織は各試料の硬さ分布とよく対応している。

SCM3とSKS3の実験結果から、ステンレス

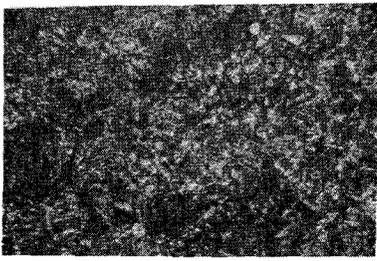
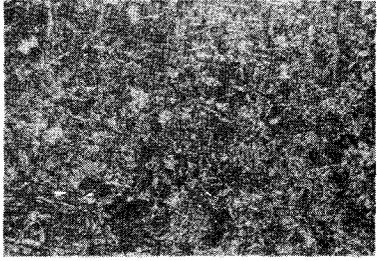
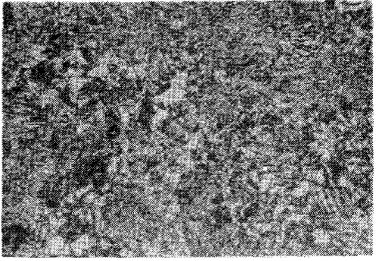
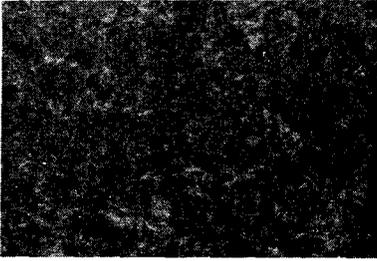
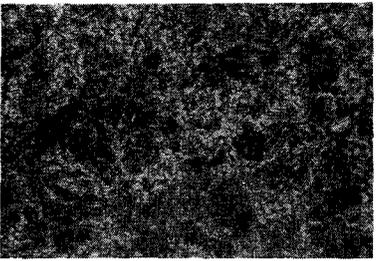
焼入条件	表面附近	中心部
大気中 850℃加熱 油完冷		
ステンレス袋中 850℃加熱 油完冷		
ステンレス袋中 850℃加熱 水完冷		

写真4 SCM3の組織

袋中焼入の試料の冷却速度は、かなり遅いと考えられるにもかかわらず、この種の鋼では臨界冷却速度が炭素鋼より小さいためステンレス袋中で焼入しても十分な焼入硬さと焼入深さが得られるものと言える。

#### 3-2-3 高合金鋼の焼入硬さと焼入性

冒頭で記述したように高合金鋼は合金元素量も多いのでステンレス袋中焼入により十分な焼入硬さと深さが得られると考えられる。

#### 4. まとめ

低温用ステンレス袋と環元剤の脱炭防止と焼入性に関する実験結果から次の点が明らかとなった。

##### 4-1 環元剤とステンレス袋の脱炭防止効果

ステンレス袋中の空気を見掛け上完全に排除し、吸気孔を閉じると2時間以内の加熱時間では十分

に脱炭が防止でき、今回使用したステンレス袋へ入り得る品物の形状寸法からして、焼入加熱時間は、2時間以内で十分と考えられ、脱炭防止効果は、十分に得られ実用上問題はないと言える。

##### 4-2 ステンレス袋中焼入試料の焼入硬さと焼入性。

###### 4-2-1 S45C, SK3などの炭素鋼の場合

(1) S45C, SK3共にステン袋中加熱水焼入試料の焼入硬さは、直接焼入試料の硬さに比べ非常に低い。このことは組織上からもよく理解できる。

(2) (1)のことより、ステンレス袋中焼入試料の冷却速度は両鋼種の臨界冷却速度をかなり下まわするため、十分な焼入硬さは得られないと言える。したがって炭素鋼をステンレス袋中で焼入して

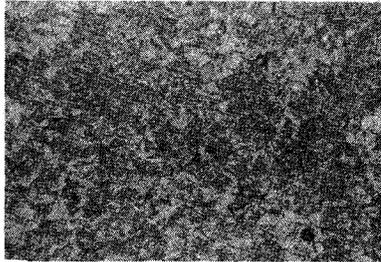
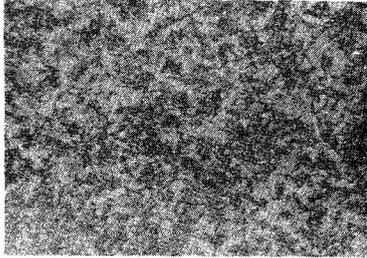
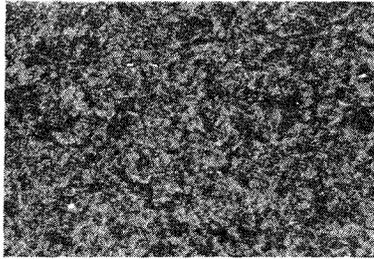
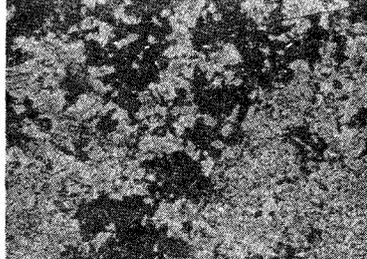
焼入条件	表面附近	中心部
大気中 830℃加熱 油 完 冷		
ステンレス袋中 830℃加熱 油 完 冷		

写真5 SKS3の組織

所定の硬さを得るのは難しいと言える。

#### 4-2-2 SCM3, SKS3 など低合金鋼の場合

(1) SCM3のステンレス袋中水焼入試料の硬さは、水直接焼入試料より低いが、油直接焼入試料より高く、焼入深さも水、油直接焼入試料とほぼ同様である。ステンレス袋中油焼入の硬さは、非常に低い。これら硬さ分布の差は組織の上からよく理解できる。

(2) SKS3のステンレス袋中水焼入試料の硬さは、油直接焼入試料の硬さに近く、ほぼ中心まで均一に硬化している。ステン中油焼入試料の硬さは、前二試料より低い。これ等の硬さと組織はよく対応している。

(3) SKS3の焼入硬さは、主に炭素量によると思えるが、SCM3より高くまた焼入性も良い。

(4) (1), (2), (3)のことからSCM3, SKS3など低合金鋼の場合、ステンレス袋中焼入で適当な冷却条件を選ぶことで所定の焼入硬さと焼入深さは十分に得られると言える。

#### 4-2-3 高合金鋼の場合

高合金鋼の場合、SCM3, SKS3の実験結

果からステンレス袋中焼入で十分な焼入硬さと焼入深さは得られると考えられる。

#### 5. 前回と今回の実験結果のまとめ

ステンレス袋と環元剤の焼入への利用は、炭素鋼の場合焼入硬さの観点上難点があるが、合金鋼については、加熱中の製品の酸化、脱炭を十分防止でき、所定の焼入硬さと硬化深さも得られ、塩浴炉雰囲気炉や真空炉など設備費など考慮すると非常に有効かつ経済的であると言える。今後は県内関係業界への成果の普及指導を推進したい。

#### 参 考 文 献

- (1) 昭和51年度当センター業務報告書
- (2) 鉄鋼材料便覧, 日本金属学会, 鉄鋼学会編
- (3) /
- (4) JIS鉄鋼材料入門, 大和久重夫著
- (5) 鉄鋼材料便覧 日本金属学会, 鉄鋼学会編