

## 技 術 資 料

### 析出硬化性ステンレス鋼について

塚本 富士夫\*

### On the Precipitation-Hardening Stainless Steels.

Fujio Tsukamoto

#### I. 緒 言

通常ステンレス鋼は金属組織の上からつぎの3種に大別され、それぞれ特有の基本的性能を有して各種の用途に用いられている。

	硬化性	耐食性	屈 曲 加 工 性	熔 接 性
マルテンサイト系 フェライト系 オーステナイト系	有 無 無	可 良 優	可 や や 良 優	不 可 や や 可 優

近年ステンレス鋼の使用分野が広がるにしたがってその性能に対し新しい要求が提起され、これを満すべく新しいステンレス鋼がつぎつぎに生まれているが、その中でステンレス鋼の基本的特徴である耐食性を保持しながら高強度が要求される場合が非常に多くなつて来た。上記3系のステンレス鋼中ではマルテンサイト系が熱処理により硬化可能であり最高硬度もほぼ HRC 60 が得られるが、熔接はほとんど不可能であり耐食性も決して十分なものではない。一方オーステナイト系は耐食性は優秀であるが熱処理で硬化せず、冷間加工硬化がこの目的に対する唯一の手段であり、その方向性と応用範囲の狭さのため利用にいちじるしい制約がある。

このような問題を解決する新しい第4のステンレス鋼として登場したものが析出硬化性ステンレス鋼であつて、すでに後述の10数種にのぼる鋼種が発表せられ、構造用、ばね用などの新しい分野を開拓しつつある。これらのうちステンレスW11のみは第二次大戦中にすでに製造、使用されたものであるが、その他は戦後の発明に属し主として軍事上の目的から開発せられ、超音速ジェット機、ミサイルの急激な発展にはこの種のステンレス鋼が重要な役割を果して来た。その多くは米国において発明発展せられ、代表的なメーカーとしては Armco Steel, Allegheny Ludlum Steel, Crucible Steel,

Cooper Alloy Foundry などが挙げられる。

以下に析出硬化性ステンレス鋼の概要について述べ、代表的な鋼種の紹介を行なうこととする。

#### II. 冶金学的概説

現在までに発表せられている析出硬化性ステンレス鋼は表1に示したようにきわめて多数にのぼつているが、その基本的特徴としては

1) Fe-Ni-Cr 3元系に少量の添加元素、たとえば Cu, Al, Mo, Ti, Nb, Be, N, Bなどを1種または2種以上加え熱処理による析出硬化現象を利用して高力化を図つたものであること。

2) 15%以上のCr, 4%以上のNiを含み耐食性が13Cr鋼や18Cr鋼のごとき単純Crステンレス鋼より概してすぐれていること。

3) 数百度以下の熱処理で硬化するため熱処理による変形が少ないこと

4) 熔接が可能なこと(例外あり)  
などが挙げられる。

析出物としては上記の添加元素の炭化物、磷化物、金属間化合物などいろいろであり硬化の機構も相異なつているが、大別すればつぎの3種になる。

(A) マルテンサイト型(martensitic precipitation hardening stainless steels)

オーステナイトに固溶しマルテンサイトには固溶しない析出物をオーステナイト→マルテンサイト変態後マルテンサイト地より析出させるもの

これには組成によつてオーステナイト→マルテンサイトの変態点が常温以上にあるものと常温以下にあるものがある。前者は常温ですでにマルテンサイトであるために1回の析出硬化処理のみで硬化するので、単一処理

\* 日本金属工業株式会社, 技術部

表1. 析出硬化性ステンレス鋼

分類	鋼種	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	Nb	Be	B	Zr	P	N
	17-4 PH Stainless W	0.04 0.07	0.50 0.50	0.50 0.50	17 17	4 7	4 —	— —	— 0.20	— 0.70	0.35 —	— —	— —	— —	— —	— —
A	17-7 PH	0.07	0.40	0.60	17	7	—	—	1.15	—	—	—	—	—	—	—
	PH15-7 Mo	0.07	0.40	0.60	15	7	—	2.25	1.15	—	—	—	—	—	—	—
	16-6 Cu Mo	0.07	—	—	16	6	1.5	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—
	AM 350	0.10	0.40	0.90	17	4	—	2.75	—	—	—	—	—	—	—	—
	AM 355	0.13	0.50	0.95	15	4	—	2.75	—	—	—	—	—	—	—	0.10
	F V 520	0.07	0.70	0.70	16	5.5	2	2	—	0.3	—	—	—	—	—	—
B	17-10 P	0.12	0.40	0.60	17	10	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	—
	3311	0.17	—	—	22	23	—	—	3.25	—	—	—	—	—	—	—
	17-14 Cu Mo	0.12	—	—	16	14	3	2.5	—	—	0.45	—	—	—	—	—
	HNM	0.30	—	3.5	19	9.5	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	—
	PH 20	0.07	1	2	21	28	3.5	3	—	—	0.5	—	—	—	—	—
	SR	—	—	—	12	14	6.5	6.5	—	—	—	—	—	—	—	—
	Unitemp 212	0.08	—	—	16	25	—	—	0.3	4	0.5	—	0.06	0.05	—	—
C	V 2 B	0.07	3	0.6	19	10	2.2	3	—	—	—	0.15	—	—	—	—
	PH55A	0.04	3.5	1	20	9	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—
	PH55B	0.04	1.5	1	20	9	3.5	5	—	—	—	—	—	—	—	—
	PH55C	0.04	3	1	20	9	3	4	—	—	—	—	—	—	—	—
	PH55D	0.04	4	1	19.5	10.5	—	4	—	—	1	—	—	—	—	0.10

型(single treatment martensitic steels) と呼ばれており、後者は中間熱処理や冷間加工、サブゼロ処理で一旦マルテンサイト化した後析出硬化処理を行なうもので二重処理型(double treatment martensitic steels) と呼ばれる。

単一処理型には Stainless W, 17-4 PH などが属し溶体化処理においてすでにマルテンサイト地になり時効前の硬度が高いのが欠点であるが、硬化は容易である。オーステナイト→マルテンサイト変態温度(Ms点)は化学成分によつて制御されるので、成分配合の調節が重要である。

二重処理型には 17-7 PH, PH 15-7 Mo などが属し、焼鈍状態では柔軟で靱性に富み、冷間加工が容易である。成分配合の他に中間熱処理温度を適当にえらび、オーステナイト調整を行なう。表1中の AM350, AM 355 は厳密には析出硬化性ステンレス鋼ではないが、二重処理型に類似の熱処理を施し時効硬化を行なうもので、便宜上この型に分類される。F V 520 は加工材に対しては二重処理型、鍛造材に対しては単一処理型の熱処理を行なう。

(B) オーステナイト型(austenitic precipitation hardening stainless steels)

オーステナイトに固溶しない燐化物や炭化物をオーステナイト地より析出させ、格子に歪を与えて硬化させるもので、17-10 P, 3311, 17-14 Cu Mo, HNM, PH 20 などがこの型に属する。

非磁性を要求する用途に適し Ni 量が比較的高いが、硬化処理後の硬度はマルテンサイト型に比し概して劣つている。オーステナイトは析出物の溶解度が高いので、P量やC量が高く熱間加工性が一般に良くない。

(C) オーステナイト+フェライト型(austenitic ferritic precipitation hardening stainless steels)

オーステナイト+フェライトの二相組織でオーステナイトに固溶しフェライトには固溶しない析出物を一旦焼入により過飽和に固溶せしめ、析出処理によつてフェライトより析出させるもので、V 2 B, PH55 A, B, C などがこれに属する。

フェライト安定のために Si, Mo を加える。二相組織のため熱間加工が困難なので、通常鍛造材としてのみ用いられる。

これらの諸性質を表示すれば表2のごとくなる。

### III. 17-4 PH

17-4 PH は Armco 社の特許<sup>2)3)4)</sup>による単一処理マルテンサイト型で、溶体化処理ですでにマルテンサイトに変態しているため冷間圧延が困難なので、通常板材、帯材としては製造されず、鍛造材、鍛造材、棒材の形で供給される。線も比較的太いものが製造される。

1) 化学成分

規格例を表3に示す。

2) 熱処理

i) 溶体化処理(処理A)

表 2. 各種析出硬化性ステンレス鋼の諸性質の比較

分 類	鋼 種	硬化性	耐食性	熔接性	冷間加工性	切削性
A マルテンサイト変態	単一処理型 17-4 PH Stainless W*)	1	2	1	1	1
	二重処理型 17-7 PH PH15-7 Mo	1	2	1	2	1
B オーステナイトより析出	17-10P**) HNМ**)	3	2	3	1	1
C 二相組織中に析出	V 2 B	2	1	1	3	1

備考) 1は優秀, 2は良好, 3は困難 \*)はTiのため \*\*)は高C高Pのため熔接, 加工に困難を伴う。

表 3. 17-4 PH の 化 学 成 分

規 格	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb+Ta	Ti	N	形 状
AMS 5398	<0.08	<1.00	<1.00	<0.04	<0.04	15.50 ~17.50	3.00 ~5.00	3.00 ~5.00	<0.45	—	<0.05	砂型鋳物
AMS 5643A	<0.07	<1.00	<1.00	<0.04	<0.03	15.50 ~17.50	3.00 ~5.00	3.00 ~5.00	—	0.10 ~0.25	—	鍛造品
AMS 5643D	<0.07	<1.00	<1.00	<0.04	<0.03	15.50 ~17.50	3.00 ~5.00	3.00 ~5.00	0.15 ~0.45	—	—	棒鍛造品
Circle L17	<0.07	<1.00	<1.00	<0.04	<0.04	15.25 ~17.25	3.00 ~5.00	2.30 ~3.00	—	—	—	鋳物

17-4 PH の Ms 点は常温以上にあり, 徐冷でもマルテンサイト変態を起こす。溶体化処理は加工歪を除去し析出物を固溶させる目的で 1000~1050°C 空冷または油冷を行なう。保持時間は肉厚, 形状に応じ適当にとるが径 25 mm の棒材に対し 30 分を標準とする。

図 1<sup>5)</sup>は処理温度と Ms 点, 磁化強さ,  $\gamma/M$ 比との関係を示す。

処理温度が上るにしたがつて Ms 点は下り柔軟となるが硬化度が少なくなる。逆に低過ぎる時は硬化処理後の靱性が低下する。

油冷は空冷に比べ結晶粒が細くなり均一に硬化するので小型で簡単な形状のものに用いられる。

組織は Cu を過飽和に固溶したマルテンサイトの地中に少量のフェライト粒子が散在した組織である。

ii) 析出硬化処理

処理 A を行なつた材料を成型, 機械加工後 450~600°C の析出硬化処理を行なつて Cu に富む化合物を析出

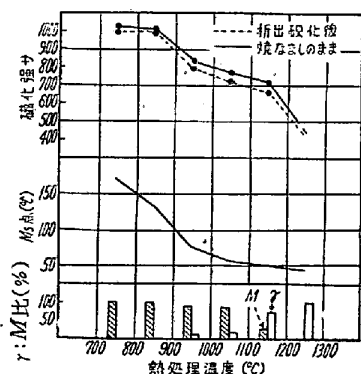


図 1 17-4 PH 鋼の焼なまし温度と磁化強さ, Ms 点および  $\gamma:M$  比。

表 4. 17-4 PH の 代 表 的 硬 化 処 理

記 号	処 理 法	特 徴
H 900	480°C 1時間空冷	最高強度を要するとき
H 925	500°C 4時間空冷	
H 1025	550°C //	中間強度を望むとき
H 1075	580°C //	
H 1150	620°C //	靱性をも併せ望むとき

させて硬化する。低温側では高い硬度が得られ, 高温側は硬度は多少低下しても靱性を要する場合に用いられる。肉厚が大で, 硬化処理で割れ発生のおそれがある形状の時は特に靱性を保有させるために 650°C で処理を行なうことがある。代表的な硬化処理法を表 4 に, 硬度との関係を図 2<sup>5)</sup>に示す。

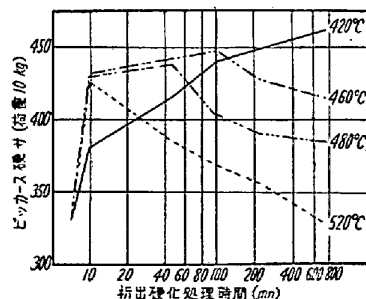


図 2. 17-4 PH 鋼の析出硬化処理温度と時間の硬さ曲線

硬化処理は温度が低いので表面に僅かな変色を生ずるのみで酸化が少なく, 寸法変化も 1cm 当り 0.004~0.006 mm の収縮を伴うに過ぎない。

硬化処理後の組織は写真 1 に示すごとくで, 析出物は

きわめて微細で炭化物、窒化物と判別し難い。

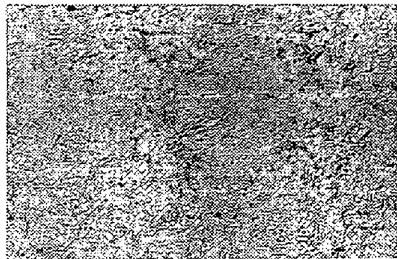


写真1. 17-4 PH の H900 処理後の組織 ×500 (1/2)  
A: 1040°C 30 分油冷  
H900: 480°C 60 分空冷

### 3) 物理的性質

表5<sup>4)</sup>に主要な物理的性質を示した。

表5. 17-4 PH の物理的性質

	溶体化処理 (処理A)	硬化処理 (H 900)
比重	7.78	7.80
比抵抗 $\mu\Omega\text{cm}$	98	77
導磁率 100 Oe	74	100
200 Oe	48	60
最大	95	151
平均熱膨脹係数 $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$		
20 ~ 100°C	11.6	11.6
20 ~ 200°C	11.6	11.8
20 ~ 300°C	12.0	12.2
20 ~ 400°C	12.2	12.6
熱伝導率 $\text{gcal}/\text{cm}^2/\text{s}/^\circ\text{C}/\text{cm}$		
150°C	—	0.0427
250°C	—	0.0466
450°C	—	0.0538
480°C	—	0.0542

### 4) 機械的性質

表6<sup>4)</sup>は 17-4 PH の 25 mm  $\phi$  棒材について代表的熱処理を施した場合の常温における機械的性質の一例を示したもので、最高強度の得られる H 900 処理の機械的性質はマルテンサイト系ステンレス鋼にくらべ遜色なく降伏点はこれらより遙かに高い。

硬化処理を施した 17-4 PH を 430°C に 4,000 h

表6. 17-4 PH の 常 温 機 械 的 性 質

機械的性質	処理条件	処理A 1040°C 30分油冷	H 900 480°C 1 h 空冷	H 925 500°C 4 h 空冷	H 1025 550°C 4 h 空冷	H 1075 580°C 4 h 空冷	H 1150 620°C 4 h 空冷
	引張強さ $\text{kg}/\text{mm}^2$		105	140	134	120	116
0.2% 耐力 $\text{kg}/\text{mm}^2$		77	125	123	116	105	88
伸び %		6~15	12	14	15	16	19
絞り %		30~60	48	54	56	58	60
硬さ・ロックウエル		C 32	C 44	C 42	C 38	C 36	C 33
アイゾット衝撃値 $\text{ft}\cdot\text{lb}$		—	20	25	35	40	50

保持した後の常温機械的性質は若干抗張力、耐力を上げ伸び、絞りを減ずる傾向を示すが、かなり安定である。

鑄造材<sup>6)</sup>においては AMS 5398 に規定の標準のものと、circle L17 のごとき低 Cu のものの2種があり、前者は H900 (480°C 時効)、後者は H1000 (540°C 時効) の硬化処理を施して用いるが、その機械的性質を比較すれば表7のごとくである。

また硬化処理後の 17-4 PH の高温および低温における機械的性質はそれぞれ表8<sup>4)</sup>および表9<sup>4)</sup>のごとくで 480~−80°C の範囲にわたって十分な強度を保持している。

つぎに機械的性質におよぼす成分の影響<sup>7)</sup>をみると、Cは溶体化処理におけるマルテンサイト硬度を下げ加工を容易にするために低目がよい。Cが高いと溶体化処理における残留オーステナイトを増し Cu-rich 相の析出硬化を妨げる。したがって Nb または Ti を添加して炭化物として安定化を図ることが通常行なわれ、特に N を制限して安定化元素の有効な利用を図ることも行なわれる。AMS 5398 で N を 0.05% 以下としているのはこのためである。

Cu は高い方が析出硬化を促進し、強度を増すが、靱性を低下させ溶接性も低下する。鑄造材で低 Cu が用いられることがあるのはこのためである。

### 5) 耐食性<sup>8)</sup>

表10に各種の腐蝕剤に対する 17-4 PH の耐食性を示した。13 Cr, 18 Cr よりすぐれ 18-8 に近い。硝酸のごとき酸化性酸に対しては Cu-rich 相の析出により硬化処理を施したものは溶体化処理状態に比し耐食性が低下するが、稀硫酸のごとき非酸化性酸に対しては逆に硬化処理によって耐食性が向上する。図3, 図4参照

### 6) 加工

鍛造<sup>9)</sup>は 1180~1200°C に均熱して行なえば良い鍛造性が得られる。保持時間は最少 15 分、厚み 25 mm に対して 1 時間を標準とする。

溶体化処理後の酸洗は通常のステンレス鋼の場合と同

表7. 17-4 PH 鑄造材の常温機械的性質

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb+Ta
標準	0.04	0.58	0.69	0.010	0.014	16.42	4.26	4.02	0.11
低 Cu	0.04	0.60	0.69	0.011	0.011	16.33	4.11	2.88	tr

	溶体化処理1050°C 1h 空冷後のブリ ネル硬さ	硬化処理 1h 空冷	硬化処理後の常温機械的性質					
			引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	0.2%耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	絞 り %	シャルピー 衝撃値 kg-m/cm <sup>2</sup>	ブリネル 硬さ
標準	311	480°C	135.5	114.5	4.9	8.0	5.3	405
		540°C	118.6	106.5	13.9	25.7	—	—
低 Cu	321	480°C	131.6	106.5	10.0	14.2	—	—
		540°C	109.0	87.4	16.9	47.7	1.8	331

表8. 17-4 PH 硬化処理後の高温性質

試験温度	20°C	260°C	310°C	370°C	430°C	480°C	540°C	650°C
	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	137.8	119.5	—	111.1	110.6	98.4	69.6
0.2% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>	128.0	105.4	—	97.0	96.7	77.3	52.4	30.2
伸 び %	15	10	—	10	10	10	15	15
絞 り %	47	34	—	34.5	24	33	465	61
ブリネル硬さ	407	360	—	348	330	277	212	131
ラプチュア強さ 破断応力 kg/mm <sup>2</sup> (1000 h)	—	—	104.0	91.4	62.6	33.7	—	—
クリープ強さ 伸 び. % (0.1%/1,000 h)	—	—	2	2	4	17	—	—
	—	—	99.1	84.4	35.1	—	—	—

表9. 17-4 PH 硬化処理後の低温性質

試験温度	+20°C	0°C	-40°C	-62°C	-80°C	-186°C
引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	137.8	142.7	146.9	153.2	—	185.0
0.2% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>	128.0	128.6	130.8	136.4	—	170.8
伸 び %	15	16	17	17	—	7
絞 り %	47	53	53	52	—	10
シャルピー (V切欠) kg-m/cm <sup>2</sup>	3.8	3.5	2.0	1.4	1.3	0.7

表10. 17-4 PH の耐食性 g/m<sup>2</sup>/h

処 理	5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 沸騰 8h	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 常温 24h	40% HNO <sub>3</sub> 沸騰 8h	65% HNO <sub>3</sub> 沸騰 8h	10% HCl 常温 24h
A	370	6.40	0.39	0.59	4.46
H 900	456	1.29	0.40	1.61	2.27

様であるが、溶融アルカリ処理は材料を硬化させることに注意を要する。析出硬化処理後の酸洗はきわめて薄い酸化被膜なので、10%硝酸+2%弗酸(40~60°C)中に数分間浸漬すれば容易に除去できる。

機械加工は溶体化処理、硬化処理いずれの状態でも可能であるが、前者の方が遙かに容易で、後者の場合は前者の60%の切削速度で加工するのが適当である。

溶接<sup>11)12)</sup>は普通のオーステナイトステンレス鋼に用

いられるどの方法によつても容易に溶接でき、13Crの場合のように予熱、後熱を要せず、18-8のような粒間腐食も起さない。溶接棒は溶接部に高強度を要しない場合は308型を用い、然らざる場合は17-4 PHの芯線を用いる。後者の場合は溶接部の靱性が低いのでノッチ・エフェクトを生じないように注意し、溶接後正規の熱処理を行なう。表11<sup>11)</sup>参照。

表 11. 17-4 PH 溶接継手性質

処理	1. 溶体化処理 2. 480°C 3. 溶接	1. 溶体化処理 2. 溶接 3. 480°C	1. 溶体化処理 2. 480°C 3. 溶接 4. 480°C	1. 溶体化処理 2. 溶接 3. 溶体化処理 4. 480°C
ロックウェルC硬さ	43	43	43	43
母材	30	44	45	43
ビード				
引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	105.0	129.5	129.5	136.5
伸び %	5.0	6.0	7.2	5.5
継手効率 %	75	92	92	98

註: 6.3mm 板に 17-4 PH 4mm 被覆棒により衝合溶接, 溶接棒なしのアルゴンアーク溶接の場合も同様.

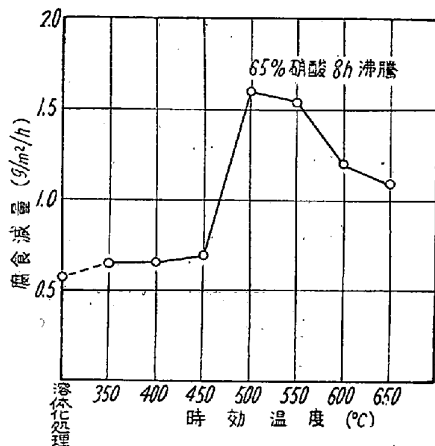


図 3. 17-4 PH 鋼の時効温度と耐硝酸性

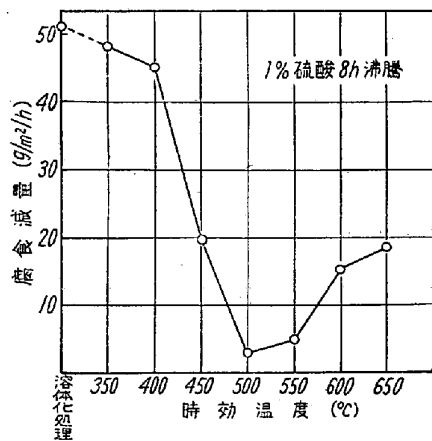


図 4. 17-4 PH 鋼の時効温度と耐硫酸性

通常用いられる成分範囲は表 12 のごとくである.

表 12. 17-7 PH の化学成分

C	Si	Mn	P
<0.09	<1.00	<1.00	<0.04
S	Cr	Ni	Al
<0.03	16.00~18.00	6.50~7.75	0.50~1.50

## 2) 熱処理

17-7 PH は成分上 Ms 点が常温以下にあるのでマルテンサイト変態を行なわせるために中間熱処理を行なつてオーステナイト調整を行なつて Ms 点を上げる場合と強度の冷間加工を行なつて変態を行なわせる場合とがあり, 前者にはさらにサブゼロ処理を行なつて変態を助けこれを完了させる場合がある. いずれもさらに低温の析出硬化処理を行なつて充分硬化させる. 通常行なわれる代表的な処理法を表 13 に示す. 形状と所要強度より適当な処理法をえらぶ.

### i) 溶体化処理 (A 処理)

溶体化処理は 1030~1050°C 急冷の熱処理をいう. その組織は写真 2 に示すように少量のフェライトを含むオーステナイトである. 柔軟で加工性に富むので, この状態で成型加工を行う.

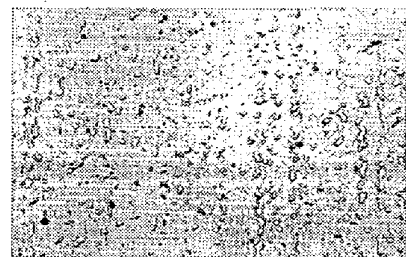


写真 2. 17-7 PH A 処理後の組織  
×500 (1/2)  
A: 1050°C 5 分空冷

## IV. 17-7 PH

17-7 PH は Armco 社の特許<sup>13)14)15)</sup>による二重処理型に属する析出硬化鋼であるが, 溶体化処理状態では 18-8 と同様きわめて軟かく成型加工性がすぐれているので板, 棒, 線などに容易に加工でき応用範囲の広い代表的な鋼種である. 本鋼種は Cr 17, Ni 7 の不安定オーステナイトに Al を約 1.2% 添加しマルテンサイト変態と Ni-Al 化合物の析出により硬化を行なう.

### 1) 化学成分

表 13. 17-7 PH の 硬化 処理

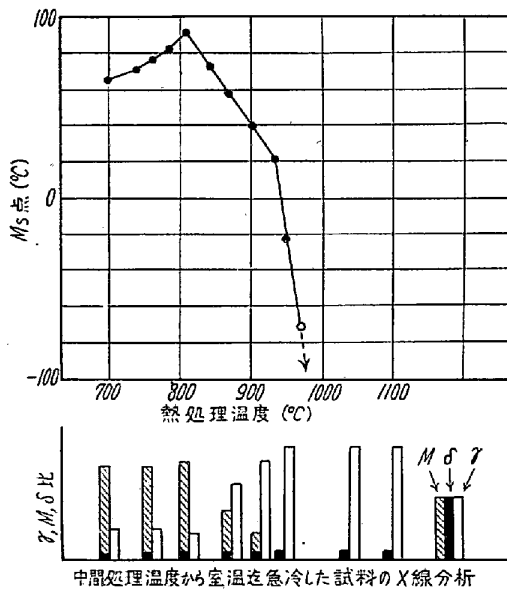
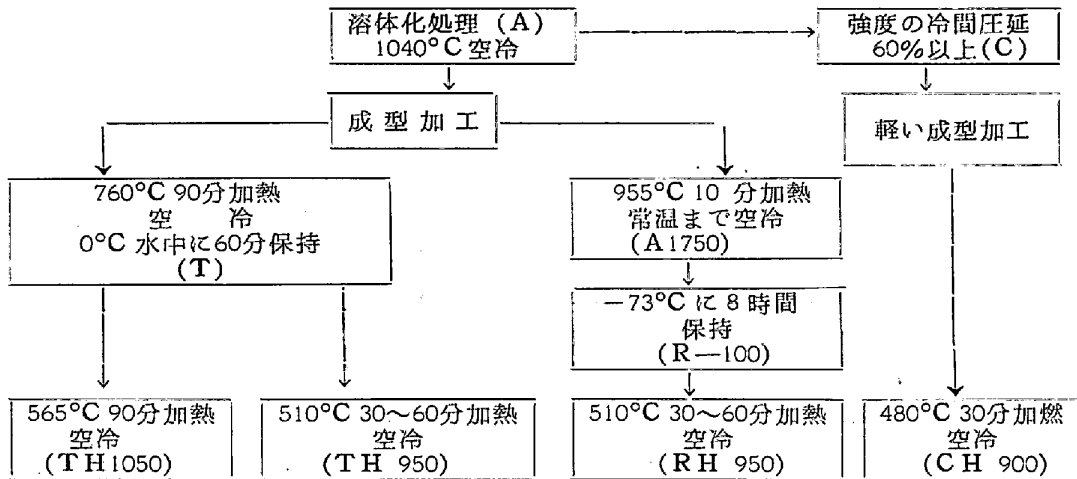


図 5. 17-7 PH 鋼の中間処理温度と Ms 点との関係 (溶体化処理温度)

ii) 中間熱処理

熱処理でマルテンサイト変態を行わせるためにオーステナイト調整の中間熱処理を行う。中間熱処理の Ms 点および組織におよぼす影響は図 5 のごとくで、750~850°C の範囲では Cr 炭化物がオーステナイトから析出してオーステナイト中の Cr が低下し Ms 点上昇する。980°C 以上に中間処理温度を上げると Cr 炭化物が固溶し Ms 点は常温以下に降下する。

TH 処理の場合の中間熱処理は通常 760°C に 1.5 時間加熱後 15°C 以下の水中に 30 分以上の保持を行う。(T 処理)。サブゼロ処理を行ってマルテンサイト変態を行わせる場合は Ms 点が高い必要はないので、Cr 炭化物の析出を少なくしてマルテンサイト中の C を高めその硬度を高めるために 930~970°C にて中間処理を行う。

(A1750 処理)。従つて此の場合は前者に比し高硬度が得られる。

冷間加工によつてマルテンサイト変態を行わせる場合は中間熱処理を行わない。強い冷間加工歪のために変態が行われるが、Cr 炭化物の析出がないため最も硬化が大きい。

中間処理温度と機械的性質との関係は図 6 のごとくである。

オーステナイトマルテンサイト変態は以上のように中間処理温度の影響が大きい、同時に成分バランスの影響もいちじるしく、特に製鋼上正確な調節の困難な Al の影響が大きい。

iii) 析出硬化処理

析出硬化処理はマルテンサイト中に過飽和に固溶した化合物を低温時効によつて析出させるためのものである。析出物は Ni-Al 金属間化合物とされておりきわめて微細で光学顕微鏡では認められない。T 処理後析出硬化処理を施したものを TH 材、サブゼロ処理後行なつたものを RH 材、冷間加工後行なつたものを CH 材と呼ぶ。

a. TH 処理

TH 処理における硬化処理温度と機械的性質の関係を図 7 の示す。標準的な処理法は TH 1050 (T 処理後

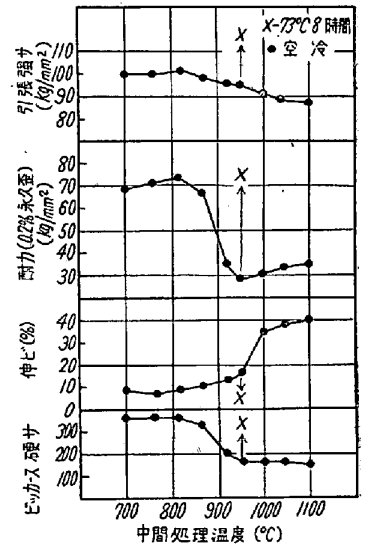


図 6. 17-7 PH 鋼の中間処理温度と機械的性質との関係

566°C ± 5°C 90 分保持後空冷) と TH 950 (T 処理後 510°C ± 5°C 30~60 分保持後空冷) である。写真 3 参照。

b. RH 処理

サブゼロ処理後析出硬化処理を行なったもので、RH950 (-73°C ± 5°C, 8h 保持後 510°C ± 5°C 30~60 分保持後空冷) が標準の処理法である。サブゼロ処理温度および析出硬化処理温度と機械的性質との関係を図 8<sup>16)</sup>、図 9<sup>16)</sup> に示す。

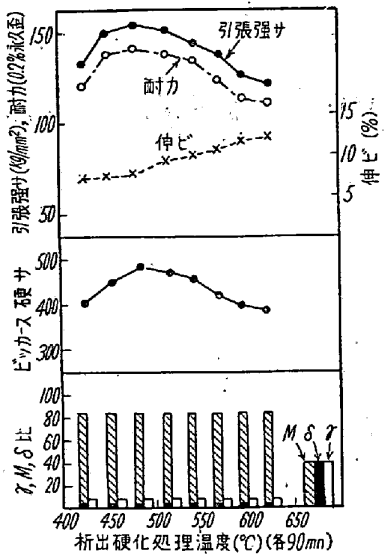


図 7. 17-7 PH 鋼の析出硬化処理温度と機械的性質 (中間処理温度 760°C 90mn 空冷)

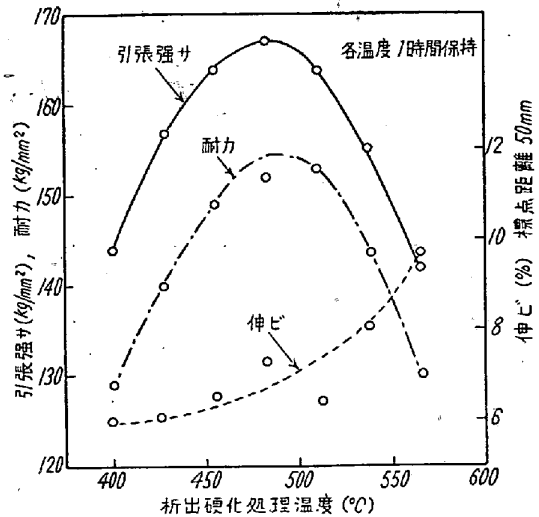


図 9. 17-7 PH 鋼の析出硬化処理温度と機械的性質の関係 (-73°C に冷却, 8 時間保持)

c. CH 処理

溶体化処理を施こしたものに冷間加工 (薄板, ストリップ圧延, または線材の伸線加工) を行なった後析出硬化処理を行なうもので、標準は 480°C ± 5°C 30 分保持空冷の CH 900 である。線材に対する一例を図 10 に示す。

以上の各処理による歪は A 処理から、TH 処理の場合 1cm 当たり 0.04mm の膨脹、C から CH 処理の場合 0.005mm の収縮である。写真 4 は CH 900 の組織を示す。

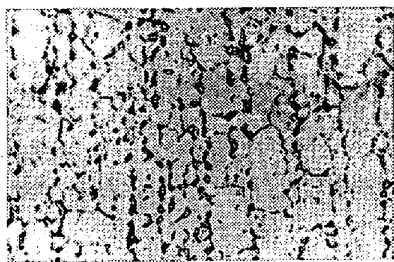


写真 3. 17-7 PH の TH 1050 処理後の組織 ×500 (1/2)  
A: 1050°C 5 分空冷  
T: 760°C 90 分水冷  
TH1050: 565°C 90 分空冷

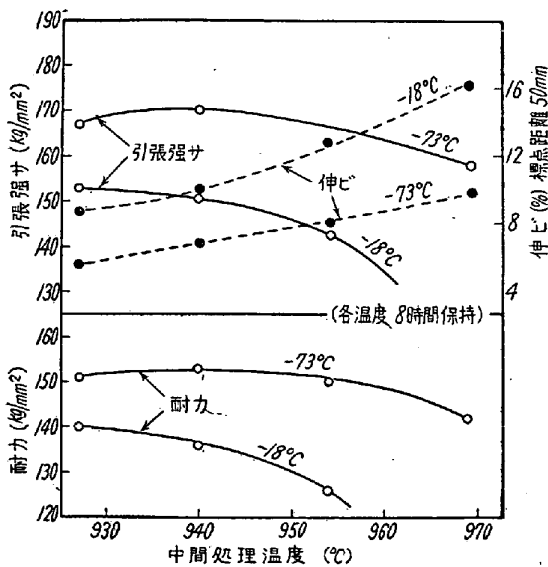


図 8. 17-7 PH 鋼の機械的性質におよぼす中間処理ならびに冷却温度の影響

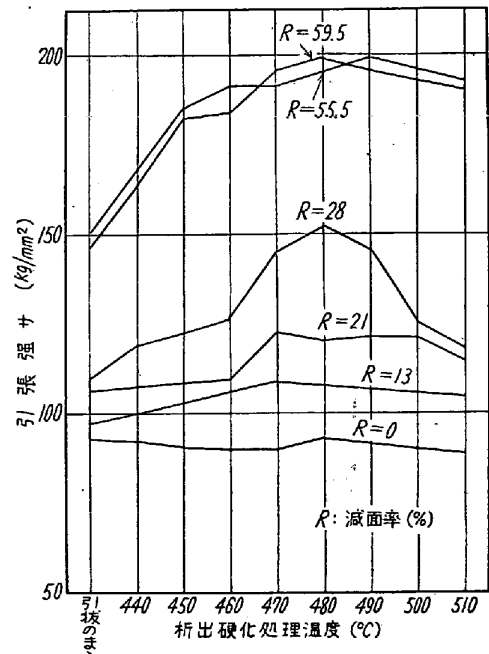


図 10. 17-7 PH 鋼の機械的性質におよぼす減面率ならびに析出硬化処理温度の影響



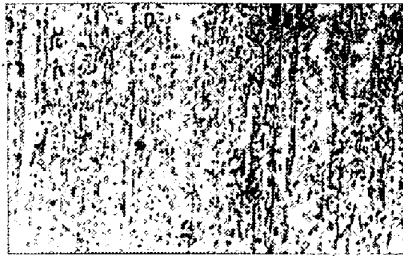


写真 4. 17-7 PH と CH 900 処理後の組織 ×500 (1/2)

C: 冷間圧延

CH 900: 480°C 60 分空冷

3) 物理的性質

表 14<sup>13)</sup> に主要な物理的性質を示した。

4) 機械的性質<sup>17)18)</sup>

表 15<sup>13)</sup> に代表的な各種処理後の常温の機械的性質を示す。

また高温における機械的性質を表 16 に示した。

5) 耐食性<sup>9)</sup>

表 17 に各種の腐食剤に対する 17-7 PH の耐食性を示した。

13 Cr や 18 Cr よりは若干すぐれているが、18-8には劣っている。17-4 PH に比較すると概して耐食性が低く特に非酸化性酸に対して劣る。

6) 加工

絞りその他の成型加工は 301 型ステンレス鋼と同様に行なう。加工硬化性、スプリングバックもこれと同様である<sup>19)20)21)</sup>。

酸洗は 17-4 PH の場合と同様である。T処理, R処理で発生するスケールは 10% 苛性ソーダ + 3% 過マンガン酸カリ (70~80°C) 1 時間浸漬後 10% 硝酸 + 2% 弗酸 (40~60°C) に 2~3 分浸漬して除去する。硬化処理による着色も 10% 硝酸 + 2% 弗酸 (40~60°C) で除去できる。

溶接も<sup>11)22)23)</sup> 17-4 PH の場合と同様容易で被覆アーク溶接には 17-4 PH の溶接棒を通常用いる。17-7 PH 棒では Al が酸化損耗して硬化が減ずる。被覆アーク溶接の場合の継手の性質を表 18<sup>11)</sup> に示す。アルゴンアーク溶接には共金溶接が可能である。裸棒を用いないアルゴンアーク溶接の継手の性質は表 19<sup>11)</sup> に示した。

V. PH 15-7 Mo

本鋼種は Armco 社が 1957 年に発表<sup>24)25)26)27)</sup> した二重処理型の新鋼種で、従来の 17-7 PH を改良したもので、より高強度が得られかつ 540°C までの温度に耐えるので、超音速ジェット機やミサイルの機体材料に用

表 14. 17-7 PH 物 理 的 性 質

	A	TH 950	TH1050	RH 950	CH 900
比 重	7.81	7.65	7.65	7.66	7.67
比 抵 抗 $\mu \Omega \text{cm}$	81.0	87.0	85.0	—	83.8
導 磁 率 100 Oe	1.4~3.5	85~100	80~99	7.5~59	70
200 Oe	1.4~3.2	50	46~55	4.3~51	43.5
最 大	1.4~3.6	130~165	134~208	—	125
平均熱膨脹係数 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$					
20~90°C	16.5	10.9	10.7	11.3	11.8
20~200°C	17.5	11.6	11.3	11.8	12.0
20~320°C	18.4	11.8	11.5	12.0	12.4
20~430°C	18.6	12.0	11.8	12.2	12.8
熱伝導率 g cal/cm <sup>2</sup> /s/°C/cm					
150°C	—	—	0.040	—	0.039
250°C	—	—	0.044	—	0.044
450°C	—	—	0.050	—	0.052
480°C	—	—	0.050	—	0.052

表 15. 17-7 PH の 常 温 機 械 的 性 質

処理条件	A	T	TH 950	TH1050	C	CH 900	RH 950
機械的性質							
引 張 強 さ kg/mm <sup>2</sup>	91.4	101.9	141.6	140.6	151	175.7	161.8
0.2% 耐 力 kg/mm <sup>2</sup>	28	70.3	140.6	130	130	168.7	152.0
伸 び %	30.0	9.0	6.0	9.0	—	—	7.2
ロックウエル硬さ	B85	C31	C45	C43	C43	C49	C46

表 16. 17-7 PH の 高 温 性 質

状 態	試験温度	20°C	150°C	260°C	320°C	370°C	430°C	480°C
		引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	139	137	128	123	117	—
TH 950		127	121	114	110	105	—	85.8
TH1050		184	174	160	136	—	145	128
CH 900		126	124	120	114	107	—	78.5
0.2% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>		105	102	96.3	93.0	89.0	—	71.7
TH 950		172	164	150	142	—	123	100
TH1050			11.5	5.0	4.0	5.0	6.0	—
TH1050	11.5		8.5	6.0	6.0	6.0	—	6.0
CH 900	5.0		4.0	3.0	3.0	—	5.0	6.0
ラプチュア強さ 1000 h kg/mm <sup>2</sup>		—	—	—	113	97.0	70.3	40.0
TH 950		—	—	—	111	85.8	63.3	36.6
TH1050		—	—	—	151	126	51.3	25.3
CH 900		—	—	—	7.0	3.0	5.0	21.0
ラプチュア伸び 1000 h %		—	—	—	17.0	24.0	23.0	40.0
TH 950		—	—	—	8.0	9.0	9.0	12.0
TH1050		—	—	—	101	94.9	35.2	—
クリープ強さ 1%/1000 h kg/mm <sup>2</sup>		—	—	—	94.9	73.8	42.2	16.2
CH 900		—	—	—	144	105	—	—

表 17. 17-7 PH の 耐 食 性 g/m<sup>2</sup>/h.

試 験	処理条件	A	T	TH1050	CH 900	A 1750	R-100	RH 950
		5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 沸騰 8 h	307	完 溶	完 溶	完 溶	390	完 溶
10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 常温 24 h	7.96	18.83	97.30	34.10	8.90	29.88	52.78	
40% HNO <sub>3</sub> 沸騰 8 h	0.10	0.11	0.31	0.10	0.10	0.11	0.17	
65% HNO <sub>3</sub> 沸騰 8 h	0.46	0.55	2.54	0.54	0.56	0.69	1.83	
10% HCl 常温 24 h	14.40	25.15	53.65	30.22	21.38	26.45	35.80	

表 18. 17-7 PH の被覆アーク熔接継手性質

処 理	1. 熔 接	1. 760°C	1. 760°C	1. 760°C
		2. 760°C	2. 熔 接	2. 510°C
	3. 510°C	3. 510°C	3. 熔 接	3. 熔 接
				4. 760°C
				5. 510°C
ロックウェル硬さ	C44	C44	C44	C42
母材	C40	B96	B90	C39
引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	131.5	101.6	99.7	131.6
伸 び %	5.4	6.2	6.2	7.0
継 手 効 率 %	94	72	71	94

註: 6.3mm 板に 17-4 PH 4mm 被覆棒により衝合熔接.

表 19. 17-7 PH のアルゴンアーク熔接継手性質

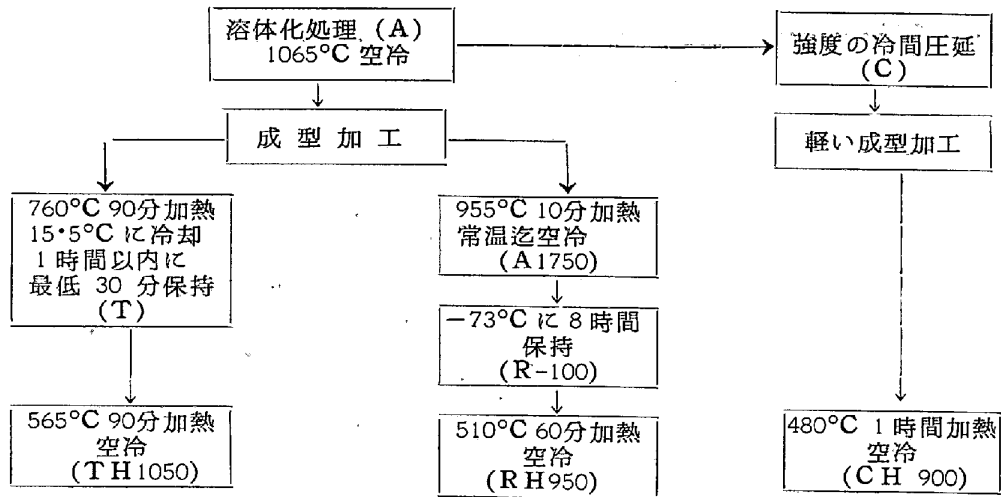
処 理	1. 熔 接	1. 760°C	1. 760°C	1. 760°C
		2. 760°C	2. 熔 接	2. 510°C
	3. 510°C	3. 510°C	3. 熔 接	3. 熔 接
				4. 760°C
				5. 510°C
ロックウェル硬さ	C45	C45	C45	C45
母材	C45	B90	B85	C47
引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	410.0	94.5	88.9	133.0
伸 び %	9.0	14.0	12.0	9.0
継 手 効 率 %	100	67	63	95

註: 6.3mm 板に溶接棒を用いずアルゴンアーク熔接二層衝合.

表 20. PH 15-7 Mo の 化 学 成 分

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
<0.09	<1.00	<1.00	<0.04	<0.04	14.00~16.00	6.50~7.75	2.00~3.00	0.75~1.50

表 21. PH 15-7 Mo の 硬 化 処 理



いられる<sup>23)</sup>。化学組成は 17-7 PH に Mo 2.5% を添加して高温強度を補い, Cr を 15% に下げ, 1.2% の Al によつて析出硬化を図つている。板, 棒, 線, 箔の形で供給され, 加工性は良好である。

1) 化学成分

標準の化学成分を表 20 に示す。

2) 熱処理

本鋼種は 17-7 PH と全く同様の熱処理を行なう。

溶体化処理 (A 処理) 後の組織は写真 5 のごとく約 10% のフェライトを含むオーステナイトである。表 21 に各種の硬化処理を示した。

写真 6 は RH 950 処理後の組織を示す。



写真 5. PH 15-7 Mo の A 処理後の組織 ×500 (1/2)  
A: 1060°C 5分空冷

A 処理から TH 1050, RH 950 までに約 0.04 mm/cm の膨脹, C 処理から CH 900 までに 0.005 mm/cm の収縮がある。

3) 物理的性質

主要な物理的性質を表 22<sup>24)</sup> に示した。

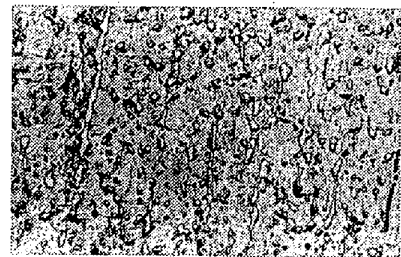


写真 6. PH 15-7 Mo の RH 950 処理後の組織 ×500 (1/2)  
A: 1060°C 5分空冷  
A1750: 950°C 10分空冷  
R-100: -73°C 8時間  
RH950: 510°C 60分空冷

表 22. PH 15-7 Mo の 物 理 的 性 質

	A	TH1050	RH950
比 重	7.80	7.68	7.68
比抵抗 $\mu \Omega \text{cm}$	80	82	83
導磁率 100 Oe	5.1	94	87
200 Oe	4.7	55	53
最 大	5.3	150	119
平均熱膨脹係数 $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$			
20~90°C	14.4	11.0	9.0
20~200°C	14.4	11.0	9.7
20~320°C	15.3	11.0	10.1
20~430°C	16.0	11.3	10.6
20~480°C	16.5	11.7	10.7
20~540°C	16.9	11.9	11.0

4) 機械的性質

表 23<sup>24)</sup> に代表的な常温機械的性質を示した。いずれも 17-7 PH より約 10% すぐれている。成分および熱

表 23. PH 15-7 Mo の 常温 機械的 性質

処理条件	A	T	TH1050	R-100	RH950	C	CH900
引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	91.4	101.8	147.4	126.4	168.5	154.5	186.1
0.2% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>	38.6	66.8	140.4	87.8	151.0	133.4	182.6
伸び %	30	7	7	7	6	5	2
ロックウェル硬さ	B90	C28	C45	C40	C48	C45	C50

表 24. PH 15-7 Mo の 高温 性質

状態	試験温度							
	24°C	150°C	315°C	370°C	430°C	480°C	540°C	
TH1050 RH 950 CH 900	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>							
	146	135	126	119	112	99	77	
	168	160	143	136	128	115	91	
	182	180	166	160	153	140	121	
TH1050 RH 950 CH 900	0.2% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>							
	139	133	120	115	105	93	74	
	154	144	125	115	106	93	74	
	179	164	148	140	133	123	100	
TH1050 RH 950 CH 900	伸び %							
	7.0	4.5	4.5	6.0	9.0	14.0	19.0	
	5.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	14.0	
	3.0	2.0	1.5	1.5	1.5	2.5	4.0	
RH 950	ラプチュア強さ 1000 h kg/mm <sup>2</sup>		—	—	140	134	120	75.7
RH 950	クリープ強さ 1%/1000 h kg/mm <sup>2</sup>		—	—	91	84	66.5	28

表 25 PH 15-7 Mo の 耐食性 g/m<sup>2</sup>/h

試験	処理条件	A	T	TH1050	A1750	R-100	RH950	CH900
5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 沸騰 8 h		37.0	425.0	完 溶	63.9	255.00	完 溶	224.0
10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 常温 24 h		0.40	6.96	10.00	0.75	1.16	3.01	0.55
40% HNO <sub>3</sub> 沸騰 8 h		0.18	0.42	8.44	0.19	0.38	0.52	0.29
65% HNO <sub>3</sub> 沸騰 8 h		0.72	2.83	37.80	1.33	1.32	2.39	1.82
10% HCl 常温 24 h		1.16	16.40	23.00	13.00	21.90	23.00	14.00

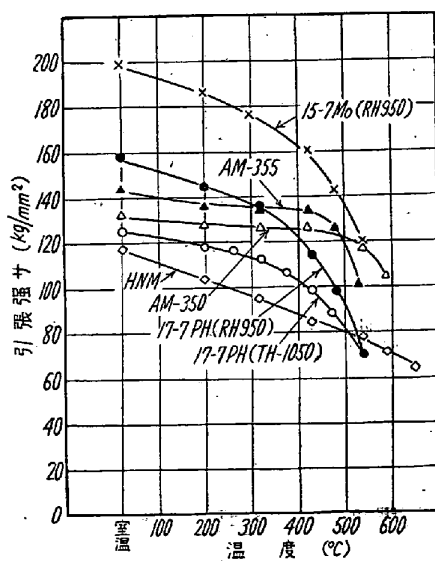


図 11. 各種析出硬化型鋼の高温強度

処理によつて相当変動があることはもちろんである。  
また高温における機械的性質を表 24<sup>24)</sup> に示した。

図 11<sup>25)</sup> のごとく 500°C までの強度が他鋼種より高い。

#### 5) 耐食性

表 25 に各種の腐食剤に対する PH 15-7 Mo の耐食性を示した。Mo を含むため H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、HCl に対する耐食性は 17-7 PH よりかなりすぐれているが、Cr が低い  
ため HNO<sub>3</sub> のごとき耐食性は若干これより劣る。

#### 6) 加工

成型加工、酸洗、熔接はすべて 17-7 PH に準ずる。

### VI. AM 350, AM 355

これらは Allegheny Ludlum Steel Corp<sup>29)30)31)</sup> の発展させた高強度ステンレス鋼で、マルテンサイト変態により硬化せしめるもので、厳密には析出硬化型ではないが、便宜上これに含ませて紹介する。オーステナイト系とマルテンサイト系の中間に位置するものとしてこの名称がある。

AM 350 は主として薄板用に製造せられ、AM 355 は棒、鍛造品、厚板用である。

化学成分は表 26 に示す。

成分上 Ms 点は常温あるいは常温以下にあるので、溶体化処理状態ではオーステナイト+フェライトの二相であり、柔軟で冷間加工性がある。AM 355 は AM 350 に比しフェライト量少なく、あるいは含まぬ場合がある。溶体化処理は 930~1065°C に加熱水冷または油冷の処理を行なう。

硬化処理には (1) サブゼロ処理および焼戻と (2) double aging の 2 種がある。

前者は -73°C に 2h (AM350) または 3h (AM355) 保持しマルテンサイトに変態せしめ 400~480°C, 1~2h (AM350) または 440~470°C, 3h 以上 (AM355) に焼戻空冷を行なつて残留オーステナイトを分解してさらに硬度、降伏点を高める。後者は 705~760°C 1~2h (AM350), 730~760°C 2h 以上 (AM355) 加熱空冷を行なつて Cr 炭化物を析出せしめオーステナイト中の固溶 Cr, C を低下せしめて Ms 点を高めマルテンサイト変態を行なわせ、ついで 425~480°C, 1~2h (AM350)

440~470°C, 2h 以上 (AM 355) 加熱空冷の処理を行なつてさらに硬度、降伏点の上昇を図るものである。

これらの各処理後の機械的性質を表示すれば、表 27<sup>29)</sup> および表 28<sup>30)</sup> のごとくである。

なお AM 350 は加工硬化がいちじるしいので、冷間圧延後時効を行なつてきわめて高い強度を得ることもできる。表 29<sup>29)</sup> 参照。

高温強度は図 11 に示すごとく 400~500°C では 17-7 PH よりすぐれているが、PH 15-7 Mo より劣っている。

AM 350 の耐食性は表 30<sup>29)</sup> に示すごとく、Mo を含有するので非酸化性酸に対する耐食性がかなりすぐれている。溶体化処理状態では応力腐食割れに対する抵抗性が大きい。AM 355 は AM 350 より高 C, 低 Cr のため若干劣る。

AM 350, AM 355 とともに 18-8 と同様各種の溶接が可能である。共金熔接で割れを生じないが、高熱により合金元素が固溶して Ms 点が下り、AM 350 では変態に有効なオーステナイトが減少するので、930°C 加熱後サブゼロ焼戻または二重焼戻を行ない硬化させる<sup>32)</sup>。

表 26. AM 350, AM 355 の化学成分

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
AM350	<0.10	<0.50	<0.80	<0.040	<0.030	17.0~18.0	3.5~4.5	2.5~3.0	—
AM355	0.10~0.15	<0.50	0.50~1.25	<0.040	<0.030	15.0~16.0	4.0~5.0	2.50~3.25	0.07~0.13

表 27. AM 350 の常温機械的性質

処 理 条 件	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	0.2%耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	ロックウエル硬さ
溶体化処理	109.1	36.5	21.0	B94
サブゼロ処理 (-73°C 2h)	138.3	77.4	12.0	C40
〃 + 焼戻 (+400°C 2h)	136.3	106.9	12.0	C41
中間焼戻 (730°C 1h)	110.6	73.7	10.0	C35
二重焼戻 (730°C 1h, +455°C 1h)	123.5	102.0	13.0	C38

表 28. AM 355 の常温機械的性質 (25mm角棒)

処 理 条 件	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	0.2%耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	絞 り %	ブリネル硬さ
鍛造のまま	491	51.1	14.0	20.6	311
955°C 2h WQ, -73°C 2h, 455°C 2h AC	149	134	15.0	22.0	444
1010°C 2h WQ, " " "	152	116	18.5	34.1	401
1065°C 2h WQ, " " "	134	98.6	28.0	43.1	388
955°C 2h WQ, 745°C 2h AC, 455°C 2h AC	133	117.6	23.0	44.3	415
1010°C 2h WQ, " " "	133	111.3	19.0	25.8	388
1065°C 2h WQ, " " "	134.4	77	28.0	40.8	401

表 29. AM 350 の冷間圧延と時効の機械的性質におよぼす影響

加工率および時効	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	0.2%耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸び %	ロックウエル硬さ
0% (溶体化処理)	118.4	31.3	20.5	B95
5	123.6	42.8	15.5	C24
10	122.2	53.7	13.5	C34
20	136.5	101.8	8.5	C41
30	156.2	147.1	2.5	C42
40	155.9	149.3	2.0	C42.5
20 430°C 2h	138.5	123.8	15	C42
30 455°C 1/2h	156.9	156.7	3.0	C45
40 455°C 1/2h	165.5	165.1	2.0	C46

表 30. AM 350 の耐食性 g/m<sup>2</sup>/h

	1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 38°C 2h	100% CH <sub>3</sub> COOH 沸騰 5×48h	65% HNO <sub>3</sub> 沸騰 5×48h
サブゼロ処理	—	—	1.50
サブゼロ処理+焼戻	0.03	0.07	2.07
二重焼戻	0.21	0.16	3.49

## VII. FV 520

FV 520 は英国 Firth-Vickers 社が発展<sup>33)</sup>せしめた高強度ステンレス鋼で表 31 の化学成分を有し板、棒、鍛造品、鋳造品、線に加工できる。

FV 520 においては加工材は Ms 点が常温以下になるような成分をえらび二重処理型の熱処理を行なうのに対し、鋳造材は Ms 点の常温以上の成分をえらび単一処理型の熱処理によつて硬化させる。したがつて化学成分、加工度によりいちじるしく機械的性質が不安定である。

加工材は 1050°C 空冷の溶体化処理でオーステナイト組織となるが、冷間加工硬化性が大きい。硬化処理は 700~800°C 2時間保持後約 15°C まで空冷の処理を行ない 2時間以上保持してマルテンサイト変態を行なわしめた後 450°C 2時間または 570°C 1~3 時間の析出硬化処理を行なう。マルテンサイト変態を完全に行なうために一段処理後の冷却は 20°C を起えないことが必要で完全な熱処理が行なわれれば -80°C までのサブゼロ処

理を施しても機械的性質は変化しない。表 32<sup>33)</sup>に 55 mm 丸棒の常温機械的性質を示す。

硬化処理による変形は 0.03 mm/cm の膨脹である。これに対し鋳造材<sup>34)</sup>では溶体化処理ですでにマルテンサイト組織で 700~800°C の熱処理は不必要である。鋳造材の常温機械的性質を表 33<sup>33)</sup>に示す。

FV 520 加工材の硬化処理を行なつたものの高温の機械的性質を図 12<sup>33)</sup>に示す。

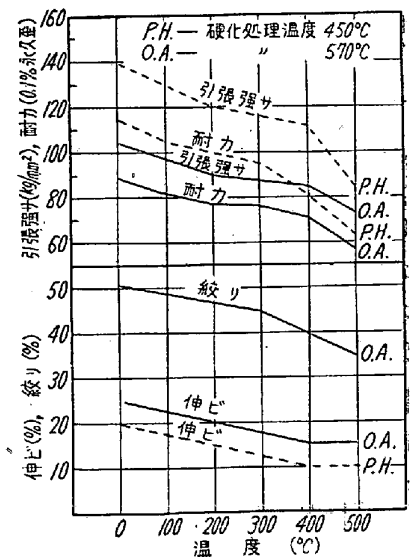


図 12. FV 520 鋼の硬化処理温度と高温機械的性質との関係

表 31. FV 520 の化学成分

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti または Nb
0.07	<1.0	<2.0	14~18	4~7	1~3	1~3	0.1~0.5

表 32. FV 520 の常温機械的性質 (加工材)

処理条件	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	0.2%耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸び %	絞り %
1050°C 空冷	86.6	29.1	33	40
700°C 2h 空冷	96.0	63.5	19	62
700°C 2h 空冷+450°C 2h	129.1	118.1	19	52
700°C 2h 空冷+570°C 1h	107.1	100.8	20	58

表 33. FV 520 の常温機械的性質 (鑄造材)

	熱 処 理	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	0.2%耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	絞 り %
遠 心 鑄 造	1000°C 空冷	99.2	78.4	10	30
	+450°C 1 h	129.1	116.5	11	30
	+550°C 1 h	112.7	108.5	15	42
	+600°C 1 h	101.1	94.5	20	47
インベストメント キャスト	1050°C 空冷+650°C 1 h 空冷	107.7	102.4	8	12

加工材では変態が 600°C 以上で始まるので 500°C 以上の使用は不適當である。

FV520 は熔接可能である。2.6mm 板に対し FV520 の熔接棒を用いアルゴンアークによる衝合熔接を行なつた継手を 700°C 2 時間+15°C 2 時間以上+550°C 1 時間空冷の熱処理を施した後の機械的性質は表 34<sup>89)</sup>のごとくである。

表 34. FV 520 の熔接継手強度

引 張 強 さ kg/mm <sup>2</sup>	0.5% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %
107.1	101.1	10

## VIII. 17-10P

17-10P は Armco 社<sup>95)</sup> が導磁率が低くかつ耐食性と高強度を要求する用途に対するものとして発展せしめたもので表 35 の化学成分を有するオーステナイト型析出硬化鋼である。

本鋼種は熱処理によつてオーステナイトより燐化物、

表 35. 17-10P の化学成分

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0.10 ~0.14	<0.60	0.50 ~1.00	0.25 ~0.30	<0.03	16.50 ~17.50	9.75~ 10.75

表 36. 17-10P の常温機械的性質

処 理 条 件	引 張 強 さ kg/mm <sup>2</sup>	0.2% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	絞 り %	ロックウエル 硬 さ
溶体化処理 1120°C 30分水冷 時効 +700°C 24 h 水冷	62.6	26.2	70	76	B82
二重時効+700°C 12 h 水冷 +650°C 24 h 水冷	96.1	61.6	25	39	C30
	100.5	68.9	20	32	C30~32

表 37. V 2 B の 化 学 成 分

C	Cr	Ni	Si	Mn	Cu	Mn	Be
<0.07	19.0~19.5	9.75~10.25	2.75~3.25	0.60~0.75	2.0~2.25	3.00~3.50	0.10~0.20

炭化物を析出させて硬化するもので、熔接は P が高いため困難で棒、線の形で供給される。

溶体化処理は 1120°C、30 分水冷の処理を行なう。C、P が高いのでこれらを充分固溶するために処理温度は高い方がよい。冷却速度が遅いと炭化物が析出し硬化処理後充分な硬度が得られない。硬化処理は 700°C、24 時間水冷の単一処理または 700°C、12 時間水冷および 650°C、24 時間水冷の二重処理を行なう。後者は耐力が約 10% 向上する。

常温の機械的性質を表 36<sup>95)</sup>に示す。

強度はマルテンサイト型に比しかなり低い。硬化処理後でも機械加工ができる。熱間加工は 1120~1150°C に加熱して行なう。1180°C 以上に過熱すると脆化する。鑄造品も可能であるが鑄込温度を可及的に低めないと偏析が避けられない。

## IX. V 2 B

V 2 B は Cooper Alloy Foundry 社が鑄造用として発展<sup>96)97)</sup>せしめた析出硬化鋼で、Cu、Mo、Si のほかに Be を含むオーステナイト+フェライトの二相合金で、表 37 の化学成分を有する。

本鋼種は熱処理によつて 40~50% におよぶフェライト組織中に Be 化合物を析出させて硬化させるもので、他のマルテンサイト型のごとく over aging によつて硬度が低下するようなことがないので、760°C のような

表 38. V 2 B の 機 械 的 性 質

処 理 条 件	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	耐 力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	絞 り %	ブリネル硬さ
鑄 放 し	—	—	—	—	302
1095°C 30 分水冷	—	—	—	—	263
1095°C 30 分水冷, 500°C 8 h 炉冷	106	85.7	3	2	363

高温の用途に用いることができる。Beを用いて 18-8 を硬化せしめることは古くから試みられたが、高価な Be を多量に必要とし耐食性が低下し脆化ならびに焼鈍硬度上昇が起るために実用化されなかつた。本鋼種は Be のフェライトおよびオーステナイトへの溶解度の相違を利用し、高温で大きな Be 溶解度を有するフェライトから約 500°C に短時間加熱析出させるもので、同時にフェライト生成元素であるとともに析出硬化を助ける Si, Mo を含有せしめている。したがって機械的性質に対し化学成分の適正なバランスが重要である。

溶体化処理は 1095°C 加熱水冷の焼鈍を行なう。温度が高いほど Be 化合物をよく固溶しフェライト量を増し焼鈍および析出硬化処理後の硬度を増すが、靱性を感じ焼鈍後の機械加工が困難となる。析出硬化処理は 495°C 前後をえらぶ。この温度では変形が少なく炭化物析出が起らない。保持時間は短時間でもよいが通常 8 時間をえらぶ。各状態における機械的性質は表 38<sup>37)</sup> に示すごとくである。

本鋼種は二相合金のため熱間加工は困難であるがミッシュメタルを取鍋添加すれば不可能ではない。熔接は可能で、焼鈍状態で同材質の熔接棒を用い被覆アークおよびアルゴンアーク熔接を行なう。Be の損耗に注意を要する。耐食性は表 39<sup>37)</sup> のごとくで、耐硫酸性は 18-8 Mo に匹敵する。Cu, Mo の含有がこれに対して有効である。Be および C は耐食性を低下せしめる。

表 39. V 2 B の硬化処理後の耐食性

試 験	耐食減量 g/m <sup>2</sup> /h
1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 沸騰	0.64
5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 沸騰	4.97
65% HNO <sub>3</sub> 沸騰	3.31
10% HCl 30°C	7.50
100% CH <sub>3</sub> COOH 沸騰	0.03

本鋼種は以上の諸性質から特に耐酸性の必要なバルブコックの摺合部には焼付カサリを起さないのも特に有効である。

## X. PH 55

PH55 系は Cooper Alloy Foundry 社が発展<sup>38)</sup>せしめた鑄造用析出硬化鋼で表 40 の化学成分を有する。

Si および Mo を比較的多量に含むため焼鈍状態ではオーステナイト+フェライトの二相合金で鑄造品として用いられるが、A および C は実験的には鍛造、圧延も可能で特に A は最も容易に加工ができる。

PH55 系は 1120°C に加熱、(1 時間)+(最大断面積 25 mm につき 1 時間) 保持後水冷の焼鈍を行なつて軟化を図る。徐冷では軟化しない。析出硬化処理は 480°C に 8 時間加熱後炉冷または空冷を行なつて不連続なフェライト粒内にシグマ相を微細に析出せしめて硬化せしめる。常温の機械的性質を表 41<sup>38)</sup> に示す。

高温における機械的性質は図 13<sup>38)</sup> のごとくで、650~

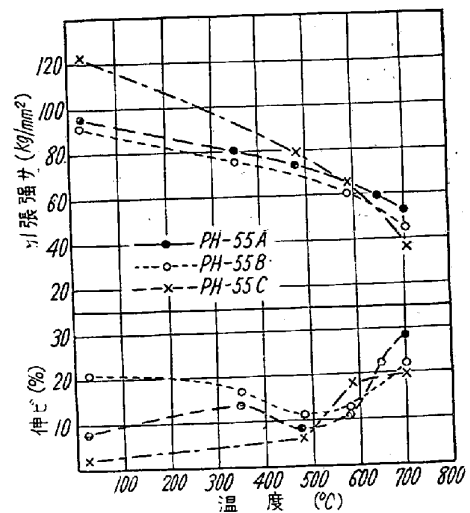


図 13. PH-55A, 55B, 55C 鋼の高温機械的性質

表 40. PH 55 系の化学成分

	C	Cr	Ni	Si	Mn	Cu	Mo	Nb	N
PH55A	<0.05	19.5~20.5	8.5~9.5	3 ~3.75	<1	—	3.75~4.25	—	—
PH55B	<0.05	19.5~20.5	8.5~9.5	1.25~1.75	<1	3.25~3.75	4.75~5.25	—	—
PH55C	<0.05	19.5~20.5	8.5~9.5	3.25~3.75	<1	2.75~3.25	3.75~4.25	—	—
PH55D	<0.05	18 ~21	9 ~12	3 ~5	<1	—	3.75~4.25	0.75~1.25	0.06~0.15



表 41. PH 55 系 の 常 温 機 械 的 性 質

	焼 鈍 状 態 ブリネル硬さ	硬 化 状 態					シャルピー衝撃値 (キーホール)ft-lb
		ブリネル硬さ	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	降 伏 点 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	絞 り %	
PH55A	241~285	311~388	97	76	8	8	4
PH55B	217~235	248~302	97	74	21	18	35
PH55C	269~331	363~477	130	105	2	2	3
PH55D	286~418	418~600	—	—	—	—	—

表 42. PH 55 系 の 耐 食 性 g/m<sup>2</sup>/h

試 験	PH55A	PH55B	PH55C	316 型 鋳 物
1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 沸騰	0.03	0.19	0.01	1.23
5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 沸騰	6.13	6.57	1.00	5.95
1% HCl 沸騰	3.63	6.11	1.22	59.1
65% HNO <sub>3</sub> 沸騰	1.78	0.29	2.11	0.52

750°C ですぐれた強度を保持して軟化しない。PH55 Aを標準にとるとBはこれより硬度は低いが靱性にすぐれ、Cは硬度はすぐれるが靱性に劣る。Dはきわめて高硬度であるがかなり脆い。A~Cは焼鈍状態で切削加工は容易であり、同様組成の溶接棒を用いアルゴンアーク溶接も可能である。硬化処理によつて生じた変色は15% HNO<sub>3</sub>+2% HFで酸洗除去することができる。

PH55系は、Si, Moの含有により耐食性に特色があり耐硫酸、塩酸性は18-8 Moに劣らない。表42<sup>38)</sup>参照。

PH55Aはいちじるしく孔食に強く、AおよびCはエロージョン、摩耗を伴う腐蝕に耐え、ポンプケーシング、インペラーなどに適する。Bは振動、衝撃を伴う耐食用である。(昭和34年7月寄稿)

#### 文 献

- 1) R. Smith, E. Wyche, W. Gorr: Trans. AIME 167 (1946) p. 313
- 2) U. S. Patent 2,482,096~98
- 3) G. N. Goller, W. C. Clarke Jr.: Iron Age Mar. 2 (1950) p. 86
- 4) Armco Product Data Bulletin, Armco 17-4 PH Bar and Wire (Armco) Apr. 1 (1957)
- 5) 川畑, 佐藤: 金属6月 (1958) p. 409
- 6) D. D. Burgan: Iron Age, Aug. 29(1957)p.67
- 7) 岡本, 岡田: 日本金属学会誌, 22 (1958) p. 363
- 8) J. Halbig, O. B. Ellis: Corrosion 14 Aug. (1958) p. 389
- 9) Steel, June 9 (1958) p. 92
- 10) A. L. Feild: Steel, July 5 (1954) p. 66
- 11) Armoco Fabricating Data Bulletin, Welding Armco 17-4 PH & 17-7 PH(Armco) Nov. 1 (1945)
- 12) C. W. Funk, M. J. Granger: Welding J., Oct. (1954) p. 496-S
- 13) Armco Product Data Bulletin: Armco 17-7 PH Sheet, Strip & Plate (Armco) Apr. 1 (1957)
- 14) Armco Product Data Bulletin: Armco 17-7 PH Bar & Wire (Armco) Apr. 16 (1956)
- 15) G. N. Goller, W. C. Clarke Jr.: Iron Age Mar. 9 (1950) p. 79
- 16) M. W. Marshall, D. C. Perry, N. R. Harpster: Met. Progress, July (1956) p. 94
- 17) 佐藤, 古川: 日本金属学会誌 22 (1958) p. 253
- 18) 佐藤, 古川: 日本金属学会誌 23 (1959) p.281
- 19) A. L. Feild: Steel, June 28 (1954) p. 100
- 20) J. T. Richards, E. M. Smith: Met. Progress, May (1957) p. 71
- 21) M. Clogg: Wire & Wire Products, 33 (1958) p. 401
- 22) J. J. Vagi, D. C. Martin: Welding J. Mar. (1956) p. 137 S
- 23) G. E. Linnert: Welding J., Jan. (1957) p. 9
- 24) Armco Product Data Bulletin, Armco PH 15-7 Mo Sheet, Strip & Plate (Armco) Oct. 21 (1957)
- 25) E. A. Loria: Iron Age, June 13 (1957) p. 132
- 26) E. A. Loria: Mat. in Design Eng. Feb. (1959) p. 90
- 27) Steel, Sept. 23 (1957) p. 138
- 28) R. W. White, Met. Progress, June (1958) p. 74
- 29) Allegheny Ludlum Technical Studies No. 5 (Allegheny Ludlum) (1955)
- 30) Technical Data on AM 355 (Allegheny Ludlum) (1958)
- 31) A. J. Lena: Iron Age, 174, No. 23 Dec. 2 (1954) p. 113
- 32) R. H. Kaltenhauser: Welding J., May (1959) p.228-S
- 33) Iron & Steel, Oct. (1957) p. 487
- 34) R. Taylor: Foundry Trade J., Apr. 9(1959) p. 414
- 35) Armco Product Data Bulletin, Armco 17-10 P (Armco) Nov. 15 (1956)
- 36) U. S. Patent 2,635,044 April 14 (1953)
- 37) N. F. Mott: Iron Age, June 18 (1953) p. 149
- 38) N. S. Mott: Iron Age, April 16 (1959)p.118