不感磁性鋼に関する研究* (第 4 報)

II-強靱耐蝕不感磁性鋼の研究 (續)

遠 藤 信**

M. Endoh : Investigation on Non-Magnetic Steel. II-Research on Tenacious, Non-Corrosive and Non-Magnetic Steels (Continued).

(Received February 9, 1942)

(6) 耐 蝕 性

(a) 實 驗 方 法

不感磁性鋼の用途から觀察すれば強烈なる腐蝕作用を受けるものは殆どなく、大氣中の濕氣による腐蝕又は海水による腐蝕等比較的弱き腐蝕作用に堪へ得れば宜しい。依つて腐蝕實驗としては大氣中に於ける腐蝕試験及び海水に対する濕乾腐蝕試験を行ふこととした。

大氣中に於ける腐蝕試験は濃霧多き季節を選び、昭和 11 年 5 月より 9 月迄に亘り 72 日間室蘭工場埠頭附近に試験片を垂直に吊して行つた。

試験片は或る期間大氣中に吊して腐蝕せしめ、後これを取外し毛刷子によりて銹を除去して腐蝕減量を秤量し、再びこれを大氣中に吊した。かくの如き操作を數回繰返して腐蝕日數合計 72 日に及んだ。

海水に対する濕乾腐蝕試験は、最初室蘭工場棧橋の橋脚に或る装置を施して試験片を吊し潮の干満を利用して行つた。然しこの場所にては船舶より排出せらるゝ油脂類が浮游して來て試験片の表面に附着し腐蝕を妨ぐることを知り、懸吊 20 日間にしてこの方法を中止し以後遠藤式濕乾腐蝕試験機^{*13}によつて實驗を進めた。本實驗の實施期は大氣中に於ける腐蝕試験と同様昭和 11 年 5 月に着手し 8 月に終つた。

腐蝕減量の測定方法も大氣中の腐蝕試験と同様にした。

(b) 實 驗 成 績

鉸上の兩腐蝕試験によりて得られた成績 (Table 31, 32 省略) から腐蝕減量と腐蝕日數との關係を圖示すれば Fig. 41, 42 の通りである。又海水に対する耐蝕性の順位を示せば Table 33 の通りである。即ち 18-8 系のものが最優秀にして、Cyclops 系のものこれに次ぎ、試験的に熔解したるものゝ内 4 種これに次ぎ、日本特殊鋼會社の特許及び Zeiss 系のものと言ふ順にして 25% Ni 鋼はこれより遙かに劣ることが知られる。

次に試料の腐蝕減量と後述の顯微鏡組織とを比較對照するに、その組織が大洲田でもその化學組成によりて耐蝕性の程度を異にし、Cr 及び Ni 量の多きものが概ね

Fig. 41 Atmospheric Corrosion Test of Various Non-Magnetic Steels.

耐蝕性大にして、Cr 及び Ni の量を Tamman の所謂作用限⁽¹⁸⁾以上に含有する 18-8 系のものが最も優秀なることは從來の腐蝕に関する實驗結果と同様である。

又大洲田組織中に麻留田又は炭化物を含むものはその量を増すに従つて局部的腐蝕又は粒間腐蝕を容易ならしめかくして耐蝕性を低減する傾向がある。

これを防止せんとすれば化學組成の改變を必要とし、高 Ni 鋼に於ては $Ar_{1.3}$ 變態を常溫以下ならしめて麻留田の生成を阻止せしむるため他元素を適當量添加すること

** 株式会社日本製鋼所廣島製作所

* 本誌, 6 (1942), 289. の續。

^{*13} 遠藤彦造博士考案の成瀬器械店發賣のもの。

(18) G. Tamman, Stahl u. Eisen, **42** (1922), 577; Z. anorg. Chem., **169** (1928), 1516.

が必要であり、Ni-Cr 系のものにありては Cr 炭化物の析出に随伴して生ずる耐蝕性小なる Cr-Ni 地鉄の生成を阻止し以つて粒間腐蝕の素因を除去するため Ti, Nb, Ta 等の元素を適量添加すれば宜しい。これらの添加

Fig. 42 Sea Water Corrosion Test (Wet and Dry Method) of Various Non-Magnetic Steels.

Table 33 Order of Resistance to Corrosion with Sea Water.

Order	Charge No.	Remarks	Order	Charge No.	Remarks
1	975	"18-8"	12	973	F Krupp, A. G. St.
2	978		13	623	25 % Ni Steel
3	979		14	668	Non-Mag. Ni Steel
4	632	Cyclops Co. Steel.	15	404	Vickers Co. St.
5	992	New Non-Mag. St.	16	631	Non-Mag. Ni Steel
6	1075		17	974	New Non-Mag. St. by the Author
7	991	by the Author	18	987	Poldi A. G. St.
8	980		19	732	Modification of Vickers Non-Mag. St.
9	411	Pat. of Nihon Tokushuko Co.	20	681	Protecting Ring of Elect. Generator
10	676	C. Zeise A. G. St.	21	734	New Non-Mag. St. by the Author
11	743	" "			

は前述の実験結果から観て不感磁性に対しても概ね一層好結果を與へ、且つその安定度を大ならしむる効果あるものと考へられる。

(7) 顯微鏡組織

Fig. 43 は前記 21 種の試料を 600° にて焼鈍したる磁気試験片の顯微鏡組織を示すものにしてこれを表示すれば Table 34 の通りである。これによれば何れの試料も大體に於て大洲田であるが、各試料に就て述べれば次の通りである。

C 量の比較的少き高 Ni 鋼 623 及び 631 は共に大洲田の地に若干麻留田が現れて居る。

Zeiss 系の 676 及び 743 は麻留田の現出を見ないが僅かに炭化物の析出があり、Krupp 系の 973 及び高炭素 Ni 鋼 668 も亦これらと略同様の組織を呈して居る。

Cyclops 系の 632 及び 18-8 系の 979, 975, 978 は炭化物の析出が極めて少く且つ地は Cr 量の高き耐蝕性大洲田である。

著者の創めて熔解したる C 量及び Mn 量の高き Ni-Cr-Mn 鋼 991, 992 及び 1075 は炭化物の析出が少く、C 量が低く Cr 量の稍多き Ni-Cr 鋼 980 は炭化物が析出して居る。

Vickers 系の 404 及び日本特殊鋼會社特許の 441 は共に良好なる大洲田組織を呈し、炭化物の析出が極めて微量である。

又著者が試験的に熔解したる 974, 734 及び Poldi 系の 987 は何れも大洲田組織にして炭化物が殆どなく、732 は僅少の炭化物が析出して居る。

(8) 常温加工の難易

一般に抗張試験に於ける断面収縮率及び延伸率の大なる材料は常温壓延、常温引拔等の

成形法を施すことが出来る。

本實驗に於ける常温加工法としては實驗操作が稍々困難であるが加工効果が均齊にして他の方法に比し適正なる結果が得らるゝ所の常温引拔法を採用した。

さて常温引拔に於ては一般に上記断面収縮率及び延伸率の大なる材料ほど 1 回の引拔に於ける断面収縮率を大ならしむることが出来、又同一の引拔條件で引抜く場合引拔に要する力は引抜かるべき材料の引張り降伏點に比例するものとされて居る⁽¹⁹⁾。この説が加工によつて變態を伴生することがあると考へらるゝ

(19) Weiss, Z. Metallk., 14 (1922), 160.

Becker, Z. Techn. Phys., 1925, 298.

K. B. Lewis, Wire and Wire Products, 8 (1933), July, Aug., Sept., & Oct.

Fig. 43 Micro-Structures of Various Kinds of Non-Magnetic Steels Annealed. $\times 450$

大洲田鋼に對して適用せらるべきか否か、又如何なる組成のものが引拔容易なるかを調べるために著者は前記機械的試験成績中より抗張力、断面收縮率及び不感磁性の優秀なる7種の試料 (Table 35 参照) を選り常溫引拔應力測定の実験を行つた。

Table 34 Micro-Structures of Various Non-Magnetic Steels Annealed at 600°

Charge No.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Micro-Structure
623	0.16			25.59			A+M
631	0.25			23.86			A+M
668	0.46			24.35			A+C
974	0.47		1.12	19.97			A
743	0.46		1.20	24.25			A+C
973	0.48		1.05	25.44			A+C
732	0.51		5.50	16.35			A+(C)
681	0.54		8.31	12.35			A
676	0.55		1.44	21.75	2.05		A+(C)
404	0.47		4.80	12.24	2.76		A+(C)
411	0.45		3.84	16.89	3.26		A+(C)
979	0.13			8.18	18.89		A
975	0.10	1.48		8.37	18.11		A+(C)
978	0.12			8.29	17.94	0.57	A+(C)
980	0.13			20.82	5.11		A+C
632	0.22	1.57		18.24	10.02		A
734	0.26		3.84	16.24	3.92		A
991	0.43		5.27	10.32	8.84		A+C
1075	0.42		3.20	9.56	10.83		A+C
992	0.52		4.88	8.12	11.61		A+C
987	0.69		8.35	8.28	4.06		A

A = Austenite, M = Martensite, C = Carbide, Bracket () means very small in quantity

Table 35 Chemical Compositions of the Specimens in Table 36 (%)

Charge No.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
9634	0.13			24.34		
632	0.22	1.57		18.24	10.02	
975	0.10	1.48		8.37	18.11	
979	0.13			8.18	18.89	
978	0.12			8.29	17.94	0.57
974	0.47		1.12	19.97		
411	0.45		3.84	16.89	3.26	

(a) 実験方法

Table 35 に示す7種の試料を $20\phi \times 180$ の粗材に高温火造をなしこれらを 600° に3時間焼鈍の上徐冷した。かゝる焼鈍を施したる理由は焼鈍温度と機械的性質との関係^{*14}より觀れば何れの材質に於ても 600° にて焼鈍し

*14 實驗結果はこゝに省略する。

たるものが他の温度にて焼鈍したるものに比し幾分断面收縮率及び衝擊値が大にして常溫加工の可能性が大なるに據る。

焼鈍後の試料はこれを Fig. 44 に示すが如き3種類の寸法に機械仕上をなし、これらを引拔試験片とした。

Fig. 44 Sizes of Specimens and Dies for Cold Drawing.

機械仕上に際しては被引拔面の仕上程度に注意しその寸法公差は前述の如く $\pm \frac{5}{1000}$ mm とした。

引拔装置としては絞り角度 20° 、平行摩擦面 $12\phi \times 10$ の孔を有する die を高速鋼を以て新製した。その寸法は Fig. 44 に示す通りである。更に引拔附属装置として30 吨松村式萬能試験機と新製の die とに適合する chuck を製作

使用した。

かくして上記試験片を引拔装置につける際には、引拔摩擦力を減少せしむるために潤滑剤として graphite grease をその引拔かるゝ面に塗布した。尚引拔速度は凡て 4.5mm/min に一定して試験を行つた。

(b) 実験成績

本實驗によつて得られた成績は Table 36 に示す通

Table 36 Tensile Stresses for Cold Drawing (kg/mm^2).

Charge No.	Reduction of Cross Sect. Area.		
	15 (%)	26.5 (%)	36 (%)
9634	5.0	13.1	34.1
632	8.0	23.4	
975	17.7		
979	12.5	36.6	
978	14.5		
974	9.4	22.5	
411	4.5	15.4	

りにして引拔應力の記入せざる分は引拔困難のため實驗を中止したるものを示す。尚こゝに引拔應力と稱するは引拔かれた試験片の單位斷面積に對する引拔力を以て表はしたる數値である。

以上の實驗結果を圖示すれば Fig. 45 の通りにして、

Fig. 45 Cold Drawing Test of Various Non-Magnetic Steels.

これにより次のことが知られる。普通の 25% Ni 鋼 9634 及び日本特殊鋼會社特許の 441 が引拔容易にして、Cyclops 系の 632 及び著者の試験的に熔解したる 974 がこれ

に次ぎ、18-8 系のもの中 Si 又は Mo 等の硬化元素を含む 975 及び 978 は引拔困難である。次に本實驗に於て得られたる 7 種の試料の引拔應力と前記機械的試験に於て得られたるこれら試料の 600° 焼鈍のものゝ降伏點 (Table 30 参照) との關係を圖示すれば Fig. 46 の通りである。本圖によつてこれら試料

Fig. 46 Relation between σ_k and σ_s .

の降伏點 σ_s と引拔應力 σ_k との關係が從來考へらるゝが如き比例的關係にはならぬことが知られた。かくの如き傾向を呈する主要なる原因は恐らく變形に伴つて生ずべき變態、或は析出現象がその化學組成の相違により著しく趣を異にするに存するものと考へられ、又摩擦熱及び變形に要する仕事量等に差異あることもその一原因と考へられる。

尙上記の實驗結果から降伏點の値と引拔應力の値とが比例的關係にあるものとは考へられないが、全般的の傾向として降伏點の高きものは大體に於て引拔應力が大であり引拔も困難であることが出來よう。これらのことから引拔實驗を行はなかつた試料の引拔の難易をも大體推定することが出来る。

(9) 常溫加工による性質の變化. 就中磁性の變化

金属材料に常溫加工を施して粘性變形を與ふればその物理的性質及び機械的性質の變化することは已に知られた現象である。即ち金属材料に常溫加工を施すときは硬化の結果として降伏點、抗張力及び硬度を増加し、延伸率

及び斷面收縮率を減少するのみならず、比重の減少及び電氣抵抗の増加を來し⁽²⁰⁾、磁性(磁氣係數)を減少する⁽²¹⁾ことが知られて居る。

然しこれらは加工による變態を生ぜざる材料に就ての研究結果にして、不感磁性鋼に對してその儘適用せらるべきものではあるまい。

不感磁性鋼に於ては他種の鋼と同様化學組成の如何に拘らず常溫加工若くは低溫加工により硬化を來すことは事實であるが、常溫加工若くは低溫加工の前後に於ける磁性及び電氣的性質の變化の趣は加工による變態⁽²²⁾の有無によつて著しく異なることが想像される。

依つてこゝでは前記焼鈍溫度の研究に用ひた 9 種の代表的試料に就き不感磁性鋼として特に注意すべき常溫加工の磁性に及ぼす影響を比較研究することゝした。

(a) 實驗方法

試料は Table 37 に示す 9 種を用ひた。試験片の製作要領は前記試験片調製の項^{*15}に述べたる通りにして、焼鈍施行後直ちに磁氣試験片 5φ×100 に仕上げたものはその儘磁氣測定をなし、引拔用試験片は焼鈍後一旦 Fig. 47 に示した寸法に仕上げた上 die を通して引拔を行ひこれを 5φ の丸棒にした。然る後その引拔かれたる

Table 37 Chemical Compositions of the Specimens in Table 38 (%).

Charge No.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
9634	0.13			24.34		
974	0.47		1.12	19.97		
676	0.55		1.44	21.75	2.05	
411	0.45		3.84	16.89	3.26	
979	0.13			8.18	18.89	
975	0.10	1.48		8.37	18.11	
978	0.12			8.29	17.94	
632	0.22	1.57		18.24	10.02	
987	0.69		8.35	8.28	4.06	

(20) Lord Kelvin, Math. phs. Papers, Vol. II; Kahlbaum u. Sturn, Z. anorg. Chem., **46** (1905), 217; Geiss u. Liempt, Z. Metallk., **25** (1926), 216; 上田, 金屬の研究, **8** (1931), 53; **9** (1932), 417.

(21) Goerens, Ferrum., **10** (1912-13), 65, 112, 137; 本多-清水, 理研彙報, **10** (1931), 442; 金屬の研究, **8** (1931), 555; H. E. Banta, Phys. Rev., **37** (1931), 634; F. W. Lowance, F. W. Constant, Phys. Rev., **38** (1931), 1517; E. Vogt, Ann. Phys., **14** (1931), 1; 清水, 金屬の研究, **11** (1934), 159.

(22) F. Wever, Mitt. K-W-I Eisenforsch., **3** (1922), 58; E. C. Bain, Trans. Amer. Soc. Steel Treat., **8** (1925), 14; 本多-岩瀬, Ditto., **11** (1927), 399; E. Scheil, Z. anorg. allg. Chem., **207** (1932), 21; H. P. Nielsen, L. R. Dowdell, Trans. Amer. Soc. Steel Treat., **22** (1934), 810.

*15 本誌, **6** (1942), 290.

部分より長さ 100 mm の磁気試験片を截り取りこれにより引抜後の磁気を測定した。

引抜装置として絞り角度 20° , 平行摩擦面 $5\phi \times 10$ の孔

Fig. 47 Size of Specimen and Dies for Cold Drawing.

を有する高速度鋼製 die を製作した。その寸法は Fig. 47 如くである。

47 に示す通りである。

引抜方法は前述同様 30 吨松村式 萬能試験機によりこの die を通して試験片を引抜いた。この場合に於ける引抜絞縮率は凡べて 17.35% ($5.5\phi \rightarrow 5\phi$) とし牽引速度は 4.5 mm/min とした。又潤滑剤として graphite grease を用いたことも前述同様である。

(b) 実験成績

上記の方法によつて得られたる磁気測定結果は Table 38 に示す通りにしてこれを圖示すれば Fig. 48~50 の

Table 38 Change of Magnetic Induction by Cold Drawing.

Charge No.	State	Values of H and B								
9634	Before cold drawing.	H	54.3	81.2	108.4	162.5	270.8	368.8		
		B	101.2	144.1	194.2	295.2	467.3	647.1		
	After cold drawing.	H	7.35	11.8	18.3	23.3	29.8	41.0	62.7	109.9
		B	664.5	2866	4689	5805	6635	7565	8635	9995
974	Before cold drawing.	H	108.8	162.9	271.4	369.6				
		B	101.6	172.0	325.2	504.4				
	After cold drawing.	H	108.7	162.9	271.4	369.8				
		B	119.9	187.0	352.8	532.6				
676	Before cold drawing.	H	108.7	162.9	271.3	369.5				
		B	124.4	184.9	343.0	514.0				
	After cold drawing.	H	108.6	162.8	271.2	369.4				
		B	132.3	205.6	376.2	550.4				
411	Before cold drawing.	H	108.8	162.9	271.3	369.8				
		B	110.2	179.3	337.7	510.0				
	After cold drawing.	H	108.7	162.9	271.3	369.6				
		B	113.8	186.5	348.7	522.7				
979	Before cold drawing.	H	108.8	163.0	271.3	369.7				
		B	109.7	162.7	343.5	510.0				
	After cold drawing.	H	54.1	107.9	162.0	269.4	367.1			
		B	95.0	239.1	400.1	703.5	975.0			
975	Before cold drawing.	H	108.8	162.9	271.3	369.8				
		B	108.6	178.7	343.5	515.2				
	After cold drawing.	H	54.2	108.1	161.8	269.6	367.4			
		B	78.1	237.7	387.3	669.0	919.5			
978	Before cold drawing.	H	108.7	162.9	271.3	369.8				
		B	110.9	176.8	336.3	513.7				
	After cold drawing.	H	26.5	52.0	77.0	102.4	127.9	149.4	258.8	
		B	144.5	479.5	909.0	1283	1603	1900	2662	
632	Before cold drawing.	H	108.7	162.9	271.3	369.6				
		B	115.3	185.1	347.1	517.2				
	After cold drawing.	H	108.8	162.9	271.3	369.6				
		B	107.8	184.4	348.1	525.2				
987	Before cold drawing.	H	108.8	162.9	271.3	369.6				
		B	105.6	173.8	330.5	508.0				
	After cold drawing.	H	108.8	162.8	271.3	369.5				
		B	106.0	194.4	350.0	530.5				

これらの圖によつて引拔前後に於ける磁氣の變化を比較するに、引拔により磁氣の最も増大したものは 25% Ni 鋼であつて不感磁性より強磁性に變化して居る。

を來すことなしに降伏點、抗張力等を向上せしめ得ることとなる。

(10) 常温加工後の焼鈍が磁氣に及ぼす影響

Fig. 48 Effect of Cold Drawing and Annealing upon Magnetic Induction of Non-Magnetic Nickel Steel.

Fig. 49 Effect of Cold Drawing and Annealing upon Magnetic Induction of Non-Magnetic Steels.

Fig. 50 Effect of Cold Drawing and Annealing upon Magnetic Induction of Non-Magnetic Steels.

C 量の多い 20% Ni 鋼 974 は上記 25% Ni 鋼と大いに趣を異にし加工による磁氣の増加が殆ど現れて居ない。

18-8 系のものは加工による磁氣の増加が稍大であつて殊に Mo を含むものが著しい。

Cyclops 系のもの及びその他のものは凡べて加工に對して磁氣安定度の大きなることが知られる。

尙こゝに實驗しなかつた鋼種の常温加工による磁氣の増加程度はその化學組成に近似なる上記供試材の實驗結果に準じて略推察することが出來、又切斷せられた抗張試験片によつても大體判る。以上の實驗結果に現れたる加工による磁氣の増加は加工變態によりて容易に説明することが出来る。即ち

25% Ni 鋼が常温加工により磁氣の急激なる増大を來す理由は恰も大洲田不銹不變鋼が常温加工により $\gamma \rightarrow \alpha$ 變態を生ずる⁽²³⁾と同様、大洲田が麻留田に變化したるによるものと考へられる。

又 18-8 系のものは Strauss 等の説⁽²⁴⁾に従へば常温加工により Slip band に添ひて Cr 炭化物を析出しその近傍が強磁性 Ni-Cr 地鐵に化したるによるものと考へられる。

この考察に従へば常温加工に對して磁氣的に安定なる不感磁性鋼は加工變態又は炭化物析出等を殆ど生じないものであつて常温加工若くは低温加工により磁氣の増大

(a) 實驗要領

常温加工を施したる不感磁性鋼製品は焼鈍によりて殘留歪の一部分乃至大部分を除去するを常とする。その結果として機械的性質は常温加工前の状態より若干硬化するか乃至は略同等となることが知られて居るが磁性的變化に至つては殆ど測定されて居ない。

依つて著者は前項に述べたる引拔後磁氣測定を行つた試験片を真空爐中に於て 600° に 3 時間加熱の上その儘爐中冷却をなしこれを取り出して磁氣を測定し、かくして常温加工後の焼鈍が磁氣に及ぼす影響を調べることにした。

尙こゝに焼鈍温度として 600° を選んだ理由はこれが不感磁性鋼製品の最終熱處理として最も適良なりと考へられたからであり、焼鈍時間を 3 時間となしたるは焼鈍効果を充分ならしめて殘留歪を完全に除去した状態に於ける磁氣を測定せんとしたためである。

(b) 實驗成績

測定の結果は Table 39 の通りである。而してこの結果を引拔前及び引拔後の測定値と共に圖示すれば前記の Fig. 48~50 の如くである。即ちこれらの圖によれば

25% Ni 鋼に於て引拔後焼鈍を施したるものは引拔の儘のものより著しく磁氣が小となり殆ど引拔前の焼鈍状態の値に等しい。かくの如き傾向を呈する理由は恐らく加工變態によつて生じたる麻留田が A_{c1} 點上附近の温度なる 600° の焼鈍により再び大洲田となり、これが冷却中僅かにその一部が麻留田に變るのみにして大部分の大洲田がその儘止るによるものと考へられる。

18-8 系のものに於ては引拔後焼鈍を施したるものゝ

(23) H. Masumoto, Sci. Rep., 23 (1934), 265; 西山, 金屬の研究, 13 (1936), 261, 300.

(24) Strauss, Schottky u. Hinnüber, Z. anorg. allg. Chem., 188 (1930), 309.

Table 40 Important Properties of Non-Magnetic Steels.

Charge No.	Chemical Composition (%)						Magnetic Stability			Anneal. Temp. °C	Mag. Permeability (H=50)	Micro-Structure
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	By Deviation of Chem. Comp.	By Cold Working	After Annealing			
623	0.16			25.59			Unstable	Magnetizable	Return to Non-Mag.	600	1.00	A+M
631	0.25			23.86			Semi-Stable	"	"	"	1.00	A+M
668	0.46			24.35			Stable	Stable	Stable	"	1.42	A+C
974	0.47		1.12	19.97			Lower C & Ni side, unstable	"	"	"	0.98	A
743	0.46		1.20	24.25			Stable	"	"	"	1.44	A+C
973	0.48		1.05	25.44			"	"	"	"	2.26	A+C
732	0.51		5.50	16.35			"	"	"	"	1.30	A+(C)
681	0.54		8.31	12.35			"	"	"	"	1.04	A
676	0.55		1.44	21.75	2.05		"	"	"	"	1.64	A+(C)
404	0.47		4.80	12.24	2.76		"	"	"	"	1.10	A+(C)
411	0.45		3.84	16.89	3.26		Higher C, Mn & Ni side, Stable	"	"	"	1.28	A+(C)
979	0.13			8.18	18.89		Lower Cr side, Stable	Magnetizable	Return to medium Magnetic	"	1.58	A
975	0.10	1.48		8.37	18.11		Stable	"	"	"	1.50	A+(C)
978	0.12			8.29	17.94	0.57	"	"	"	"	1.64	A+(C)
980	0.13			20.82	5.11		Stable	"	"	"	1.46	A+C
632	0.22	1.57		18.24	10.02		"	Stable	Stable	"	0.98	A
734	0.26		3.84	16.24	3.92		"	"	"	"	1.00	A
991	0.43		5.27	10.32	8.84		"	"	"	"	0.98	A+C
1075	0.42		3.20	9.56	10.83		"	"	"	"	1.02	A+C
992	0.52		4.88	8.12	11.61		"	"	"	"	0.84	A+C
987	0.69		8.35	8.24	4.06		"	"	"	"	1.46	A

Charge No.	Mechanical Properties							Cold Working	Order of Corr. Resist. against Sea Water	Remarks
	Modulus of Elasticity kg/mm ²	Yield Point kg/mm ²	Tensile Strength kg/mm ²	Elongation %	Contraction of Area %	Izod Impact Value Ft.-lb.				
623	16,250	22.9	67.6	44.0	49.0	85.0	Suitable	13		Non-Mag. 25% Ni Steel
631	19,490	22.6	73.8	37.0	39.4	77.0	"	16		Non-Mag. Ni Steel
668	15,420	30.9	69.7	50.0	46.6	99.9	"	14		"
974	17,700	28.4	68.0	63.1	53.3	64.9	"	17		New Non-Mag. St. by the Author
743	18,940	28.7	67.5	48.2	65.2	97.2	"	11		C. Zeiss, A. G. St.
973	16,070	30.3	68.3	54.4	67.7	102.0	"	12		F. Krupp, A. G. St.
732	20,300	28.7	70.9	66.1	53.2	96.3	"	19		Modification of Vickers St.
681	17,390	35.9	77.0	49.6	40.5	105.0	"	20		Protect. Ring of Elect. Generator.
676	18,350	34.2	74.0	52.2	47.2	114.0	"	10		C. Zeiss, A. C. St.
404	17,870	34.4	73.1	66.4	47.4	103.0	"	15		Vickers Co. St.
411	18,360	31.5	70.4	64.8	69.0	111.0	"	9		Nihon Tokushuko Co. St.
979	17,860	40.8	76.2	55.6	62.1	105.1	"	3		
975	18,660	41.5	86.1	54.5	60.0	81.2	"	1		"18-8"
978	19,180	38.7	74.0	56.0	61.8	120.0	"	2		
980	20,200	26.8	52.9	48.6	69.0	96.0	"	7		New Non-Mag. St. by the Author
632	18,190	30.3	65.0	56.0	67.3	99.0	"	4		Cyclops Co. St.
734	20,480	59.3	89.6	26.7	21.6	25.8	Not Suitable	21		New Non-Mag. St. by the Author
991	19,300	45.6	77.7	67.9	64.6	75.4	Suitable	8		"
1075	20,000	43.9	90.5	22.2	21.0	38.5	Not Suitable	6		"
992	18,000	52.8	87.9	48.4	47.8	20.0	"	5		"
987	20,130	48.9	85.2	42.5	34.8	40.0	"	18		Foldi A. G. St.

ことが出来る。

(a) 常温加工により磁気を殆ど變化しないもの
(Cyclops 系の如きもの)

(b) 常温加工により磁気を相當増加するもの (18-8 鋼系の如きもの)

(c) 常温加工により磁気を著しく増加するもの
(25% Ni 鋼の如きもの)

而してこれらの中 (a) に屬するものゝみが常温加工或は低温加工により殆ど磁気を變化せしむることなく降伏點を高上せしむることが出来、(b) 及び

(c) に属するものは不感磁性を犠牲にするに非ざれば降伏点の高上を計り得ない。

- (7) 常温加工後施す焼鈍が磁気に及ぼす影響は従来未だ明かでなかつたが、加工後充分なる焼鈍を施せば磁気の變化は化學組成によつて異り、次の如く類別し得ることが本實驗の結果によつて明かになつた。

(a) 焼鈍により磁気を殆ど變化せざるもの

(b) 焼鈍により磁気を半減するもの

(c) 焼鈍により略加工前の磁気にまで恢復するもの

- (8) 供試材 21 種の特性は Table 40 に示した通りであるが、これらの中成分量の偏差及び常温加工に對する磁氣的安定度が大きであつて不感磁性、耐蝕性共に 25% Ni 鋼に優り且つ降伏点の高い強韌耐蝕不感磁性鋼としては著者の新不感磁性鋼 (熔解番號 991, 992) 及び Cyclops 系のものを挙ぐる事が出来る。これらは軽度の常温加工或は低温加工を施すことにより容易且つ確實に優秀なる強韌耐蝕不感磁性鋼となすことが出来る。

III. 結 言

敍上の第 1 報及び第 4 報の研究結果を綜合要約し併せて所見を述べれば次の通りである。

- (1) 本研究は既知不感磁性鋼の製造上及び使用上重要な諸性質を比較検討し併せて現在或る種の不感磁性鋼に要望せられつゝある諸要求を満足せしめ得る強韌耐蝕不感磁性鋼をも探求したるものである。
- (2) 不感磁性鋼に對する熱處理として適當なりと考へらるゝものは焼鈍なるが故に本研究に於ける試料は凡べて焼鈍状態に於て實驗に供した。
- (3) 先づ最初に既知不感磁性鋼の主要成分量の偏差に對する磁氣的安定度を知らんがためと新不感磁性鋼の化學組成選定の觀念を得んがため今日迄解明されて居らぬ Ni 鋼, Mn 鋼, Mn-Ni 鋼及び Ni-Cr 鋼の化學組成と磁氣と顯微鏡組織との關係を研究して新たに組成-磁氣感應度圖及び組織-磁性圖を造り、その不感磁性範圍若くは不感磁性境界を決定した。
- (4) 次に新不感磁性鋼 7 種及び強韌性大なりと考へらるゝ既知不感磁性鋼 14 種合計 21 種の試料を造り、製品の製造上及び使用上重要視すべき性質を比較検討した。
- (5) その結果 25% Ni 鋼が成分量の偏差及び常温加工に對して磁氣的安定度を欠き、且つ機械的性質及び耐蝕性低劣にしてその降伏点を高上せしめんと

すれば不感磁性を犠牲にせねばならぬことを指摘し不感磁性鋼としては極めて劣等なることを明示した。

- (6) Zeiss 系及び Krupp 系の低 Mn 高 Ni 鋼は成分量の偏差及び常温加工に對する磁氣的安定度が大にして耐蝕性良好、高温成形の儘では降伏点低く常温加工によりこれを高上せしめ得るが C 量が多いため常温加工稍困難の嫌がある。
- (7) Mn-Ni-Cr 鋼に属する Zeiss 系, Vickers 系及び日本特殊鋼會社特許の不感磁性鋼は共に成分量の偏差及び常温加工に對する磁氣的安定度が大にして耐蝕性は 25% 鋼より稍優る。その高温成形をなしたるものゝ降伏点は左程低くなく、常温加工又は低温加工によりこれを一層高上せしめ得る。
- (8) Cyclops 系のものは磁氣的安定度、不感磁性、韌性及び耐蝕性共に優秀にして常温加工若くは低温加工により殆ど不感磁性を損ふことなく降伏点を高上せしめ得る見込がある。
- (9) 電氣機械部分品に使用せらるゝ Mn-Ni 不感磁性鋼は耐蝕性極めて劣等で降伏点が 25% Ni 鋼のそれに比し優秀であり且つ成分量の偏差及び常温加工の兩方に對する磁氣的安定度が大にして常温加工により殆ど磁気を變化することなく降伏点を高上せしめ得るが、韌性比較的小にして常温加工困難なるため降伏点を高上せしめんとすれば寧ろ低温加工が適當である。
- (10) Poldi 系のものは成分量の偏差及び常温加工に對し磁氣的に安定であるが耐蝕性が劣等であり且つ降伏点高く韌性小である。従つて常温加工を施すことが困難である。
- (11) 18-8 系に属するものはその機械的性質及び耐蝕性が極めて優秀にして既知不感磁性鋼中第一位を占むるが、成分量の偏差並びに常温加工に對する磁氣的安定度小にして且つ一度常温加工をしたるものはこれに焼鈍を施すとも不感磁性を加工前の程度迄恢復し難き缺點がある。

併し Ti 又は Nb 等を適量添加したる改良 18-8 鋼は常温加工若くは低温加工により磁気を増大せしむることなく降伏点を高上せしめ得るものと考へられる。

- (12) 更に本研究の結果見出された新強韌耐蝕不感磁性鋼はその化學組成が大體下記の通りであつて Mn-Ni-Cr 鋼に属し、資源關係より觀て現下の國策にも添ひ得るものと考へられる。

C (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
0.4~0.5	5	8~10	9~12

その性質は成分量の偏差及び常溫加工に對する磁氣的安定度が大であつて且つ不感磁性、耐蝕性及び機械的性質が共に優秀であり、降伏點も可なり高く輕度の常溫加工若くは低溫加工により更に一層高降伏點となし得る見込があり將來の兵器用不感磁性鋼にも適するものと考へられる。

- (13) 結局強靱耐蝕不感磁性鋼と觀するものは上記の新強靱耐蝕不感磁性鋼、Cyclops 系のもの及び Ti 又は Nb 等を添加せる改良 18-8 鋼の 3 種類となる。
- (14) これを要するに本研究の結果は既知不感磁性鋼の製造上及び使用上重要な諸性質を解明し且つそれらの主要なる特徴を指摘して製造者及び使用者の注意を喚起したるのみならず新強靱耐蝕不感磁性鋼をも見出した。

これらの結果が不感磁性鋼の用途に適應する化學組成

の選定上及び製造上幾分でも貢獻することが出來且つ將來この種の研究の參考とならば幸甚の至りである。

本研究は昭和 9 年より同 12 年迄日本製鋼所室蘭工場に於て行つたものでこれを應召中取纏めたものである。

本研究の實驗遂行に當つては室蘭工場長打越光保氏及び改良部長黒川慶次郎氏の御援助と同工場改良部員諸君の御盡力とに俟つ所多く、又特に東北帝國大學教授石原寅次郎博士の御懇篤なる御指導と御鞭撻とを賜り、同大學教授増本量博士の御懇切なる御教示をも忝うした。

茲に發表を許された日本製鋼所に對し深厚なる感謝を表すると共に御指導を賜つた兩教授並びに御援助を蒙つた室蘭工場の幹部諸賢に對し深甚なる感謝を捧げ、併せて盡力せられた改良部員諸君に對し衷心より謝意を表する。

Fe-Ni 合金の過冷過熱に伴ふ $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ 變態に就いて

竹 内 榮*

Sakae Takeuti: On $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ Transformation of Fe-Ni Alloy by Supercooling or Superheating. The characteristics of Fe-Ni alloy, its A_3 -transformation and phase boundary between γ and α in the state of equilibrium, have been studied. It is naturally expected that, on cooling or heating with a marked hysteresis, the lattice alone can be transformed without any change of concentration. And such lattice transformation was found by these researches to occur only at the time when they were superheated or supercooled beyond the co-existing range of two phases. From the temperature of lattice transformation, the equilibrium diagram of that alloy were drawn in a solid state.

(Received April 20, 1942)

I. 緒 言

Fe-Ni 合金の狀態圖に關しては融態-固態間の異相變化は既に古くから確定されてゐるが、固相間のそれには加熱及び冷却に際して著しいヒステリシスを示し、平衡狀態と見なさるべき γ, α 間の相境界は決定されてゐない。第 1 圖はこれまで種々の人々により熱膨脹、熱分析、磁氣分析等の方法によりて得られた結果を要約したもので Marsh 著 Alloys of Iron and Nickel, Vol 1 (1938) によつたものである。尙第 1 圖の實線は著者の考へに於て引いたものである。圖の $\triangle, \square, \circ, \nabla, \diamond$ 等の中空の印は加熱に際して、 $\blacktriangle, \blacksquare, \bullet, \blacktriangledown, \blacklozenge$ 等の黒い印は冷却に際して生起する變態の始り及び終りの溫度を示し、これは例へば第 2 圖の如く熱膨脹の測定に於て加熱に際しては AA' 間で、冷却に際しては BB' 間で濃度の變

化に伴ふ普通の A_3 變態が進行してゐると考へ、これを第

第 1 圖

1 圖の如く圖示されてゐるのである。この様に加熱及び冷却に際して著しくヒステリシスを示すのは擴散が著しく遅いことに依るもので、これ等の變化が起つてゐる溫度範圍では擴散の結果が効果的に

* 東北帝國大學金屬材料研究所