



高 Co, W, Cr 磁石鋼の熱処理と磁性との関係

小野 健二* 根本 正*

On the Relation between Heat Treatments and Magnetic Properties in High Co-W-Cr Magnet Steel

By Kenji Ono and Tadashi Nemoto
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

Softening the high Co-W-Cr magnet steel before quenching so as to make machining easy was almost attained by isothermal treatment applied the S curve of the steel shown in Fig. 1 obtained by us, but as magnetic properties of the steel depend not only on the softening method before quenching, but on temperatures of quenching oil and keeping time in oil, we determined the relation between heat treatments above mentioned and magnetic properties. From the results the best magnetic property was obtained when the steel softened by isothermal treatment was quenched in oil and kept there for any time at 100C or for short time at 150C.

The Co content of the sample used being less than the standard one of K.S. magnet steel, its magnetic property after well treated was almost equal to that of K.S. magnet steel.

(I) 緒 言

磁石鋼の磁性は熱処理に極めて鋭敏で、焼入れた状態で使用する場合焼入の方法は勿論、焼入前の焼鈍の方法如何によつて焼入後の磁性に著しい影響を及ぼす。高 Co, W, Cr 鋼は機械加工に際し軟化のための焼鈍を行

つても、軟化し難くしばしば機械加工に困難を來す場合があり、又軟化方法が不適であると焼入後十分な磁性を示さない。よつて機械加工を容易にし、焼入後に於ける磁性を良好ならしめる軟化方法を見出すため各種の方法によつて軟化を行つたものについて焼入後の磁性を求めた。次に焼割れ防止と磁性の改良を圖る目的で、焼入油の温度及び油中保持時間の磁性に及ぼす影響について實

* 日立製作所日立研究所

験した。

〔II〕 S 曲線の決定

軟化の一方法として恒温処理を行うに必要な S 曲線をまず決定した。

1) 試料

第 1 表に示すような組成の試料を熔製し鍛造後実験に供した。

第一表 試料の組成

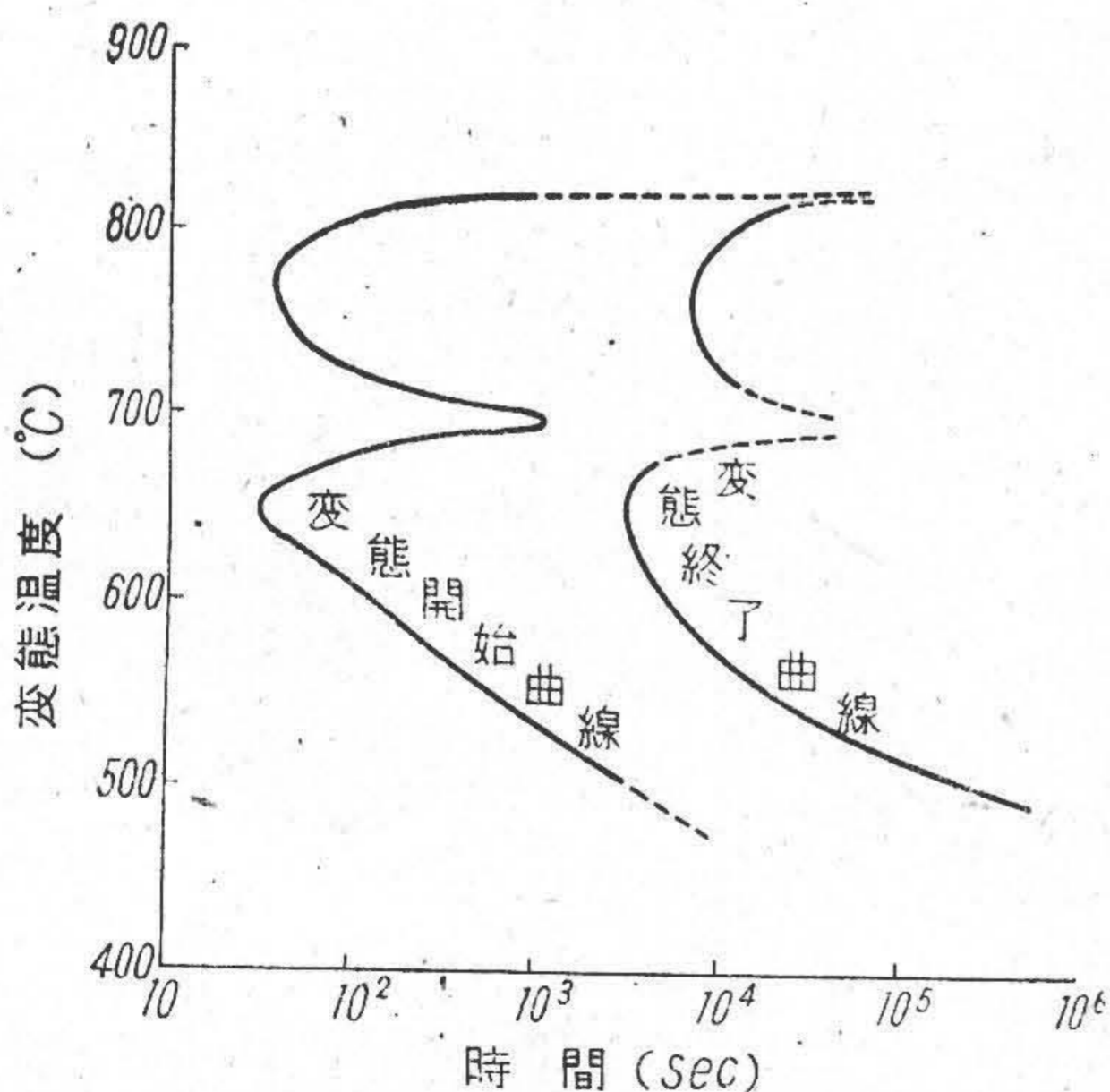
C	Si	Mn	Cr	W	Co	P	S	Ni	Mo	Cu
0.78	0.15	0.84	3.46	6.23	28.89	0.046	0.012	0.11	0.42	0.02

(2) 実験

熱膨張測定により変態点を求めた。Ac₁₋₃ 変態は 860°C で開始し 885°C で終了し、Ar₁₋₃ 変態は 810°C で開始し 775°C で終了する。次に 960°C 以上で炭化物が固溶せられるので最高加熱温度は 980°C とし、820°C 以下 500°C 以上の範囲に於ける S 曲線を検鏡並びに硬度測定によつて定性的に描いた。実験記録は省略する。

3) 結果

第 1 圖は実験の結果得られた S 曲結を示す。これによると 775°C 及び 650°C の二箇處にノーズ (Nose) が現われ、それらの温度に於て変態完了に要する時間は他の温



第 1 圖 高 Co—W—Cr 磁石鋼 S の曲線
Fig. 1 The S-Curve of High Co-W-Cr Magnet Steel.

度に於けるより短く、又兩温度を比較すると 650°C の方が短時間で變態を完了することが判る。

〔III〕 軟化 實驗

機械加工を容易にする目的で各種の方法により軟化を行い比較した。

1) 試料

第 2 表に示すような組成の試料を熔製し鍛造後次の實

第 2 表 試料の組成 (%)

C	Cr	W	Co	Mo
0.98	2.92	5.88	28.92	0.36

験に供した。

2) 実験

次の各種の軟化実験を行い、ロックウェル硬度を測定して軟化の程度を比較した。

(1) 焼鈍 鍛造試片を變態點以上即ち 920°C 及び 980°C、又變態點以下の温度として 650°C、700°C 及び 800°C にそれぞれ 20 分間保持後徐冷 (爐冷) した。

(2) 焼入焼戻 980°C 20 分間保持後油焼入れし、650~800°C で 50°C おきの各温度に 1~5 時間保持した。

(3) 恒温處理 980°C 20 分間保持後 650~800°C で 50°C おきの各温度の鉛浴に焼入れ 1~5 時間保持後空冷した。

3) 結果

第 3 表は焼鈍温度と硬度との關係を示す。

第 3 表 焼鈍温度と硬度との關係

焼鈍温度 (°C)	硬度 (Rc)	冷却方法
980	47	爐冷
920	49	〃
800	56	〃
700	49	〃
650	53	〃

これによると變態點以上の焼鈍によつて比較的低い硬度が得られ、又變態點以下ではこの場合 700°C が最も低い。全般的には Rc 50 附近の値を示し、機械加工には困難を感じる。

第 4 表は 980°C 油焼入後に於ける焼戻温度保持時間と硬度との關係を示す。これによると何れの温度に於ても 2~3 時間で一定の硬度に達し、700°C に於て最も低い硬度が得られることがわかる。なお時間と共に炭化物は球状化し、一定時間内に於ける軟化は球状化によるのでこれは検鏡により確められた。

第 4 表 焼戻温度、時間と硬度 (Rc) との關係

焼戻温度 (°C)	保 持 時 間 (Hrs)				
	1	2	3	4	5
800	53	52.5	52	52	52
750	48	46	46	46	46
700	52	46	44	44	44
650	50	48	48	48	48

第 5 表は最高加熱温度 980°C としたときの恒温處理温度、時間と硬度との關係を示す。

第 5 表 恒温處理温度、時間と硬度 (Rc) との關係

恒温處理温 度 (°C)	保 持 時 間 (Hrs)				
	1	2	3	4	5
800	53	52	52	51	51
750	45	43	42	41	41
700	46	45	44	44	44
650	48	47	47	47	47

第 1 表の S 曲線により明らかなように 650°C では變態は最も迅速に終了し一定の硬度に達する時間は最も短い。次に 750°C では 650°C に次いで變態は速く終了し且硬度は最も低い。

以上の各種の軟化方法について比較するに、恒温處理によつて最低の硬度が得られ、焼入焼戻法がこれに次ぎ變態點の上又は下の温度に於ける焼鈍によつては充分な軟化は困難であるで 980°C が焼鈍したものは比較的低い硬度を示した。これらの軟化方法が焼入後の磁性に與え

る影響の如何によつてその適否を決定する必要がある。

〔IV〕 軟化方法と焼入後の磁性との關係

軟化方法の焼入後の磁性に及ぼす影響を求め、その適否を決定した。

1) 試 料

第 1 表に掲げた組成の鍛造片より徑 8mm、長さ 25mm の試片を採取し次の實驗に供した。

2) 實 驗

第 6 表に示す各種の軟化處理を行つたものを 960°C 5 分間保持して油焼入後磁性の測定を行つた。第 6 表中焼入焼戻法では第 4 表に示す結果より最もよく軟化する焼戻温度として 700°C、恒温處理法では同じく第 5 表に示す結果より恒温處理温度を 750°C とした。焼入温度及び

第 6 表 軟化方法と硬度

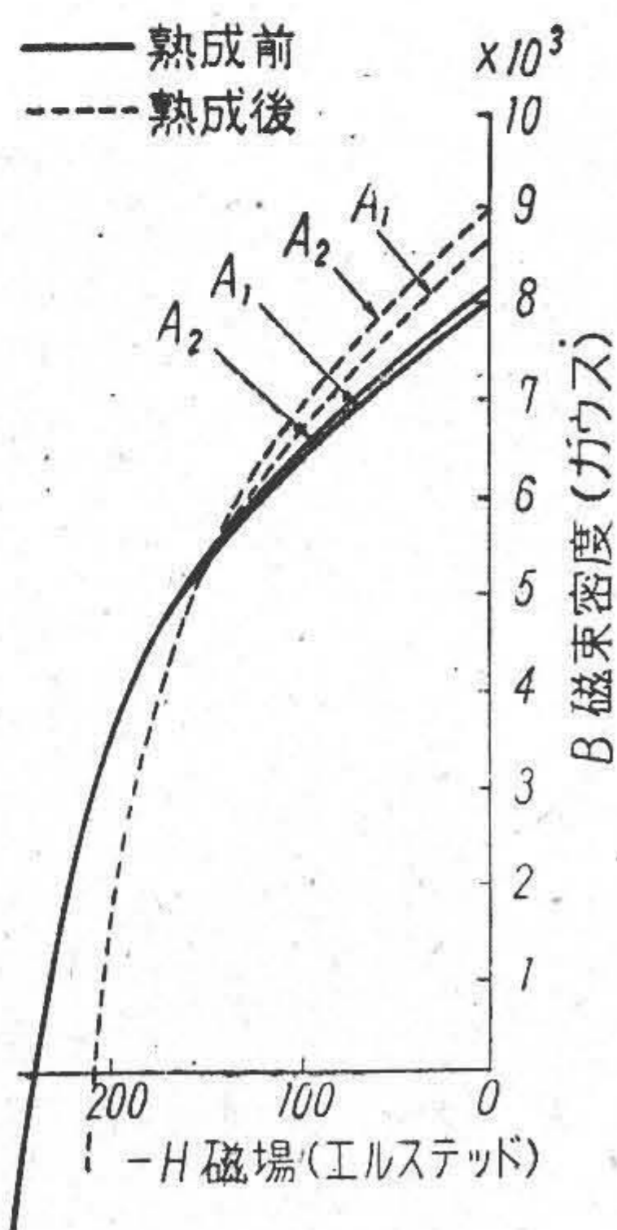
符 號	軟 化 處 理 方 法	硬 度 (Rc)
A	980°C 爐 冷	47
B	920°C //	49
C	800°C //	56
D	700°C //	49
E	650°C //	53
F	980°C 油焼入, 700°C 2 時間焼戻	46
G	980°C → 750°C 2 時間恒温處理	43

保持時間は豫め實驗によつて決定したもので、焼入油の温度は常温あるいは 100°C で、100°C の場合は油中に 10 分間保持後水冷し、組織の安定化を圖る目的で 100°C、10 時間の熟成を行つた。磁性試験は Neumann の磁位計ヨーク法により最大磁場 2,000 エルステッドとし、焼入したまゝ及び熟成後の消磁曲線を描き残留磁束及び抗磁力を求めた。

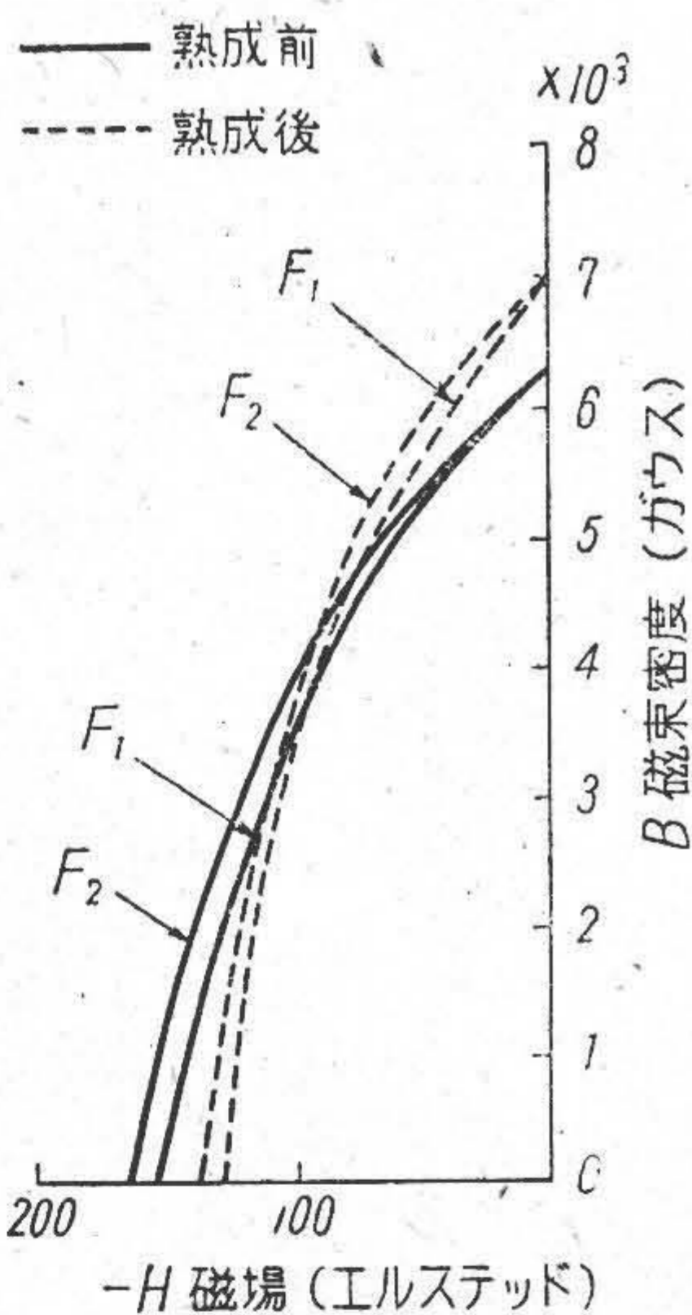
2) 結 果

消磁曲線の一例として第 2 圖に 980°C 爐冷、第 3 圖に焼入焼戻、第 4 圖に恒温處理による軟化後焼入したものを示す。第 7 表は軟化方法と磁性との關係を示す。

以上によると 980°C 爐冷あるいは恒温處理を行つたも



第 2 圖 焼入前 980°C 爐冷した試料 A の消磁曲線
Fig. 2 Demagnetizing Curve for Specimen A Furnace Cooled from 980°C before Quenching.



第 3 圖 焼入前 980°C 焼入 700°C 2 時間焼戻を行った試料 F の消磁曲線
Fig. 3 Demagnetizing Curve for Specimen F Quenched from 980°C and Tempered at 700°C for 2 Hours before Quenching.

のは焼入後の磁性が他のものに比して良好で、又 920°C 焼鈍したものはやゝこれに劣り変態点以下の焼鈍では 650°C が最も良い。焼入焼戻法によるものは抗磁力、残留磁束共に劣り磁性は良好でない。即ち焼入方法は同様でも焼入前の軟化方法の如何が著しく磁性に影響を與えることが知られる。100°C 熟成による磁性の變化は何れも同様で焼入のままではかなり α M を有し、熟成によつて β M に變化して残留磁束をまし、抗磁力を減ずるものと考えられる。

〔V〕 焼入油の温度の磁性に及ぼす影響

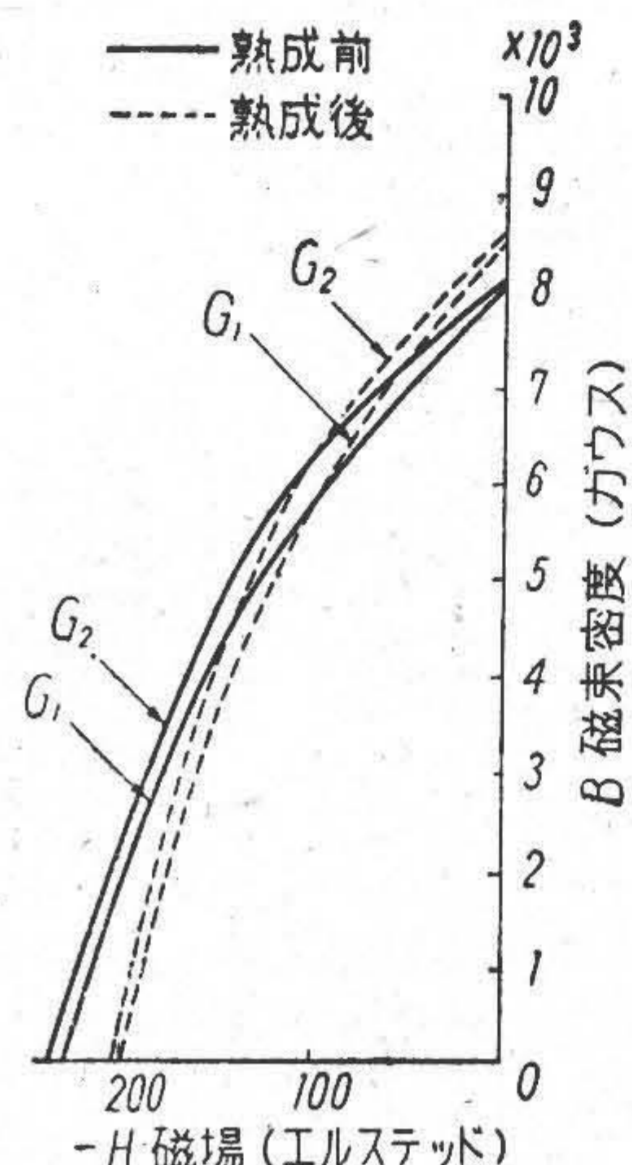
焼入に際し常温油に焼入れると焼割れを發生するよ
な場合油温を常温以上に上昇せしめることがある。又磁石鋼に於ては焼割れ防止以外に焼入油の温度を上げて磁性の改良が圖られる場合があるので、油の温度及び油中保持時間との關係を求めた。

1) 試料

第 1 表に掲げた組成の試料より試片を採り實驗に供した。試片の寸法は「Ⅲ」の場合と同様である。

2) 實 驗

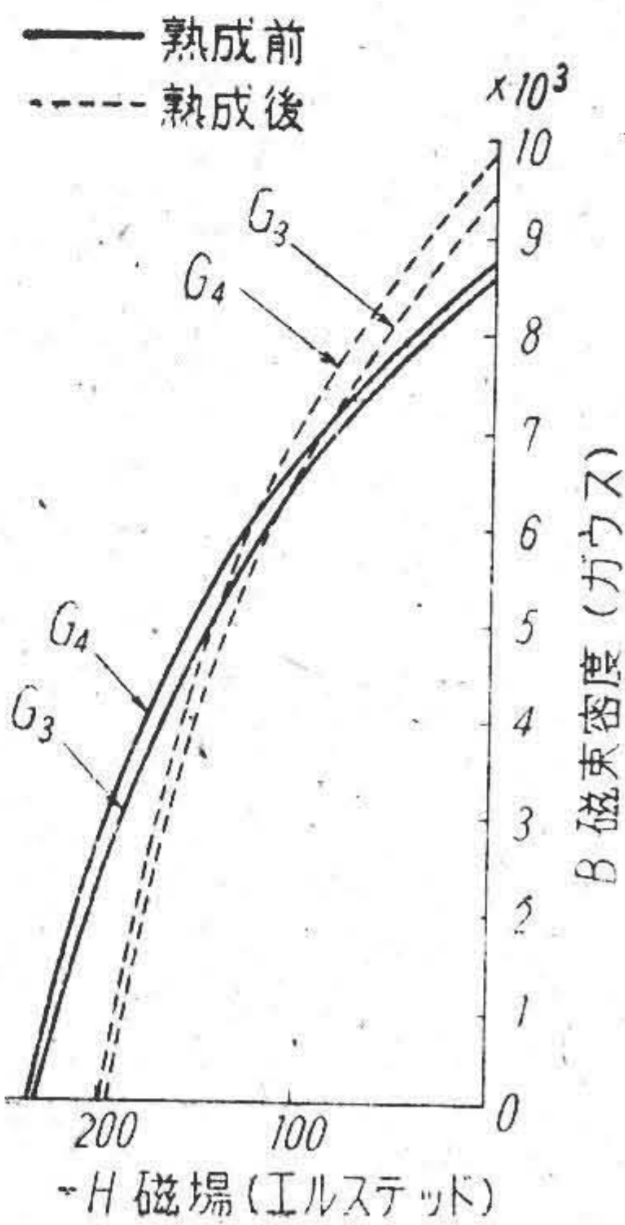
焼入温度は 960°C と



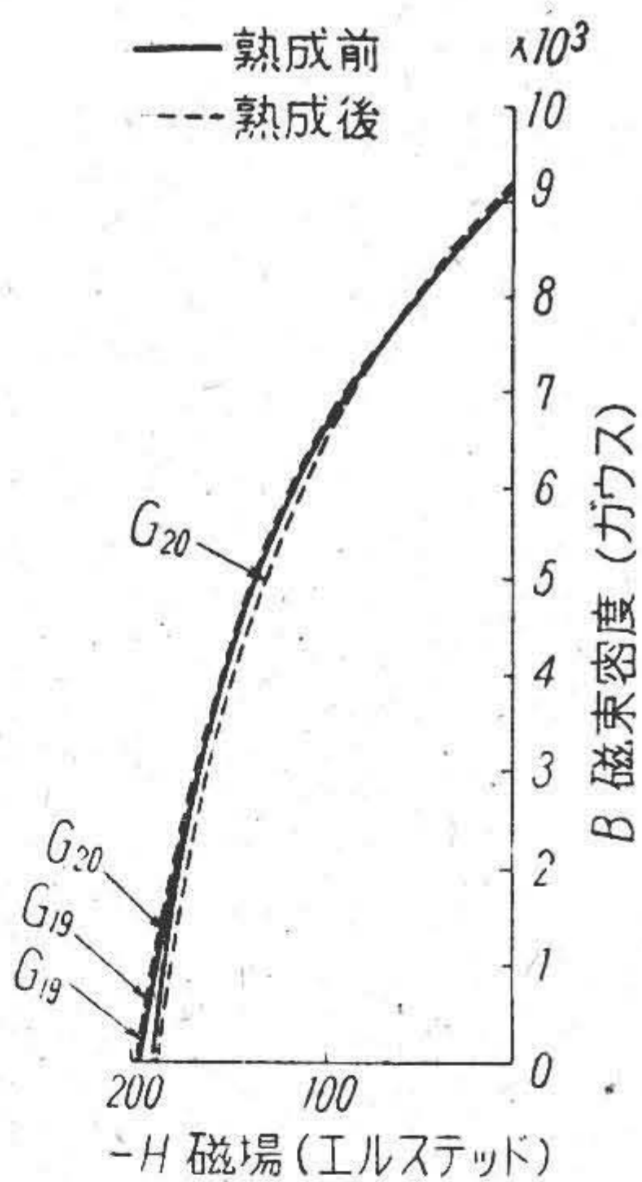
第 4 圖 焼入前 750°C 2 時間恒温處理を行った試料 G の消磁曲線
Fig. 4 Demagnetizing Curve for Specimen G Isothermally Treated at 750°C for 2 Hours before Quenching.

第 7 表 軟化方法と磁性との關係 (軟化後 960°C 焼入)

符 號	軟化方法	焼入のまゝ		焼入後熟成		備 考
		残留磁束 (Gauss)	抗磁力 (エルス テッド)	残留磁束 (Gauss)	抗磁力 (エルス テッド)	
A1	980°C 爐冷	8,200	240	9,100	210	100°C 油焼入
A2	〃	8,000	260	8,700	210	〃
B1	920°C 爐冷	8,000	220	8,900	190	〃
B2	〃	8,000	225	8,900	190	〃
C1	800°C 爐冷	—	—	7,700	175	〃
C2	〃	—	—	7,700	170	〃
D1	700°C 爐冷	6,900	170	7,600	150	〃
E1	650°C 爐冷	—	—	9,300	190	〃
E2	〃	—	—	9,500	190	〃
F1	焼入 焼戻	6,200	155	6,900	130	常温油焼入
F2	〃	6,300	165	7,100	135	〃
G1	恒温處理	8,100	250	9,100	200	〃
G2	〃	8,300	260	9,300	200	〃



第 5 圖 恒溫處理後 960°C より 100°C の油に焼入れ 10 分保持した試料 G の消磁曲線
 Fig. 5 Demagnetizing Curve for Specimen G Quenched from 960°C in Oil at 100°C and Kept there for 10 Minutes after Isothermal Treatment.



第 6 圖 恒溫處理後 960°C より 150°C の油に焼入れ 10 分保持した試料の消磁曲線
 Fig. 6 Demagnetizing Curve for Specimen G Quenched from 960°C in Oil at 150°C and Kept there for 10 Minutes after Isothermal Treatment.

し、その温度に 5 分間保持後次の各温度の油に焼入した。即ち 100°C, 150°C 及び 200°C の油中に 10 分, 60 分及び 120 分間保持後油より取出して水冷した。焼入前の軟化方法として恒溫處理並びに 920°C 焼鈍の二つについて行つたが、920°C 焼鈍の場合は試片の都合で油温 200°C のみに止めた。恒溫處理としては最高加熱温度を 980°C とし 20 分保持後 750°C の鉛浴中に 2 時間保持後空冷した。磁性の測定は〔IV〕の場合と同様である。

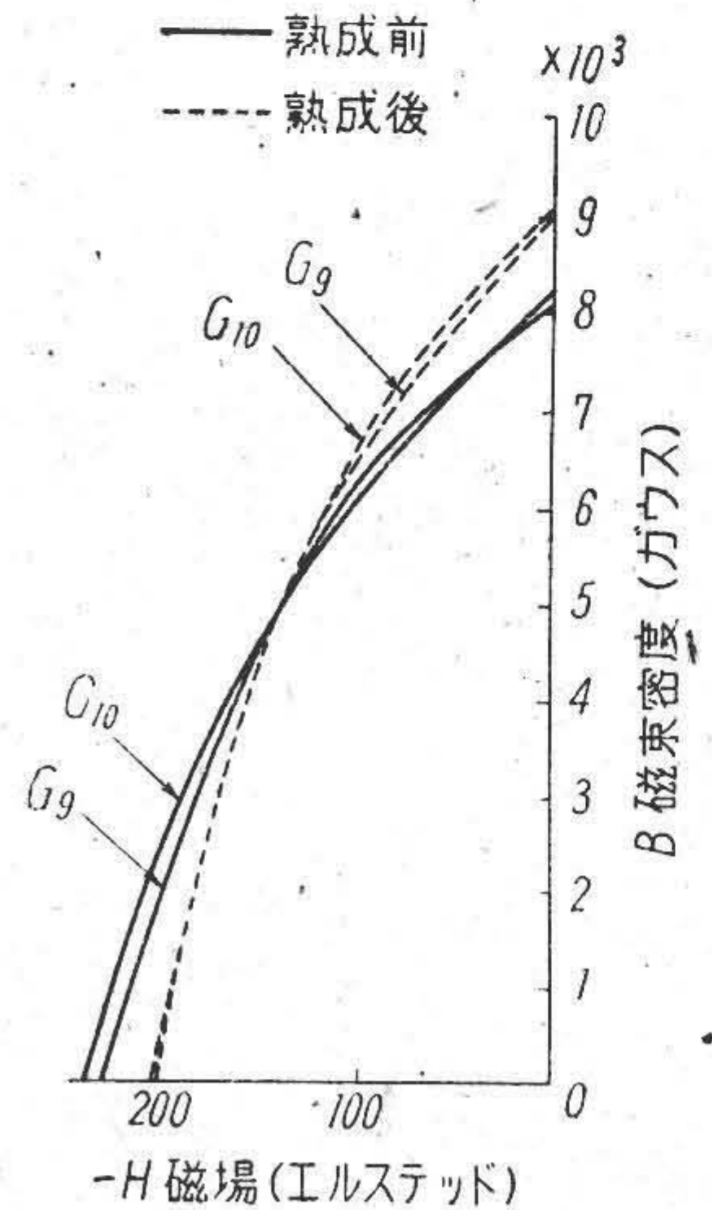
3) 結 果

第 5 圖には恒溫處理後 100°C の油に焼入れ油中に 10 分間保持、第 6 圖は同様 150°C に 10 分間保持、第 7 圖は同様 200°C 2 時間保持の場合の消磁曲線を一例として示した。第 8 表は軟化方法に恒溫處理を行つたもの、第 9 表は 920°C 焼鈍のものについての油温、保持時間と磁性との関係を示す。

常溫油焼入の場合も参考に掲げた。油温が 100°C のときは常溫油焼入とほぼ同様か多少良好な磁性を示し、油中保持時

間の影響は少ない。150°C では時間により著しい相違が見られ、保持時間と共に残留磁束を減じ抗磁力を増す。200°C 10 分間保持では残留磁束は著しく低いが、時間と共に増加し、特にその増加は焼入前に 920°C 焼鈍の方が恒溫處理を行つたものに比して著しい。以上の結果より油温を上昇する場合保持時間は 100°C では 10~60 分間、150°C では 10 分間程度で比較的良好な磁性が得られることが判る。従つて焼割れの防止として以上のような方法をとるときは磁性を犠牲にしないで目的を達することが出来るし、又磁性の改良の目的にも沿えることになる。

油温及び保持時間と組織との関係より磁性の變化を見るに 200°C 以下に於ける恒溫變態曲線を求めてないので各温度に於ける變態の進行狀況が知られないが、100°C では $r \rightarrow \alpha M$ が進行し、生成された M の變化は起らないから保持時間による變化は少ない。150°C では時間と共に炭化物の析出が起り易くなり、これに伴い残留磁束の低下が起るものと考えられ、200°C では 100°C あるいは 150°C の場合に比し残留 r を生じ易く、そのため 10 分間保持では残留磁束は低く、時間と共に $r \rightarrow \beta M$ により生成せられた M は一部焼戻されて α と炭化物を生じて残留磁束は増し、抗磁力を減ずる傾向を示すものと考えられる。以上の磁性の變化は Cr 磁石鋼の場合とほぼ同様である。(1) 焼入後の熟成による磁性の變化は油温が 100°C の場合及び 150°C で 10 分間保持の場合に著しい。150°C で保持時間の長い場合及び 200°C の場合には熟成



第 7 圖 恒溫處理後 960°C より 200°C の油に焼入れ 2 時間保持した試料 G の消磁曲線
 Fig. 7 Demagnetizing Curve for Specimen G Quenched from 960°C in Oil at 150°C and Kept there for 2 Hours after Isothermal Treatment.

第 8 表 油温、保持時間と磁性との関係 (焼入前 750°C 恒温処理)

符 號	油 温 (°C)	保 持 時 間 (分)	焼 入 の ま た		焼 入 後 100°C 熟 成 後		
			残 留 磁 束 (ガ ウ ス)	抗 磁 力 (エルステッド)	残 留 磁 束 (ガ ウ ス)	抗 磁 力 (エルステッド)	
G 1	常 温 //	—	8,100	250	9,100	200	
G 2		—	8,300	260	9,300	200	
G 3	100 // // // // // //	10	8,600	230	9,500	195	
G 4		//	8,700	235	9,900	195	
G 5		//	60	8,100	245	9,100	210
G 6		//	//	8,100	245	9,100	210
G 7		//	120	8,600	245	9,100	210
G 8		//	//	8,600	235	8,800	215
G 9		150 // // // // //	10	8,100	230	9,100	200
G10			//	8,300	240	9,200	200
G11	//		60	7,400	245	7,600	245
G12	//		//	7,200	250	7,700	245
G13	//		120	8,000	250	8,100	245
G14	//		//	8,100	250	8,100	245
G15	200 // // // // //	10	7,300	220	7,500	215	
G16		//	7,300	245	7,600	245	
G17		//	60	8,000	220	8,200	220
G18		//	//	8,200	225	8,400	220
G19		//	120	9,100	195	9,100	200
G20		//	//	9,150	190	9,200	195

第 9 表 油温、保持時間と磁性との関係 (焼入前 920°C 焼鈍)

符 號	油 温 (°C)	保 持 時 間 (分)	焼 入 の ま た		焼 入 後 100°C 熟 成 後		
			残 留 磁 束 (ガ ウ ス)	抗 磁 力 (エルステッド)	残 留 磁 束 (ガ ウ ス)	抗 磁 力 (エルステッド)	
B 1	常 温 //	—	8,000	220	8,900	190	
B 2		—	8,000	225	8,900	190	
B 3	200 // // // // // //	10	7,800	190	8,000	190	
B 4		//	8,300	195	8,600	195	
B 5		//	60	8,900	195	9,000	200
B 6		//	//	9,200	195	9,200	200
B 7		//	120	9,500	195	9,500	195
B 8		//	//	10,400	180	10,300	180

による変化が極めて少ない。これは油温上昇の場合焼入後 α M を残す量が極めて少いからと考えられる。

〔VI〕 總 括

以上高 Co-W-Cr 磁石鋼について行つた諸実験の結果を總括すると次の如くである。

(1) 軟化方法として恒温処理を行うため 500°C 以上に於ける S 曲線を決定した。

(2) 變態点以下の各種温度に於ける焼鈍、焼入焼戻及び恒温処理等の方法による軟化を比較し、又これら軟化方法の焼入後の磁性に及ぼす影響を求めた。その結果恒温処理方法により最もよく軟化し焼入後の磁性は最良を示した。又變態点以上 980°C 位で焼鈍すると軟化は不十分であるが磁性は比較的良好なものが得られた。これらは炭化物が細かく一様に分布し焼入を容易にするため

である。焼入焼戻によつて軟化したものは炭化物の球状化により焼入不十分を招き磁性は最も低い。

(3) 本研究に用いた試料は KS 鋼の標準組成に比して Co 含有量が若干低く (標準 Co 量は 36%)、従つて KS 鋼の特性として知られる残留磁束 9,000 ~ 10,000 ガウス、抗磁力 200 ~ 240 には達し難いことは知られるが、熱処理によつてはこれと同等若しくはこれに近いものが得られた。

終りに臨み本研究遂行に當り種々御指導を賜つた村上武次郎博士及び兼先日立研究所長に御禮申上げると共に実験に盡力せられた八重樫敏雄、佐々木良一兩君の勞に對し感謝する次第である。

参 考 文 献

小野、根本：日評、30 (1949)、45