冷間加工した 18Cr-12Ni ステンレス鋼の 焼鈍硬化と Mo, W および V 添加の影響

The Effect of Molybdenum, Tungsten, and Vanadium on the
Anneal Hardening of Cold Worked 18Cr-12Ni Stainless Steel.

森本 一郎* 鈴木 敏之* 土方 政行*

I. MORIMOTO, T. SUZUKI, M. HIJIKATA

1. 緒 言

著者等はさきに、18Cr-12Ni ステンレス鋼は強度の冷間加工と適当な低温焼鈍を施すことによりベリリウム銅に匹敵するバネ特性を示し、且つ透磁率が 1.02 ($H=300$ Oe) をこえないことから、非磁性のバネ材料として有用であることを報告した¹⁾²⁾。

本報では、バネ特性ならびに機械的性質を改善する目的で、オーステナイトに固溶しその強度を増すことが期

待される Mo, W および V³⁾⁴⁾ をそれぞれ単独に添加し、その冷間加工ならびに低温焼鈍状態での効果をしらべたので報告する。

2. 試料および実験方法

本実験に用いた試料の化学成分を表 1 に示す。試料の調製方法は前報¹⁾と同様であり、真空高周波炉で溶製した後、焼鈍、熱間圧延、溶体化処理、冷間圧延を経て試験片とした。

表 1 試料の化学成分 (wt %)

試 料	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V
C-1	0.090	1.02	1.75	18.52	11.93	—	—	—
M-1	0.120	1.18	1.63	16.59	12.36	2.13	—	—
M-2	0.101	1.18	1.19	17.15	11.89	2.86	—	—
M-3	0.101	1.28	1.52	16.85	11.92	4.37	—	—
W-1	0.105	0.90	1.45	17.95	12.01	—	1.50	—
W-2	0.092	0.97	1.55	17.72	11.72	—	3.22	—
W-3	0.101	0.95	1.57	17.73	11.92	—	5.91	—
V-1	0.119	0.90	1.66	17.91	11.43	—	—	0.57
V-2	0.121	0.93	1.42	18.04	11.60	—	—	1.55

機械的性質はビッカース硬さ、引張り強さおよびヤング率を測定した。バネ特性は DIN50 151 に規定されているバネ限界値(Federbiegegrenze)を Siemens 製の試験機を用いて測定した。これは試験片を 2 点で支持し、中央を押し下げることによって試験片を撓ませ、撓み量を順次増してゆき、応力を取り去った後の永久歪が 0.05 mm になったときの表面最大応力をもって示される値である。その外観と構造の略図をそれぞれ写真 1 および第 1 図に示す。また透磁率は弾道検流計型磁束計を用い磁場の強さ 300 Oe で測定した。

写真 1 バネ試験機の外観

* 科学技術庁、金属材料技術研究所

第1図 ばね試験機の構造

3. 実験結果および考察

3.1 機械的性質

第2図は冷間加工率と硬さおよび引張り強さとの関係を示したものである。加工率が増すと当然硬さも増すが、加工率が50%以上では、加工による硬度の度合いが

比較的小さい。冷間加工のままでは Mo の添加は硬さを増すのに効果があるが、W および V の添加はあまり効果がない。90%冷間加工した試料の硬さはいずれも 400~500DPN である。18Cr-12Ni ステンレス鋼は冷間加工によるマルテンサイトの生成がほとんど無いので⁵⁾、硬化は主として加工硬化によるものであろう。Mo, W お

第2図 加工率と硬さおよび引張り強さとの関係

よびVはいずれもフェライト生成元素であるから、これらの元素を添加した試料はC-1に比べると冷間加工によりマルテンサイトを生じ易いと考えられる。しかし、第2図の結果からは、この程度の添加量ではオーステナイトに固溶していわゆる固溶硬化の効果はMoを添加した試料で多少認められるが、冷間加工によりマルテンサイトを生じ易くなったとは考えられない。

引張り強さも冷間加工率が増すにつれて上昇する。Mo、WおよびVの添加は引張り強さを増し、いずれも添加量が増すにつれて引張り強さも増す。90%冷間加工した試料の引張り強さはC-1が140kg/mm²であり、

第3図 低温焼鈍による硬さの変化(90%圧延材)

Mo、WおよびVを添加したものは145~150kg/mm²であった。

90%冷間加工した試料の低温焼鈍による硬さの変化を第3図に示す。硬さは焼鈍温度の上昇と共に増し、いずれも500°Cで最高となる。焼鈍温度が500°Cを越えると再結晶のため軟化するが、C-1およびVを添加した試料に比べMoおよびWを添加したものは軟化しにくい。Mo、WおよびVの添加はいずれも低温焼鈍状態の硬さを増すのに効果がある。MoおよびWを添加した場合は添加量が増すにしたがって硬さも増すが、Vはある添加量で硬さが最高となり、それ以上添加しても硬さはむしろ低下する。これはVが炭化物を作り易く、それが結晶粒界に析出して固溶硬化の効果減ずるものと考えられる。Mo、WおよびV添加の効果をも同一at%で比較すると、得られる最高硬さはそれぞれM-2:500DPN、W-3:500DPNおよびV-2:485DPNであり、MoとWは同程度の効果がありVは多少劣る。

90%冷間加工した試料をそれぞれお400°, 500°および600°C各温度で焼鈍したときの時間-硬さ曲線が第4図

第4図 焼鈍時間と硬さとの関係、90%冷間加工後
(a)400°C、(b)500°C、(c)600°Cで焼鈍

である。400°ならびに500°Cでは、硬さはいずれも加熱後数分で急激に上昇し、一旦飽和又は下降の傾向を示した後再び上昇して60~100minで飽和値に達する。また600°Cでは加熱後数minで急激に上昇し最高値に達した後徐々に軟化する。MoとWを添加したものはC-1に比べ軟化が極めておそい。このことは、18Cr-12Niステンレス鋼をバネとして使用するにあたり、ある程度の

耐熱性を必要とする場合には、Mo およびWの添加が、有効なことを示唆しているものと考え。また、この結果から、低温焼鈍処理のための保温時間は 1 hr で十分なことがわかった。

第5図は90%加工した試料の低温焼鈍による引張り強さの変化を示したものである。引張り強さと焼鈍温度との関係は硬さと焼鈍温度との関係とほぼ同様の傾向を示す。引張り強さもいずれも 500°Cの焼鈍で最高となる。その増加量は10~20kg/mm² 程度で添加元素が入っても変わらない。Mo, W およびVの添加は引張り強さを増すのに効果があり、1.5at%の添加でいずれも約10kg/mm² 上昇した。

第6図は前報¹⁾と同様、片持ち梁りの一端に既知の荷重をかけたときの撓み量から求めたヤング率の、冷間加工および低温焼鈍による変化を示したものである。ヤング率は冷間加工により減少の傾向を示し、低温焼鈍によっては複雑な変化をするけれども増加する。これは洋白における和泉らの結果²⁾と定性的に一致する。Mo, W およびVの添加はヤング率を減少させる。90%冷間加工後、500°Cで1時間焼鈍した試料のヤング率はいずれも16500kg/mm² 前後であった。

3.2 パネ特性

前報¹⁾で18Cr—12Ni ステンレス鋼のパネ限界値は冷

第5図 低温焼鈍による引張り強さの変化(90%圧延材)

第6図 冷間加工と低温焼鈍によるヤング率の変化

間加工ではあまり変化しないが、低温焼鈍により著しく上昇することを報告した。しかし、低温焼鈍により到達する値は冷間加工率の大きいものほど高い。そこでまづ、冷間加工率とパネ限界値との関係ならびに添加元素

の影響をしらべた。その結果を第7図に示す。パネ限界値はいずれも加工率が増すにしたがい上昇する。また、Mo, W およびVの添加は冷間加工状態のパネ限界値を改善する。次に90%冷間加工した試料の、低温焼鈍にと

第7図 加工率とバネ限界値との関係

もうバネ限界値の変化を第8図に示す。バネ限界値は焼鈍温度の上昇と共に著しく増して、M-2は650°C、W-3とV-2はそれぞれ600°Cで最高となる。その値はM-2が107kg/mm²、W-3が117kg/mm²、V-2が94kg/mm²であり、C-1と比較するとM-2が30kg/mm²、W-3が40kg/mm²、V-2が15kg/mm²高くなっている。このように添加元素の効果はMo、WおよびV共にあり、特にMoとWが著しい。

一般に冷間加工したオーステナイト系ステンレス鋼を低温焼鈍すると、硬さや引張り強さに比べ弾性限や降伏強さの上昇が著しい⁷⁾。バネ限界値はその測定法からわかるように、引張り試験の耐力に相当するものであるから、低温焼鈍による著しい上昇はうなづける。また、バネ限界値が最高となる焼鈍温度は600~650°CでC-1のそれより高く、且つ硬さや引張り強さの最高となる温度より100°C以上高温側にある。この原因は明らかでな

第8図 バネ限界値におよぼす低温焼鈍の効果

いが、600°C付近の温度で加熱すると粒界に炭化物が析出し粒界腐食の原因となるので⁸⁾、実用焼鈍温度は耐食性も考慮して500°C以下にする必要があると考える。

3.3 磁 性

50, 70および90%冷間加工した試料を、それぞれ100~600°Cの温度範囲で100°Cおきに1hr低温焼鈍したときの透磁率 μ の変化を第2表に示す。冷間加工のままの状態では、透磁率はいずれも加工率が増すにしたがって僅かに増す。これは冷間加工により微量のマartenサイトが生じたことを示している。また、Moの添加は透磁率に影響をおよぼさないが、WとVの添加は透磁率を増加させる。これはWとVが強いフェライト生成元素であるため、添加によりオーステナイトがC-1に比べて不安定となり、冷間加工によりマartenサイトを生じ易くなったものと考え。一方、低温焼鈍によって透磁率は

表2 低温焼鈍にともなう透磁率の変化 ($H=300$ Oe)

試料	加工率 (%)	透磁率						
		加工のまま	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C
C—1	50	1.020	1.011	1.006	1.005	1.006	1.006	1.009
	70	1.027	1.013	1.011	1.007	1.007	1.011	1.011
	90	1.035	1.030	1.026	1.019	1.021	1.009	1.013
M—2	50	1.018	1.012	1.010	1.009	1.007	1.009	1.009
	70	1.009	1.009	1.010	1.007	1.004	1.011	1.007
	90	1.028	1.022	1.025	1.019	1.021	1.013	1.013
W—3	50	1.49	1.49	1.51	1.49	1.51	1.49	1.43
	70	1.75	1.75	1.75	1.76	1.72	1.73	1.68
	90	1.93	1.92	1.94	1.90	1.93	1.90	1.85
V—2	50	1.051	1.049	1.062	1.052	1.067	1.060	1.046
	70	1.13	1.17	1.13	1.17	1.13	1.10	1.066
	90	1.52	1.60	1.58	1.61	1.64	1.48	1.32

ほとんど変化しない。

Cina⁹⁾は、冷間加工によって生じた18Cr—8Ni ステンレス鋼のマルテンサイトは500°C～800°Cの温度でオーステナイトになると述べている。また、今井ら¹⁰⁾は冷間加工した18Cr—8Ni ステンレス鋼の加熱にともなう磁性の変化をしらべ、500°C付近から急激に磁性を失い始めると報告している。本実験で透磁率の値が100°C～600°Cの範囲でほぼ一定なのは、18Cr—12Ni ステンレス鋼では冷間加工により生じたマルテンサイトが極めて安定で、600°C以上にならないと変態を開始しないためか、あるいはまた、加熱により生じたオーステナイトが温度の降下と共に再びマルテンサイトに変るためと考えるが明らかでない。

4. 結 言

冷間加工した18Cr—12Ni ステンレス鋼の焼鈍硬化と諸性質におよぼすMo、WおよびVの影響についてしるべ次の結果を得た。

(1) MoとWの添加は機械的性質ならびにバネ特性を改善する。Vの添加は添加量が増しても必ずしも諸性質は向上せずある添加量で最大値を示した。

(2) Mo、WおよびVを添加するとバネ限界値は600～650°Cの低温焼鈍で最高となるが、硬さと引張り強さは500°Cで最高となり添加元素の入らないものと変わらない。

(3) Mo、WおよびVを添加するとヤング率はいずれも低下する。

(4) 透磁率は冷間加工率が増すにつれて僅かに増すが、600°Cまでの低温焼鈍ではほとんど変化しない。また、Moの添加は透磁率に影響をおよぼさないが、WとVの添加は透磁率を増す。したがって非磁性のバネ材料という観点からはWとVの添加は望ましくない。

(5) 試料M—2の実用焼鈍条件は耐食性を考慮すると500°C 1 hrであり、この条件で処理した90%冷間加工材の硬さ、引張り強さ、ヤング率およびバネ限界値はそれぞれ500DPN、165kg/mm²、16,900kg/mm²、100kg/mm²、100kg/mm²であった。

参 考 文 献

- 1) 森本一郎、鈴木敏之、土方政行：金属材料技術研究所報告，7 (1964) 269.
- 2) I. Morimoto, T. Suzuki and M. Hijikata : Trans. NRIM, 6 (1964) 226.
- 3) K. J. Irvine, D. T. Llewellyn, and F. B. Pickering : J. of Iron and Steel Inst., 199 (1961) 153.
- 4) 中川龍一、乙黒靖男：金属材料技術研究所報告，4 (1961) 1, 80, 210.
- 5) C. B. Post and W. S. Eberly : Trans. ASM, 39 (1947) 868.
- 6) 和泉修、岩本正男：日本金属学会誌，28 (1964) 476.
- 7) 渡辺統市、佐賀二郎：日本金属学会誌，21 (1957) 583, 602.
- 8) 長谷川正義編「ステンレス鋼便覧」(1960) 106.
- 9) B. Cina : J. of Iron and Steel Inst., 179 (1955) 230.
- 10) 今井勇之進、斎藤利生：鉄と鋼，49 (1963) 780.