

討22

低炭素高マンガン非磁性鋼の物理的機械的性質

日本鋼管(株)技術研究所

○高坂洋司、三瓶哲也

工博 北田豊文、大内千秋

大須賀立美

I 緒言

高マンガン系オーステナイト鋼が、構造用圧延鋼材として使用されるにつれ、構造用鋼としての適性を考慮した成分系の検討が近年進められている。著者らは先に、従来の高マンガン系オーステナイト鋼よりも低炭素化および高マンガン化することにより、常温付近の熱膨張率を、普通鋼並に低下させることが可能なこと¹⁾、さらに、本鋼では機械加工性や溶接性も改善されることを報告した。²⁾

本研究は、熱膨張率の他に重要な特性である非磁性の安定性、電気抵抗率などの物理的性質に及ぼす合金元素の影響を中心に、高降伏点化、高靱化などの機械的性質の向上のための検討を行なったものである。また、低炭素系の高マンガンオーステナイト鋼の機械加工諸特性及び溶接継手性能についても合わせて報告する。

II 実験方法

約70鋼種にのぼる供試鋼の成分範囲を表1.に示した。合金元素の添加系については、0.25% C-21~25%Mn鋼をベース成分としたものである。

表1. 供試鋼の化学成分

	C	Si	Mn	Cu *	Ni	Cr	Mo	Co	sol. Al	T. N
C-Mn	0.01 ~1.19	0.3	0.13 ~38.1	-	-	-	-	-	0.03	0.02 ~0.04
C-Mn-X	0.22 ~0.28	0.33 ~5.81	20.0 ~26.7	tr. ~3.14	tr. ~6.08	tr. ~5.14	tr. ~6.43	tr. ~3.54	0.025 ~0.670	0.02 0.05

* 3.5% Ni鋼

これらの供試鋼を12mm厚に熱間圧延後、圧延ままで物理特性の測定を行なった。透磁率の測定は、ソレノイド法により、熱膨張率の測定は差動トランス式の熱膨張計により測定した。また電気抵抗率の測定は、四端子法により測定した。一方機械的性質については、0.25% C-25%Mnベース鋼について、合金元素の影響、制御圧延、冷間引抜など、各種の強化を行ない、高降伏点化、高靱化効果の比較検討を行なった。機械加工性については、0.25% C-25%Mn鋼を中心に、鋸切断性、旋削性、ドリル穿孔性の各試験を行ない、溶接性については、手溶接、MIG溶接、電子ビーム溶接について、継手性能の調査を行なった。

III 物理的性質におよぼすC、Mnおよび合金元素の影響

III-1. 非磁性の安定性への影響

50%の冷間圧延を行なった後の透磁率をもとに非磁性の安定性を調査した結果を図1.に示す。これより、低炭素化した成分により低透磁率を得るためには、高マンガン化が必要であることが分る。図2.は、0.25% Cベース材にMn量を変化させた鋼の冷間圧延率と透磁率の関係をSUS304と比

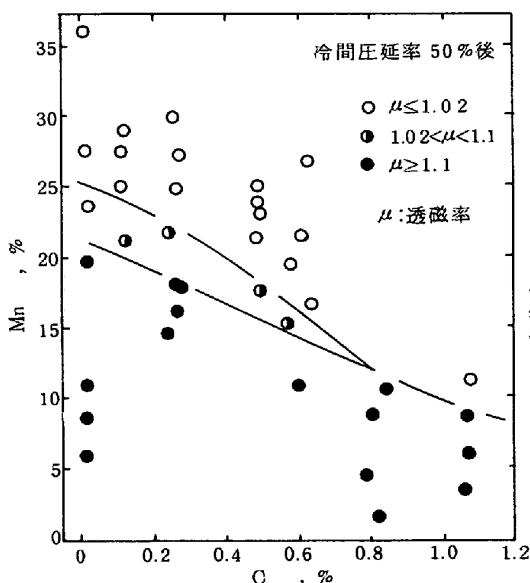


図1. 非磁性の安定性とC、Mn量の関係

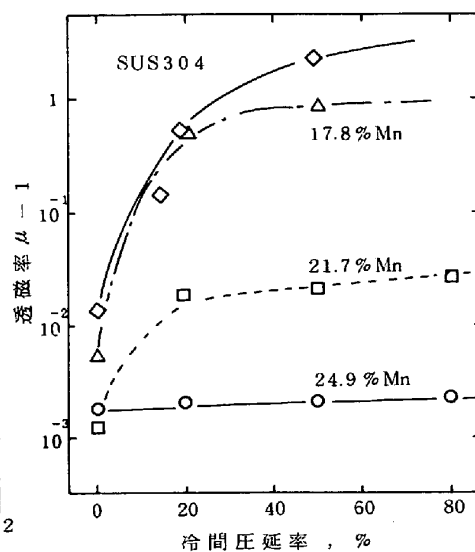


図2. 冷間圧延による透磁率の変化

較して示したものである。Mn量が増加するにしたがい各冷間圧延率での透磁率は著しく低下し、25%Mn鋼においては80%の冷間圧延率後も1.003以下の値を保つ。一方0.25%C-21~25%Mnベース鋼での透磁率に及ぼす合金元素の影響を図3に示した。図中には18%Mn鋼にCrを添加した場合についても、あわせて示した。C-Mnベース鋼ですでに安定な非磁性を示すものについては、 α 安定化元素または γ 安定化元素を6%未満の範囲で添加しても透磁率はほとんど変化しない。一方非磁性度の小さい21%Mn、18%Mn鋼の場合については、Niを添加することにより透磁率が徐々に低下するがCrはあまり変化させない。

II-2. 熱膨張率への影響

高マンガン系オーステナイト鋼の基本成分であるC、MnおよびCrについて、0~100°Cの平均熱膨張率への影響を図4に示した。C量の範囲が0.02~1.2%の広い範囲に渡り、C量の増加に伴って大幅に熱膨張率が上昇し、Mn量は10~30%の範囲において大幅に低下させる効果がある。またCrはわずかに熱膨張率を低下させる。0.25%C-21、25%Mnをベースに熱膨張率に及ぼす第3元素の影響を図5に示した。なお熱膨張率はそれぞれのベース材に対する変化量で示した。熱膨張率を低下させる効果のある元素は、Mn、Crだけであり、その他の元素はすべて上昇させ、その効果はSiが著しい。

Fe-Mn合金においては、従来より常磁性-反強磁性の磁気変態により、常温付近で異常な熱膨張を生ずることが知られている。この磁気変態に基づく体積磁歪は正であり、原子間距離は膨張の方向である。磁気変態を介して、平均熱膨張率に及ぼす合金元素の影響を考える場合、磁気変態点(ネール点)への影響と、体積磁歪への影響を考慮する必要がある。しかしながら、本研究で用いた成分系についてのこれらのデータは少なく明解な整理はなされていない。体積磁歪を増加させることは、格子定数を増加させることであると考え、Si、Mn、Crは極めて良くこの傾向を満足するが、Moは大幅に異なる。また、ネール点を上昇させることを介して熱膨張率を低下させる傾向をC、Mnは満足するが、Crは逆の傾向を示すなど、一つの因子では説明が困難である。また、特にCについては、融点を降下させる影響が大きいことから、金属において一般的に知られている融点と熱膨張率との関係も、根底に存在することを考慮する必要があると考えられる。

II-3. 電気抵抗率への影響

非磁性鋼としての用途を考える場合、渦電流発生に伴う磁場の攪乱やエネルギー損失を少なくするために、電気抵抗率は

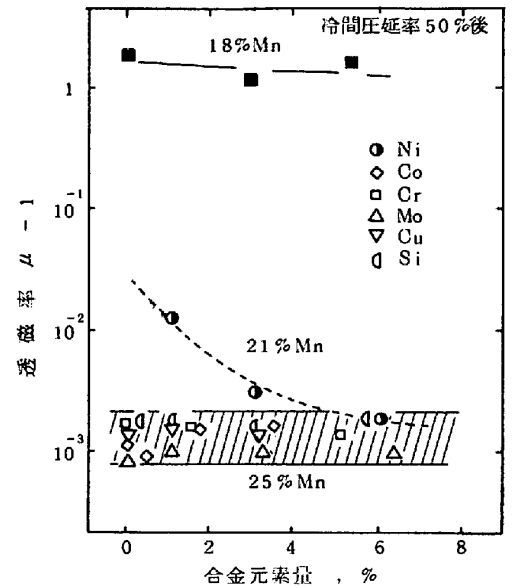


図3. 50%冷間圧延後の透磁率に及ぼす合金元素の影響

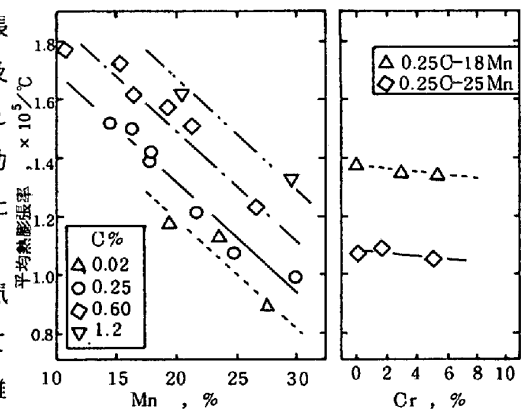


図4. 平均熱膨張率(0~100°C)に及ぼすC、MnおよびCr量の影響

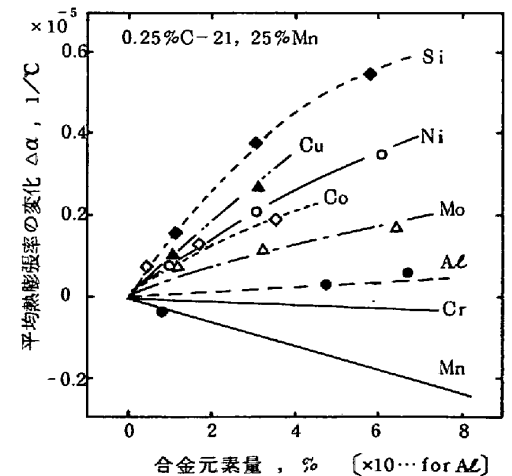


図5. 平均熱膨張率(0~100°C)に及ぼす合金元素の影響

大きい方が望ましい場合が多い。図6は、C及Mn量が大幅に異なる高マンガン系オーステナイト鋼の電気抵抗率を示したものであるが、いずれも成分の増加に伴い電気抵抗率は上昇する傾向を示し、Mnについては1%当り $1.04 \mu\Omega\text{cm}$ またCについては0.1%当り $1.8 \mu\Omega\text{cm}$ の上昇を示す。一方第3元素の影響について測定した結果を図7に示した。いずれの合金元素も電気抵抗率を上昇させる傾向を示すが中でもSiの影響が著しい。特にSiの影響が著しいのは、単位体積当りの伝導電子の数を減少させる効果が大きいものと考えられる。

IV 低炭素高マンガン非磁性鋼の強化

低炭素系の高マンガンオーステナイト鋼は、高炭素系に比較して、低熱膨張率が得られることや、延靱性が良好であるなどの長所がある反面、降伏点がやや低いという欠点を有する。一般にオーステナイト鋼の強化手法としては、合金元素の添加による固溶、析出強化や冷間加工による強化、また最近では熱間圧延条件の制御による強化などが知られている。

図8は、置換型合金元素の添加による0.2%耐力への影響を、熱間圧延ままで調べたものである。合金元素間においては、V、Mo、Siなどのフェライト形成元素が特に著しい影響を示すのに対し、Cu、Ni、Coなどのオーステナイト形成元素は、効果が著しく小さいことが分る。これらの合金元素間の差は、Fe原子との原子半径差と良い相関が認められるが、Vについては、細粒化効果も寄与していると考えられる。一方0.25%C-24%Mn鋼について、熱間圧延条件を制御した結果を図9に示した。加熱温度による差はほとんど認められないが、圧延仕上温度が低下するに伴い、0.2%耐力の著しい上昇が認められる。またこの場合の引張強さの上昇及び伸び絞りの低下は少なく、熱間圧延条件の制御による組織制御は好ましい強化法と考えられる。さらに、冷間引抜により冷間加工を与えた後の引張特性

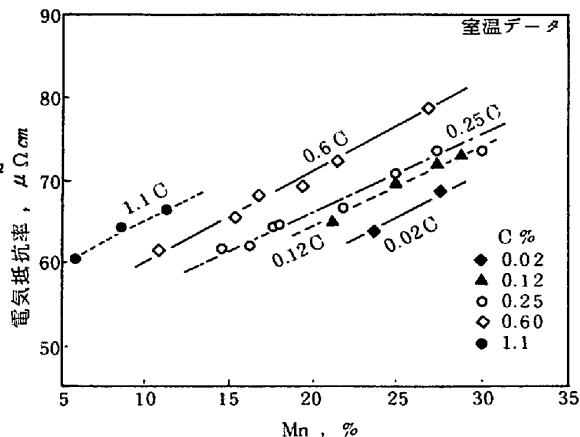


図6. 電気抵抗率に及ぼすC、Mn量の影響

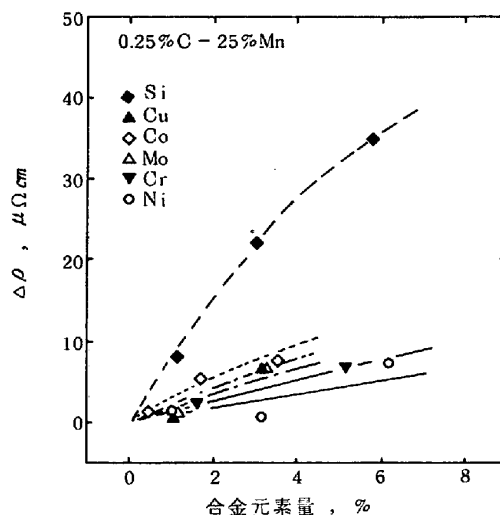


図7. 電気抵抗率に及ぼす合金元素の影響

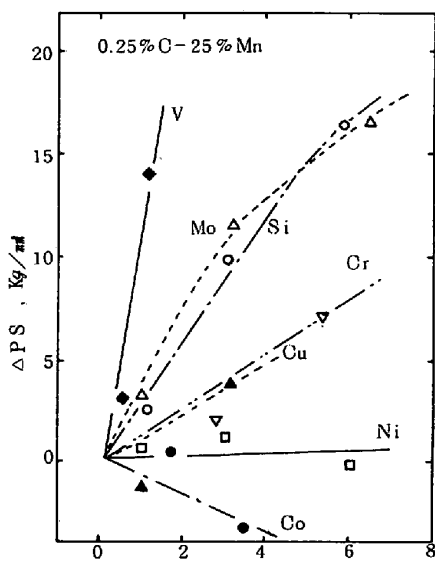


図8. 0.2%耐力に及ぼす合金元素の影響

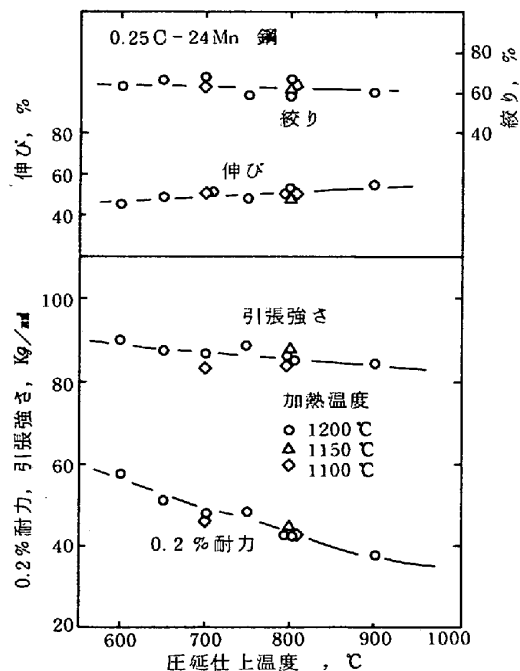


図9. 引張特性に及ぼす圧延条件の影響

を図10に示した。冷間加工による0.2%耐力の上昇はより顕著であり、減面率が20%後の0.2%耐力の上昇は40kg/mm²にも達する。しかしながら、減面率が増加するに伴って一様伸びの減少が見られ、絞りはそのほとんど低下しないが伸びの減少が大きい。

V 低炭素高マンガン非磁性鋼の被削性及び溶接性

高マンガン非磁性鋼を構造用鋼として使用する際の大きな欠点として機械加工性が著しく悪いことがあげられる。機械加工性に対しては、安定なオーステナイトが得られる条件下において、低炭素化することが有効であることを先に報告した³⁾。図11は、低炭素高マンガン非磁性鋼について、超硬工具による旋削試験でのV-T線図をステンレス鋼と比較して示したものである。低炭素高マンガン鋼は、SUS304を上回る旋削性を示し、かつ切削処理性も良好であることが分った。また本鋼にCa-S処理を施すと、旋削性は更に向上し、SUS303に近づく結果を得た。さらに鋸切断性やドリル穿孔性に関しても、低炭素高マンガン鋼は高炭素系の高マンガン鋼に比較し、大幅な被削性の改善が見られる。

同じく低炭素系の0.32%C-24.8%Mn-1.7Cr鋼の30mm厚の厚鋼板に、手溶接、MIG溶接および電子ビーム溶接を行なった継手試験の結果を表2にまとめて示した。各溶接法共に、溶接金属のシャルピー吸収エネルギーは、12kg・m以上と良好であり、BondおよびHAZにおいても、LC差があるものの低下の度合は小さい。

VI 結言

高マンガンオーステナイト鋼について、物理的性質に及ぼす成分の影響を系統的に調査した結果、従来材よりも低炭素化、高マンガン化した0.25%C-25%Mnベース鋼により、良好な非磁性の安定性と、低熱膨張率が得られることが分った。この低炭素高マンガン非磁性鋼は必要に応じて各種の強化法による高降伏点化が可能であり、各種の被削性試験および溶接後の特性においても良好な特性を示す。

VII 参考文献

- 1) 大内、高坂；鉄と鋼、65(1979)、S374
- 2) 大内；特殊鋼、28(1979)、No. 5、25
- 3) 三瓶、大内；鉄と鋼、66(1980)、S354

表2 溶接試験条件および継手試験の結果

溶接法	開先形状及び積層	入熱 KJ/cm	溶接材料	試験方向	継手引張試験		シャルピー衝撃試験 vEo Kg-m				
					引張強さ Kg/mm ²	溶接金属	Bond	Bond+1mm	Bond+2mm	母材	
手溶接		14.4	MC-16 (4.0φ)	L	80.5	12.7	16.3	17.1	18.7	L: 24.5	
				C	82.6	13.0	10.0	8.7	8.6		
MIG溶接		20.3	DW-14M (1.6φ)	L	74.3	12.4	13.5	19.5	21.9	C: 12.2	
				C	75.0	12.6	11.5	11.2	10.6		
電子ビーム溶接	Bead on Plate	10.5	-	L	81.3	16.5	17.2	19.5	22.0		
				C	80.7	16.0	11.9	11.6	10.9		

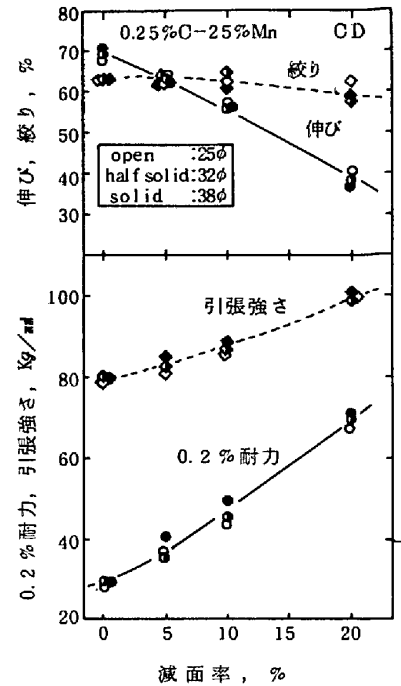


図10 冷間引抜後の引張特性と減面率の関係

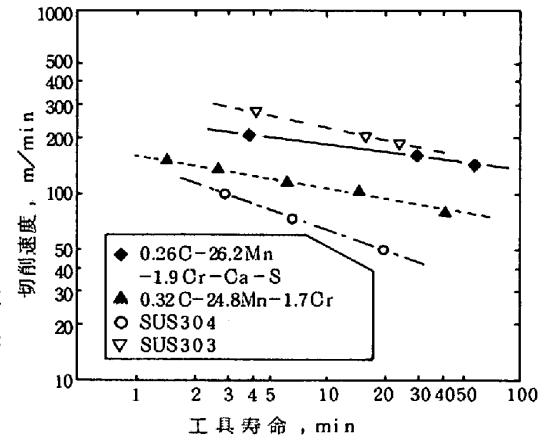


図11 低炭素高マンガン鋼の旋削試験結果 (工具: P20、切込: 20mm、送り: 0.20mm/rev、工具寿命判定: Kt=50μ)