

討23

高Mn非磁性鋼の炭化物析出と靱性および耐食性

住友金属工業(株) 本社 松岡 孝

中央技術研究所 大谷泰夫, 岡田康孝, 三浦 実, 幸 英昭

I 緒 言

高Mn非磁性鋼はSUS304あるいはSUS316などのステンレス系非磁性鋼とは異り, 安価なCとMnを多量に添加することによりオーステナイトを安定にし, 非磁性とした経済鋼で, 最近では核融合実験装置, 磁気浮上高速鉄道を初め電気部品などへの適用が盛んになり注目されている。しかしながらCを多量に含有するため, 切削性, 溶接性などに問題があり, さらに溶接後の応力除去焼鈍(SR)などの時効により炭化物が析出し, これに伴って各種の特性が変化する。

今回は主に溶接部を含む靱性および耐食性(SCC)に着目し, 炭化物析出および母相成分との関係について明らかにする。

II 実験方法

供試鋼は100kg~2 tonの大気高周波誘導炉により溶製し, 熱間鍛造および熱間圧延により5~19mm厚の素材を作製し, 機械的性質, 透磁率, 穿孔性, 溶接性, 耐食性などを調査した。なお一部のものについては70ton 転炉溶製材を用いた。

III 結 果

1. 機械的性質および透磁率におよぼす化学成分の影響

図1は固溶化処理材の機械的性質と透磁率について化学成分(C, Mn, Cr, Ni)の影響を示したものである。Cは0.2% 耐力を上昇させ, しかも伸び, 絞り, 吸収エネルギーを上昇させ, 透磁率を低下させる。MnもCと同様に伸び, 絞り, 吸収エネルギーを上昇させ透磁率を低くする。Mnの効果は特に14%から18%の間で顕著である。また透磁率を低くするには14%Mn系では0.2%以上のCが必要であるのに対して18~25%Mn系では0.2%以上で十分低い値になっている。CrはC, Mnとは異り透磁率に対する影響は少ないが0.2%耐力の上昇に有効で, しかも伸び, 絞り, 吸収エネルギーを向上させる。NiはMn同様に伸び, 絞り, 吸収エネルギーを上昇させるが, 2%程度の添加では低温靱性の向上を除くとその効果は小さい。

2. 時効処理による靱性および透磁率の変化

図2は, 固溶化処理後600°Cの時効による吸収エネルギー(°C)および透磁率の変化を示す。吸収エネルギーはC量の比較的高い0.6C-14Mn系では時効により著しく低下するのと同対的にC量が比較的低くMn量の高い0.4C-18Mn系では, 時効により吸収エネルギーはほとんど低下しない。なお0.6C-14Mn系において, Crを添加することにより吸収エネルギーの低下はかなり抑制され, Cr添加は靱性の低下防止に有効である。次に透磁率については0.6C-14Mn系で透磁率が著しく低下

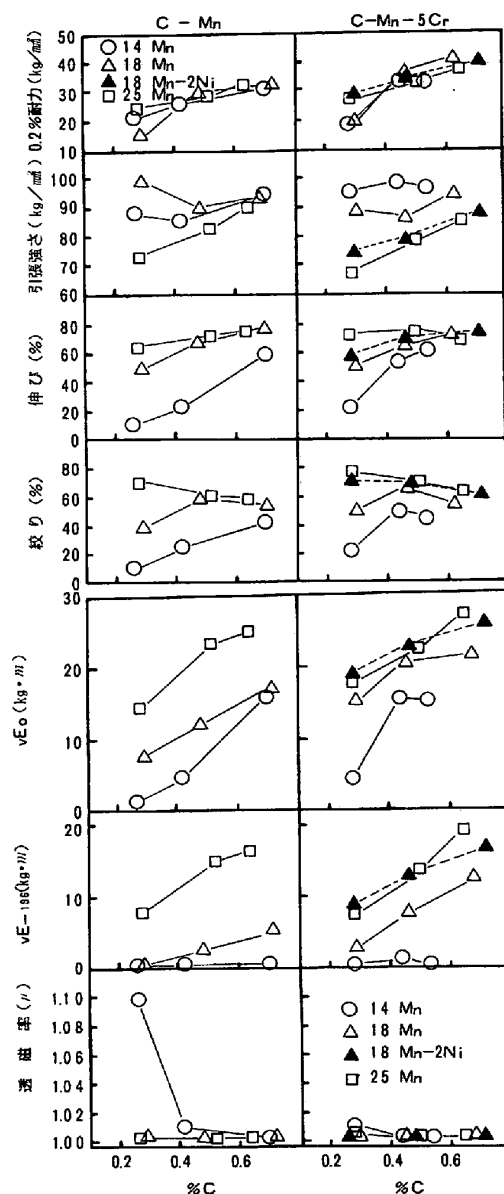


図1. 化学成分の機械的性質, および透磁率におよぼす影響 (1050°C×1.0h W.Q)

する。この場合Crの添加は靱性と同様に透磁率の上昇防止に有効である。また0.4C-18Mn系はいずれも時効により透磁率はほとんど変化しない。

図3は0.4C-18Mn-5Cr鋼の現場溶製材について、温度-時間-吸収エネルギー曲線を示したものである。靱性の低下は800°C~900°Cをノーズとし、600°C程度のSRでは靱性はほとんど低下しないことがわかる。

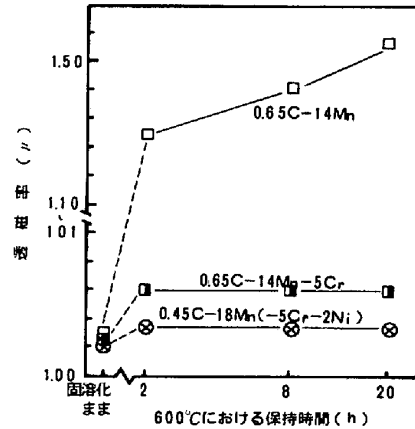
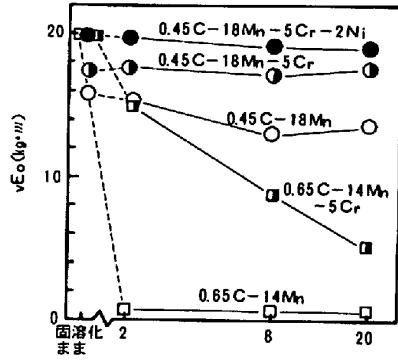


図2. 時効による吸収エネルギーおよび透磁率の変化。

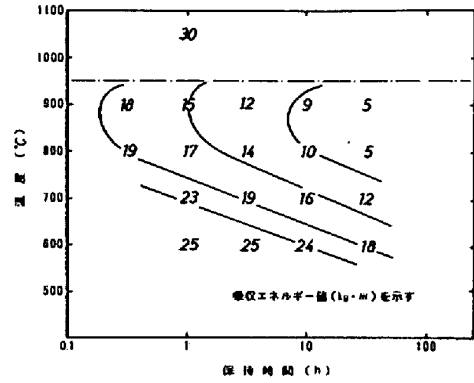


図3. 時効による吸収エネルギーの変化 (0.4C-18Mn-5Cr)

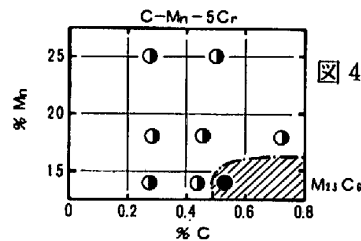
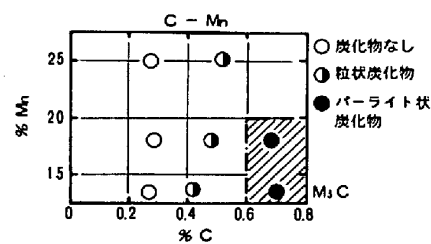


図4. 炭化物析出と母相成分の関係 (600°C×8h)

3. 化学成分による炭化物析出におよぼす影響

図4は図2の600°C×8h時効材について、ブランクレプリカ法による電子顕微鏡観察結果をまとめたものである。図中の斜線部は、粒界よりパーライト状の炭化物が多量に析出する化学成分範囲を示し、この範囲において靱性および透磁率の低下が生じている。残りの領域においては、主にMn₃C₆型炭化物が粒界に不連続で粒状に析出している。従ってSRなどの時効による靱性、透磁率の劣化は、粒界におけるパーライト状炭化物の析出が原因であることが明らかで、これを防止し、時効後の性質を改善させるためには、図4よりC<0.5%, Mn>15%でかつCrを添加することが必要である。

4. 穿孔性におよぼす化学成分の影響

高Mn系非磁性鋼の1つの問題点は切削性の改善である。図5によると穿孔性については18%以上のMn量においてC量を低くすると穿孔寿命が著しく向上することがわかる。従って穿孔性の点からはC量をなるべく低くすることが望ましい。

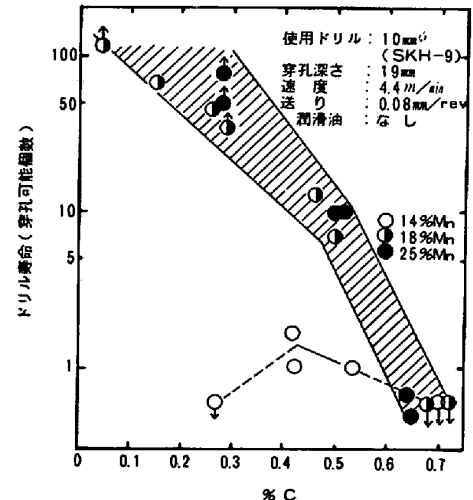


図5. 穿孔性におよぼす化学成分の影響

以上の検討の結果を総合すると、母材性能の点からC, Mn量を高くすることが望ましく、一方溶接部のHAZあるいはSRなどによる靱性、透磁率の変化からはC量を低くし、かつCrを添加することが必要

である。さらに切削性（穿孔性）を改善するにはC量を低くする必要のあることが明らかになった。このような点を考慮し、最適成分系として、0.4C-18Mn-Cr鋼を選択した。

5. 溶接性

高Mn非磁性鋼の溶接上の問題点は主に高温割れと溶接部の靱性劣化である。

図6は溶接中に歪を加えて発生する高温割れを長さで評価するバレストレイン試験の結果である。割れ感受性はPの影響を強く受けP量が低い場合には溶接金属の凝固割れ、HAZの液化割れともに合金元素の影響は小さく、溶接中に割れが発生しない程度に低い値となっている。Pの影響が現われるのは0.6C-14Mn系で0.03%以上、0.4C-18Mn系では0.04%以上で、前者の方がやや割れ感受性が大きい。

図7は、0.4C-18Mn-5Cr鋼の19mm厚鋼板について、溶接部の靱性におよぼす溶接入熱量とSRの影響を示したもので、JIS DFME系の被覆アーク溶接およびSAWを用いている。すでに検討した結果からも推定されるようにこの鋼種の靱性は溶接ボンド部、HAZ部とも入熱量の上昇により若干低下する傾向にあるが、SAWを想定しても10kg・m以上と十分に高い値を有し、SR後も靱性の低下が極めて小さい。

図8は板厚55mm, 100mmの溶接試験結果で、19mmの結果と同様に良好な継手性能が得られ、溶接各位置における透磁率も1.02以下と低い値が得られた。写真1は100mm厚鋼板の溶接部マクロ組織を示す。



写真1. 100mm厚鋼板溶接継手部のマクロ組織

図9は19mm厚鋼板の十字継手疲労試験結果を示す。0.4C-18Mn-5Cr鋼はHT55, HT80より高い疲労強度を有し、溶接構造物に適し

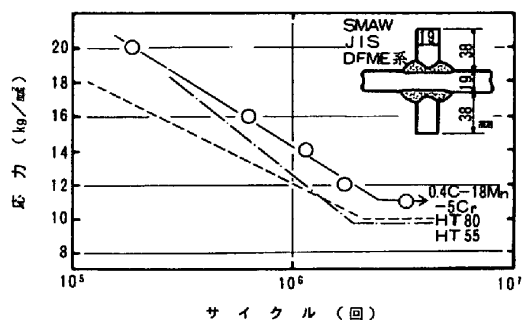


図9. 十字継手疲労試験結果（板厚19mm）

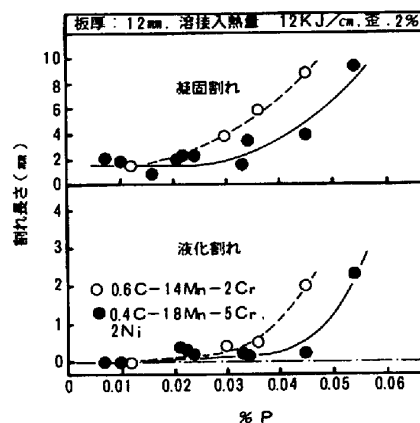


図6. バレストレイン試験法による溶接割れ感受性におよぼすPの影響

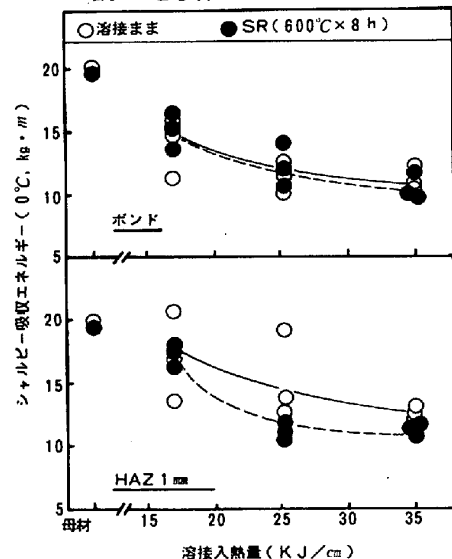


図7. 溶接継手部靱性におよぼす溶接入熱量の影響（板厚19mm）

板厚 (mm)	吸収エネルギー (0°C, kg·m)						継手強度 (kg/mm²)								
	0	5	10	0	5	10	15	20	25	50	60	70	80	90	
55	SMAW 1/4 t (15.6KJ/cm)														
	MIG 1/4 t (20KJ/cm)														
	SAW 1/4 t (30KJ/cm)														
100	SAW 1/4 t (30KJ/cm)														
	1/2 t														
	3/4 t														
	溶金			ボンド			HAZ 1mm								

図8. 0.4C-18Mn-5Cr鋼の厚板継手特性

ていることが確認された。

6. 耐応力腐食割れ性

0.4C-18Mn-Cr 鋼は、非磁性鋼として優れた性能を有することを確認したが、腐食環境で使用された場合、特に溶接熱影響やSR処理により炭化物が析出し、粒界応力腐食割れ (IGSCC) が発生する場合がある。

図10は耐海水性におけるCr量の影響を調べたもので、全面腐食の点ではCr量で2%以上が望ましく、5%CrではSS41の約1/2に低下する。

次に図11はSR材 (650°C×8h) について耐SCC性におよぼすC, Mn, Crの影響を示したもので、C-Mn系ではC, Mnの高い領域でのみSCCが発生するのに対して、C-Mn-Cr系ではMn≥25%, Cr≥2.5% の領域でSCCが発生し、0.4C-18Mn-Cr 鋼において、Cr量を2%程度まで低くすることが耐SCC性改善に効果のあることが明らかになった。図12は、代表的な0.4C-18Mn-2Cr 鋼と0.4C-18Mn-5Cr 鋼の熱処理条件によるSCC感受性の変化を示す。前者はSRなどの時効においてもSCCは発生しない。後者は炭化物の析出が認められる900°C以下の熱処理ではSCCが発生するが、950°C以上の溶体化処理を行うとSCCは発生しなくなる。なおSCCは、粒界に析出したCr炭化物の囲りに生成したCr欠乏層の選択的な腐食によるものと推定される。

III 結 言

高Mn非磁性鋼はCを多量に含有するため炭化物の析出にともなって各種の特性が劣化する場合があるが、化学成分の調整により靱性、溶接性、耐SCC性および切削性が改善されることを明らかにした。このようにして得られた0.4C-18Mn-Cr 鋼は母材の機械的性質、切削性に優れ、しかも溶接継手性能、耐SCC性においても良好で現場において、各種の厚板、H型鋼、溶接管、継目無管、鍛造リングなどを試作したので、この結果についても報告する。

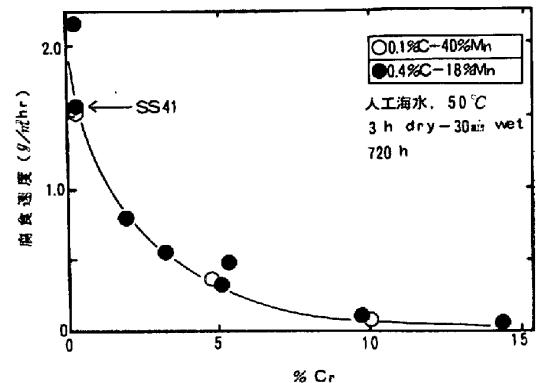


図10. 耐海水性におよぼすCr量の影響

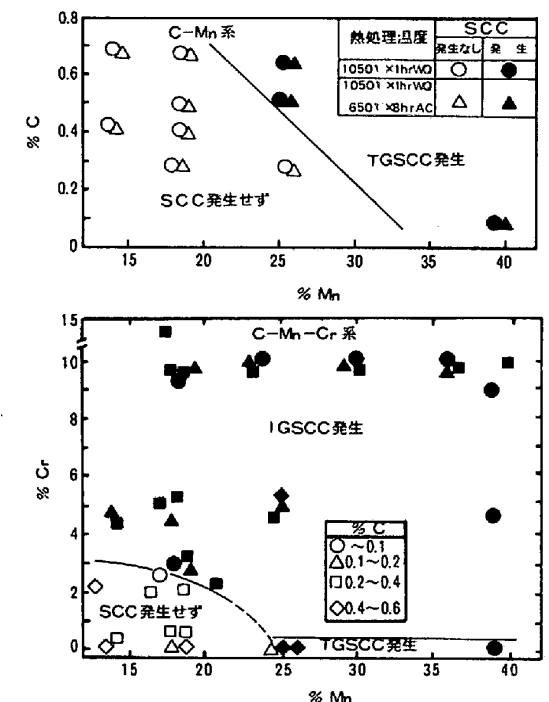


図11. 耐SCC性におよぼすC, MnおよびCrの影響 (650°C×8h, 人工海水50°C, シングルUバンド, 720h)

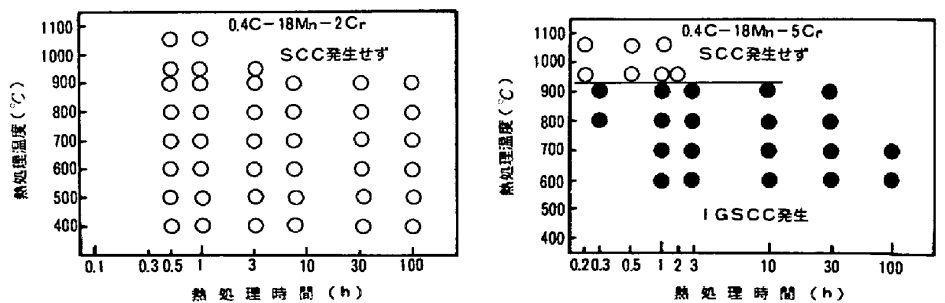


図12. 0.4C-18Mn-Cr 鋼のSCC感受性におよぼす熱処理温度および時間の影響 (人工海水, 50°C, シングルUバンド, 720h)