

船舶用高強度ステンレス鋼(YUS304N, YUS170, YUS350)の開発

Development of High Strength Stainless Steels (YUS304N, YUS170, YUS350) for High Speed Vessel

中澤崇徳 ⁽¹⁾ Takanori NAKAZAWA	天藤雅之 ⁽²⁾ Masayuki TENDO	佐藤雄一 ⁽³⁾ Yuichi SATO	田所裕 ⁽⁴⁾ Yutaka TADOKORO
大内博史 ⁽⁵⁾ Hiroshi OOUCHI	井上裕滋 ⁽⁶⁾ Hiroshige INOUE	桜井英夫 ⁽⁷⁾ Hideo SAKURAI	末次和宏 ⁽⁸⁾ Kazuhiro SUETSUGU

抄 録

大型高速船(テクノスーパーライナー)の水中翼等に使用される溶接構造用の高強度ステンレス鋼として、オーステナイト系及びマルテンサイト系ステンレス鋼を開発した。YUS304N鋼とYUS170鋼は、靱性と溶接性に優れたオーステナイト系をNによる固溶強化に加え制御圧延・加速冷却技術の適用により高強度化した鋼種である。いずれの鋼種も高強度、高靱性であり、かつ食塩水中の疲労強度も大気中とそん色ない。また、共金系の溶接材料による溶接においても十分な特性が確認されている。YUS350鋼は、強度に優れたマルテンサイト系の靱性をNi添加により改善し、溶接性を確保するため低C化し、NbとMo添加によりSR処理による材質劣化を防止した鋼種である。本鋼は母材及び共金系の溶接材料による溶接金属、電子ビーム溶接による溶接金属、いずれにおいても十分な強度・靱性を有している。これらの鋼種は耐食性のある高強度の溶接構造用として高速船以外にも広く適用可能な鋼種である。

Abstract

Austenitic stainless steels and a martensitic stainless steel have been developed, as the high strength stainless steel to be used for welded structures such as hydrofoil of a large high speed vessel (Techno Super Liner). Both stainless steels of YUS304N and YUS170 are of a high-strengthened steel grade obtained from an austenitic stainless steel having excellent toughness and weldability, by applying controlled rolling and accelerated cooling in addition to nitrogen solution hardening. Both steels have high strength and high toughness, together with high fatigue strength in a saline solution which stands comparison with the one in atmospheric environment. Further, it has been confirmed that these steels have satisfactory properties in welding with using similar filler metal. Stainless steel of YUS350 is of a non-degradation type obtained from a martensitic stainless steel having excellent strength, by adding Ni to improve its toughness, lowering carbon content to secure weldability, and adding Nb and Mo to prevent a degradation of the material due to SR treatment. This steel has enough strength and toughness in the base metal, the weld metal generated by the similar filler metal, and the weld metal by electron beam welding. These steel grades are widely applicable not only to the high speed vessel but to the welded structures as the material required corrosion resistance and high strength.

1. 緒 言

運輸省は輸送手段の効率化を目指した“モーダルシフト”を重要施策として推進中である。その一環となる大型高速船(テクノスーパーライナー：TSL)開発プロジェクト¹⁾の水中翼型船形(TSL-F)の水中翼あるいは空気圧力型船形(TSL-A)の方向舵には高強度ステン

レス鋼が使用される。TSLの開発目標は、速度50kt、積載貨物量1000t、航続距離500海里の大型船となるため¹⁾、従来の客艇用の水中翼に使用されている析出強化型のステンレス鋼では大型化する水中翼に対応することが困難になる。例えば、析出強化型ステンレス鋼では溶接後の時効熱処理が必要なため大型部材の施工性が低下す

⁽¹⁾ 技術開発本部 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部
主幹研究員 工博
⁽²⁾ 技術開発本部 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 主任研究員
(現 動力燃料事業団)
⁽³⁾ 技術開発本部 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 研究員
⁽⁴⁾ 技術開発本部 八幡技術研究部 主任研究員

⁽⁵⁾ 元 技術開発本部 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部
主任研究員 工博
⁽⁶⁾ 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員
⁽⁷⁾ 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員
(現 日鉄防食(株))
⁽⁸⁾ 八幡製鐵所 ステンレス厚板工場 掛長

ること等である。

このため、大型の溶接構造に適用可能な高強度ステンレス鋼としてオーステナイト系のYUS304N, YUS170鋼とマルテンサイト系のYUS350鋼を開発した。前者は、溶接性に優れるオーステナイト系を、Nによる固溶強化に加え制御圧延・加速冷却技術の適用により高強度化したものである。後者は、強度に優れるマルテンサイト系の靱性をNi添加により向上させ、また、低C化することにより溶接性を確保し、溶接構造ステンレス鋼としたものである。これらは高強度の溶接構造用として高速艇の外にも適用可能な鋼種である。本報告はそれぞれの開発経過と開発鋼の諸特性をまとめたものである。

2. オーステナイト系高強度ステンレス鋼

2.1 化学成分及び加工熱処理条件の最適化

オーステナイト系ステンレス鋼は靱性及び溶接性に優れるが、一般的にはマルテンサイト系ステンレス鋼に比べ耐力が低い。オーステナイト系の高強度化手法としては、結晶粒の微細化、固溶強化、析出強化、加工硬化等がある。しかしながら、結晶粒の微細化による強化法は、変態のないオーステナイト系においては加工・再結晶の利用となるため、大断面部材が要求される場合には限界がある。また、析出強化は溶接後の時効熱処理等の施工性に問題がある。一方、固溶強化に関しては侵入型固溶元素による強化が効率的であり²⁾、特にN添加はオーステナイト系ステンレス鋼においてはその溶解度が高い³⁾ことから強化手段として最適である。また、オーステナイト系は加工硬化傾向が強いため、ひずみの導入による強化も有効である。ひずみの導入は冷間が最も効率的であるが、材料強度も高くなるため大断面材の場合には変形抵抗の低い高温域で回復を抑制しつつ加工する方法が必要になる。したがって、Nにより強化した材料を加工熱処理プロセスにより更に高強度化することを検討した。

2.1.1 供試材及び実験方法

高強度化に及ぼす化学成分及び加工熱処理条件の影響を、実験室規模の溶解試料を用い、高温圧縮試験により評価した。強化の基本元素であるN量については0.05%から0.35%まで、また、高温加工後の回復抑制を目的としたNbとMo添加の効果についても調査した。供試材の化学成分の概要を表1に示す。試料は真空溶解後、熱間圧延により板厚15mmとした鋼板から採取した。高温圧縮試験は図1に示すように厚板仕上げ熱延を想定し、加工温度を1223Kとし、加

表1 化学成分の概要(mass%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	その他
SUS304系	0.02	0.5	1.0	0.025	0.001	9.0	18.0	0.05-0.25	Nb:0-0.2
SUS170系	0.02	0.5	1.0	0.028	0.001	13.5	24.5	0.35	Mo:0-1.5

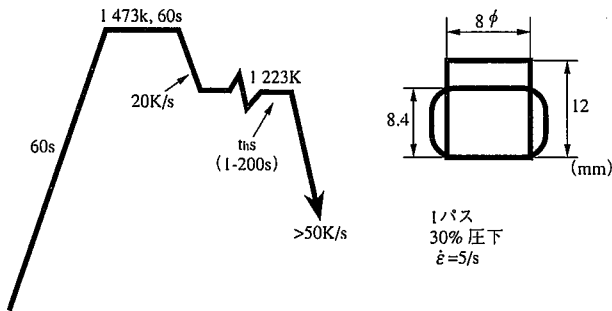


図1 高温圧縮試験条件

工後の保持時間を変化させ、硬度測定及び光学顕微鏡と電子顕微鏡による組織観察を行った。

2.1.2 試験結果及び考察

1223Kで30%の圧縮加工後の室温硬度に及ぼすN量と保持時間の影響を図2に示す。硬度はN量とともに増加し、加工後の硬度は保持時間の増加とともに減少する。この減少傾向は18%Cr-9%Ni系においてはN量に依存せず、N量が高くなっても軟化を抑制することはできない。N量の最も高い0.35%N材は軟化傾向が緩やかであるが、この試料においてはNの溶解度を増加させるためCrとNi量を高めており、その影響も考えられる。例えば、CrとNによるI-S効果⁴⁾により回復が遅れること等が考えられる。図3に18%Cr-9%Ni系の加工直後及び軟化後の硬度とN量の関係を示す。軟化後の硬度はほぼ固溶強化、また、加工直後は固溶強化+加工硬化と考えることができる。硬度のN量依存性は軟化後よりも加工直後の方が大きく、固溶強化より加工硬化のN量依存性が大きいことがうかがえる。これは、写真1に示すように、N量の増加とともに転位組織がプラ

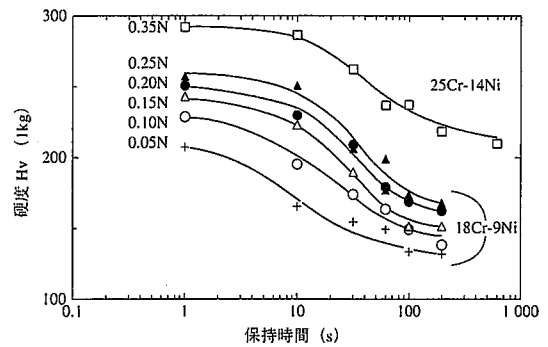


図2 圧縮加工後の硬度に及ぼす保持時間とN量の影響

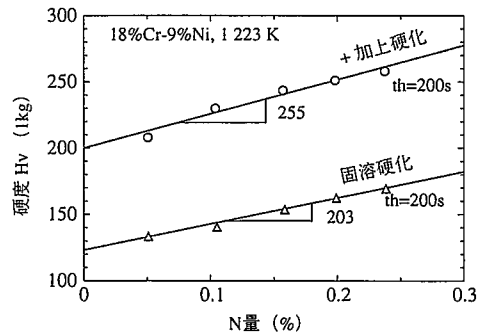


図3 圧縮加工後及び200s保持後の硬度に及ぼすN量の影響

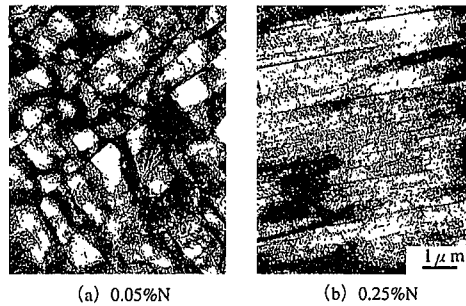


写真1 圧縮加工後の転位組織に及ぼすN量の影響

ナー配列になるためと考えられる。このようにNは効率良く加工硬化が図れる元素であるが、保持中の軟化に対する抵抗力が小さいため回復・再結晶を抑制するための元素添加が必要となる。

加工後の軟化を防止するためNb及びMoの添加を検討した。図4はN量0.1%と0.2%についてNbを0.1%添加した材料の軟化挙動を示したもので、Nb添加材では100sの保持後もほぼ加工直後の硬度を維持しておりNb添加による顕著な軟化防止効果が認められる。このようなNbの効果は、写真2に示すように微細なNbNが転位上に析出することにより、回復が抑制されるためと考えられる。一方、Moについては図5に示すように、1.5%まで添加しても軟化抑制効果は認

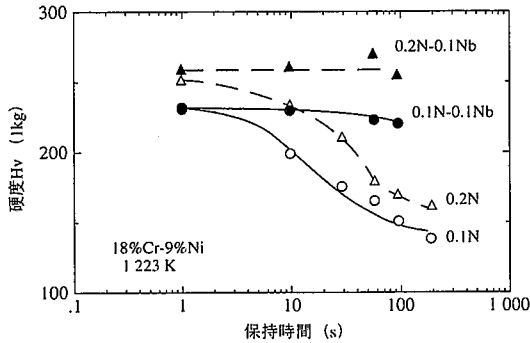


図4 圧縮加工後の軟化挙動に及ぼすNbの影響

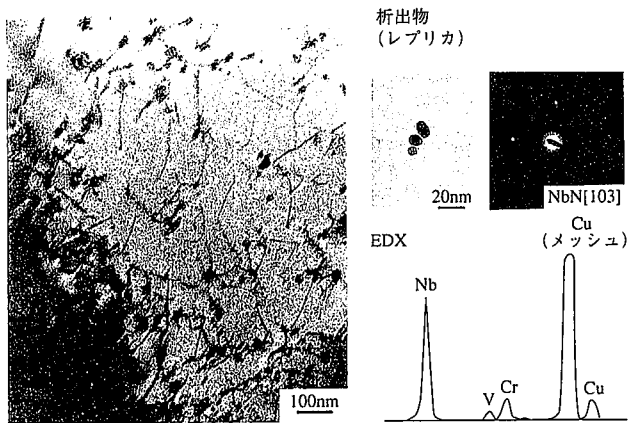


写真2 圧縮加工-200s保持後の電子顕微鏡組織(9%Ni-18%Cr-0.2%N-0.1%Nb)

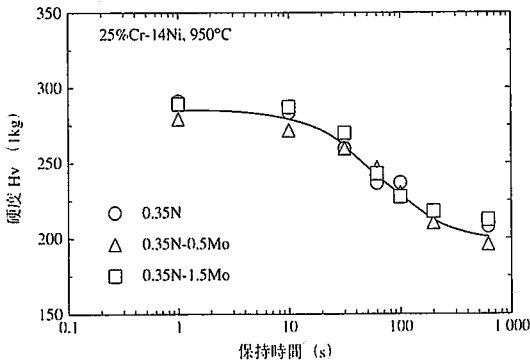


図5 圧縮加工後の軟化挙動に及ぼすMoの影響

められない。しかしながら、Moは耐孔食性を高める作用があるため海水用途には有効な元素である。

以上のように、加工熱処理による高強度化はNによる固溶強化と加工硬化の促進作用により効率よく実現でき、更に、加工熱処理後の高温保持中の軟化を防止するためNbを添加することが有効であることを明らかにした。また、Nの溶解度を増すためのCrとNiの増量も、Nbには劣るものの、軟化抑制には有効と考えられる。

2.2 Y304N, Y170鋼の特性

2.2.1 母材の特性

上記の化学成分効果についての調査結果を基に、Nb添加系としてNを0.18%含有するYUS304N鋼、高Cr-高Ni系として0.33%NのYUS170鋼を選定し、工業規模で板厚15mm及び30mmの鋼板を試作した。化学成分及び制御圧延・加速冷却条件を表2に示す。YUS304N鋼は8%Ni-18%Cr-0.2%N系にNbを0.1%、また、YUS170鋼は13%Ni-24%Cr-0.33%N系にMoを0.75%それぞれ添加したものである。

試作材の機械的性質を表3に示す。YUS304Nでは600MPa以上、YUS170では700MPa以上の高耐力を示し、また十分な延性も確保されている。0°Cにおけるシャルピー衝撃吸収エネルギーは両鋼種とも高い値を示している。なお、衝撃吸収エネルギーはYUS170に比べYUS304Nの方がやや低めであり、NbNの析出の影響がうかがえる。

制御圧延・加速冷却で懸念される均質性については、図6に示すように両鋼種ともに板厚方向の硬度変化は小さく、均質性は十分に確保されている。

水中翼用として重要な材質特性となる疲労特性を大気中と25°Cの3.5%食塩水中で評価した。試験片は平行部の直径が8mmと10mmの丸棒試験片で、いずれも平行部長さは40mmとしたもので、10ton油圧サーボ試験機を用い、応力比0.1の軸力疲労試験を行った。繰返し

表2 現場試作材の化学成分(mass%)及び製造条件

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	その他
SUS304N	0.06	0.65	0.88	0.028	0.001	7.82	19.28	0.18	Nb: 0.10
SUS170	0.02	1.04	0.63	0.029	0.001	12.92	24.42	0.33	Mo: 0.75

[板厚: 15, 30mm, 圧延仕上温度: 1210~1220K, 最終圧下: 20~30%, 冷却速度>20K/s]

表3 現場試作材の機械的性質

鋼種	板厚(mm)	0.2%耐力(MPa)	引張強さ(MPa)	伸び(%)	シャルピー吸収エネルギー-vE ₀ (J)
YUS304N	15	657	858	38	—
	30	627	836	43	190
YUS170	15	847	1026	26	—
	30	759	957	33	280

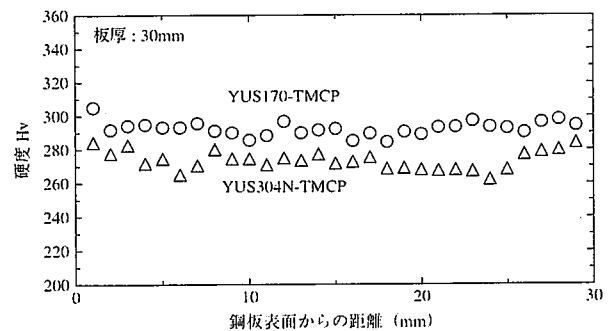


図6 現場試作材の板厚方向の硬度分布

速度は大気中試験では10Hz, 食塩水中試験では0.5Hzとした。腐食疲労試験においては試験片平行部を食塩水中に浸漬し, 食塩水を浸漬槽と貯蔵槽間(大気開放)で循環させた。図7は一連の疲労試験から求めた疲労強度を耐力との関係としてまとめたものである。疲労

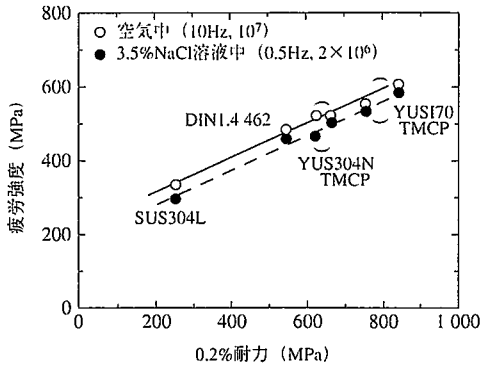


図7 大気中及び食塩水中の疲労強度と耐力の関係

強度と耐力の間には相関があり, 高耐力化に伴い大気中及び食塩水中の疲労強度は増加している。一方, 大気中に比べ食塩水中の疲労強度は低めであるが, その差はわずかであり, 高強度化により確実に腐食疲労強度の向上が図れている。YUS304N鋼, YUS170鋼いずれの腐食疲労試験片にも孔食等の腐食現象は認められず, また, 破面には明瞭なストライエーションが観察される。このような破面形態は大気中と同じであり, 両鋼種とも今回の腐食環境の影響を受け難いことがうかがえる。

2.2.2 溶接部の特性

YUS170鋼の板厚30mmの鋼板をTIG溶接及び被覆アーク溶接により突き合わせ継手を作製した。供試材の化学成分と機械的性質は表2及び表3に示したものである。鋼板の圧延方向に平行方向に開先加工し, 表4に示す条件にてTIG及び被覆アーク溶接を実施した。各溶接継手から溶接線に直行方向に, 引張試験片及び疲労試験片を板厚の中心部から採取した。両試験片とも平行部直径10mmの丸棒試験片である。大気中及び食塩水中で, 先に述べた母材の場合と同一条件で疲労試験を実施した。

溶接継手の各位置における硬度分布をTIG溶接について図8に示す。表層部は溶接金属部と熱影響部の硬度が低めであるが, 表裏面から10mmの位置においてはほぼ一様な硬度分布である。また, 板厚の

表4 溶接開先形状と溶接条件

	TIG溶接	被覆アーク溶接
開先形状		
溶接条件	溶接棒: Ⓢ-170 電流: 260 A 電圧: 11V 溶接速度: 9~10cm/min パス数: 表8層+裏8層 パス間温度: 100℃ 予熱なし	溶接棒: Ⓢ-170 電流: 140 A 電圧: 23V 溶接速度: 11~12cm/min パス数: 表12層+裏9層 パス間温度: 100℃ 予熱なし

中心部では溶接金属部の硬度が高めである。硬度分布の測定結果から, 熱影響による軟化は表層部にわずかに認められるのみであり, 加工熱処理工程による強化は溶接後も確保されているといえる。

溶接継手の引張試験結果を表5に示す。溶接熱影響による鋼板の軟化が懸念されたが, 破断位置はすべて溶接金属部であった。また, 表3に示した母材の結果に比べ耐力及び引張強度は低くめであるものの, その差は小さいことから, 熱影響による軟化程度は小さいことが分かる。

TIG溶接継手の大気中及び食塩水中の疲労試験結果を図9に示す。溶接継手の破断繰返し数は母材よりも減少し, 疲労強度も低くなる。低サイクル側で食塩水中の破断繰返し数が大気中よりやや短い。疲労強度にはほとんど差は認められない。なお, 被覆アーク溶接においてはTIG溶接よりも低めの疲労強度となる。食塩水中の疲労試験片の平行部表面には孔食等の腐食は観察されず, また, ストライエーションを伴った破面形態であり大気中との差はない。

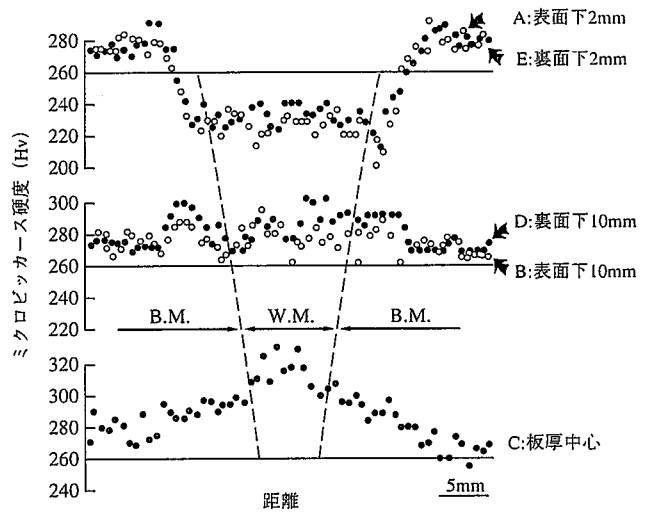


図8 溶接部の硬度分布

表5 溶接継手の引張試験結果

溶接方法	0.2%耐力	引張強さ	伸び	絞り	破断位置
TIG	748MPa	927MPa	26%	52%	溶接金属
被覆アーク	693MPa	879MPa	18%	52%	溶接金属

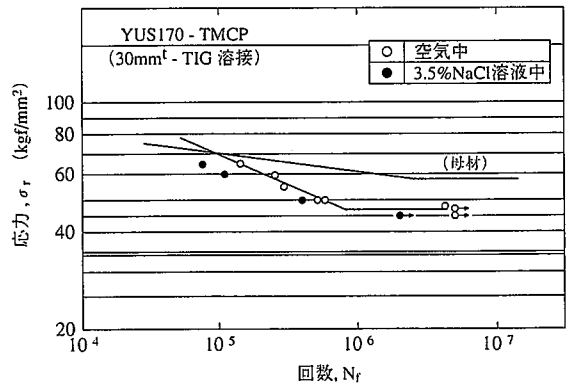


図9 溶接継手の大気中及び食塩水中の疲労特性

3. マルテンサイト系高強度ステンレス鋼

3.1 化学成分の最適化

マルテンサイト系ステンレス鋼は容易に高強度を得ることができるが、一般的には溶接性あるいは韌性に劣る。これらの点については、溶接性(冷間割れ感受性)はCとN量の低減により改善でき⁵⁾、韌性はNiの添加により向上させることができることが知られている。また、マルテンサイト系は δ フェライトが生成すると韌性が低下するため組織の制御にも留意する必要がある、更にはオーステナイト系に比べ切り欠き感受性が高いため非金属介在物の制御も重要である。マルテンサイト系ステンレス鋼の溶接においては遅れ破壊の防止を目的に残留応力を除去するため後熱処理(SR処理)が施されるため、この処理による強度低下あるいは韌性劣化等のための対策も必要となる。

3.1.1 供試材及び実験方法

溶接構造用を前提とするため、低C-低N系を基本に、主要元素であるCrとNi量、耐食性の点からMo添加、及び焼戻し軟化防止のためNbとTi添加を検討した。すなわち、供試材はCとN量をいずれも0.01%程度に固定し、Cr, Ni, Mo, Nb, Tiを変化させたもので、その化学成分の概要を表6に示す。試料は真空溶解後、熱間圧延により板厚12mmとし、1000℃で1時間加熱・空冷による焼入れ処理を施したものである。また、焼戻し特性を500℃~800℃で1時間加熱・空冷処理により調査した。これらの鋼板の板厚中心部から圧延方向に直角に、引張試験片(JIS14号:5mm ϕ ×25mmGL)、シャルピー試験片(JIS4号:2mmVノッチ)を採取した。また、光学顕微鏡による組織観察、硬度測定、フォーマスターによる変態点測定、及び振動磁気力による残留オーステナイト量測定も実施した。

表 6 化学成分の概要(mass%)

Cr	Ni	Mo	Nb	Ti
8.7~16.9	0.1~7.2	0~6.0	0~0.20	0~0.28

3.1.2 試験結果及び考察

1000℃焼入れ状態における金属組織を光学顕微鏡観察、変態点測定により調査した結果を図10に示す。この図から完全マルテンサイト組織とするためには、6%Ni当量の場合には16%以下のCr当量が必要であることが分かる。機械的性質についての調査から、マルテンサイト領域では0.2%耐力で700MPa以上、引張強さは900MPa以上が確保でき、またNiは韌性を著しく向上させ5%程度の添加で破面遷移温度が-50℃以下にまで改善されることを確認した。したがっ

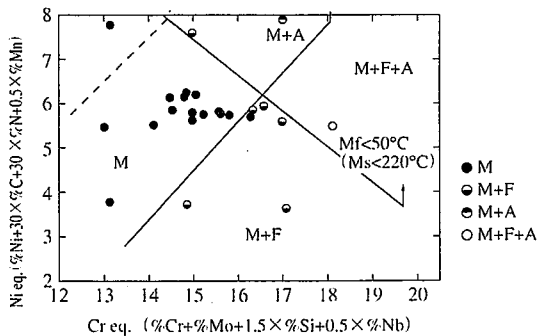


図 10 1000℃焼入れ状態の金属組織

て、耐食性、強度、韌性の点から基本成分系として15%Cr-5%Ni系を選定した。

15%Cr-5%Niの基本成分系のままでは焼戻し処理により軟化し、600℃では焼入れ状態の約80%にまで硬度が低下する。このため、NbあるいはTi添加による軟化防止について検討し、Nbは軟化防止効果が顕著で0.1%の添加で600℃焼戻しにおいても焼入れ時の硬度が確保できることを確認した。一方、Tiは500℃焼戻しまでの軟化防止には有効であるが、600℃での軟化を防ぐことはできない。このように焼戻し軟化の防止にNbは有効であるが、図11に示すようにNb添加により焼戻し後の韌性が大幅に低下する。これに対してはMoの添加が有効であり、Nb添加系の焼戻し後の韌性に及ぼすMoの影響を示した図12から明らかのように、1%程度のMo添加により韌性を回復することができる。

以上の化学成分の効果に関する調査結果を基に、Cr-Ni系にMoとNbを添加した高強度・溶接構造用マルテンサイト系ステンレス鋼(XM350)として表7に示す成分系を抽出した。

3.2 YUS350鋼の特性

3.2.1 母材特性

標記化学成分のYUS350鋼を50t電気炉で溶解し、VOD精錬・厚板圧延工程により板厚20mmと200mmの鋼板を試作した。なお、非金

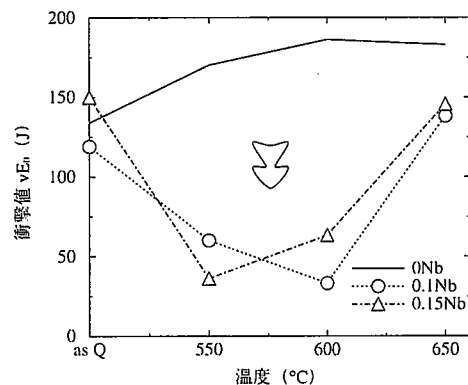


図 11 焼戻し後の韌性に及ぼすNb添加の影響

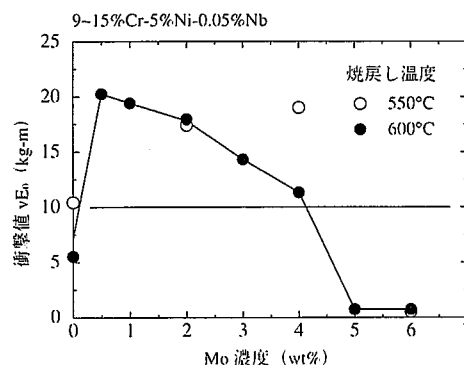


図 12 Nb添加系の焼戻し後韌性に及ぼすMo量の影響

表 7 溶接構造用マルテンサイト系ステンレス鋼の候補成分(mass%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb
YUS350	0.01	0.3	0.5	0.015	0.002	5.4	13.2	1.0	0.1
JISF6NM	<0.5	<0.6	0.5-1.0	<0.03	<0.03	24.5	3.5-5.5	0.5-1.0	-

属介在物を微細化するため精錬工程ではCa添加を実施している。製品の焼入れ・焼戻し後の機械的性質は表8に示すように、板厚20mm材においては900MPa以上の耐力、20%以上の破断伸び、0℃で250J/cm²以上のシャルピー値が得られており、また、これらの特性の異方性も小さい。板厚200mm材も、圧延方向に平行(L)及び直角(C)方向に関しては、ほぼ同様の機械的性質を有する。なお、板厚方向(Z)については、強度は同程度であるが、破断延性及び靱性がやや低めである。しかしながら、0℃で100J/cm²以上のシャルピー値が確保されており実用上の問題はない。

板厚20mm材について大気中での軸力疲労試験結果を図13に示す。疲労強度はSUS630クラスであり、また、実験室規模の真空溶解材の疲労強度が再現されている。

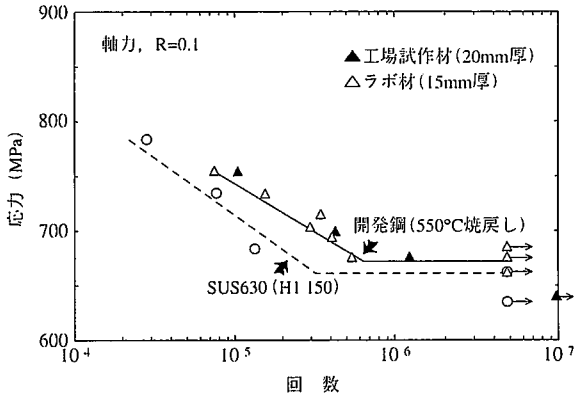


図13 YUS350鋼の大気中・疲労特性

3.2.2 溶接部特性

(1) TIG溶接

YUS350用のTIG溶接材料として、強度を確保するためCとN量を母材より高め、残留オーステナイトの導入により降伏比を低下させた成分系を開発した。この溶接材料により板厚20mmの鋼板をTIG溶接し溶接部の機械的性質を調査した。表9に溶接金属及び溶接継手の引張試験結果を示す。溶接金属は後熱処理の有無にかかわらず母材より高い強度を示し、破断延性は母材と同等である。継手試験においてはいずれも母材破断であり、溶接部の健全性が確認された。溶接部の各位置におけるシャルピー衝撃試験結果を表10に示す。母材よりはわずかに低めであるが、溶接金属から熱影響部にかけていずれも200Jを上回る吸収エネルギーであり、十分な靱性が確保されている。

この溶接材料による低温割れ感受性を斜めY型溶接割れ試験により評価した。予熱温度を50℃及び予熱無しの場合で溶接し48時間後に溶接部を切断し割れを調査し、予熱無しでも割れは検出されず、極めて耐低温割れ性が良好であることを確認した。

表11 電子ビーム溶接条件

溶接出力	150kV-150mA
溶接速度	50cm/min
周波数	1 000Hz
偏向	X方向-5°
Working distance	700mm
焦点距離	470mm
全パス数	11パス
冷却	炉冷(350℃まで5min)

表8 現場製造材の機械的性質

板厚 (mm)	熱処理	方向	位置	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	20℃衝撃値 (J/cm ²)	0℃衝撃値 (J/cm ²)
20	950℃, 1h 空冷 +	L	1/4t	908	1 031	22	71	278	270
			1/2t	-	-	-	-	276	269
	520℃, 1h 空冷	C	1/4t	917	1 039	23	72	271	281
			1/2t	-	-	-	-	268	275
200	950℃, 5h 空冷 +	L	1/4t	935	1 036	20	62	250	261
			1/2t	927	1 036	20	56	270	264
		C	1/4t	938	1 032	20	61	274	273
			1/2t	917	1 023	20	55	255	255
	530℃, 5h 空冷	Z	全厚	925	1 021	16	41	-	-
			1/4t	-	-	-	-	132	106
1/2t	-	-	-	-	-	150	125		

表9 TIG溶接部の引張試験結果

	後熱処理	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	破断位置
溶接金属	なし	1 034	1 093	24	74	-
	530℃, 1h	1 083	1 085	26	75	-
溶接継手	なし	963	1 036	20	76	母材
	530℃, 1h	999	1 040	20	77	母材

表10 TIG溶接部の0℃シャルピー吸収エネルギー (J)

後熱処理	溶接金属部	ボンド部	熱影響部(1mm)	熱影響部(3mm)
なし	218, 206, 231	243, 248, 229	235, 231, 232	242, 231, 235
530℃, 1h	221, 210, 213	244, 251, 245	242, 247, 242	239, 239, 251

(2)電子ビーム溶接

脱磁した板厚20mmのYUS350鋼板を表11に示す条件で多パス電子ビーム法により溶接した。溶接金属の引張及びシャルピー衝撃特性を表12に示す。溶接まま材の0.2%耐力と引張強さは母材より低めであるが、SR処理後ではほぼ母材と同等の値となる。シャルピー衝撃吸収エネルギーはSR処理材の方がわずかに変動が大きいが、いずれも100J以上であり、問題はない。

分な特性を示す。

YUS350鋼は、強度に優れるマルテンサイト系の韌性をNi添加により向上させ、また、低C化することにより溶接性を確保し、更に、溶接後のSR処理による材質劣化を防止するためNbとMoを添加した鋼種である。本鋼は母材及び共金系の溶接材料による溶接金属、更には電子ビーム溶接による溶接金属、いずれにおいても十分な強度・韌性を示し、溶接構造用としての適用性を有する。

表 12 電子ビーム溶接金属の機械的性質

後熟処理	0.2%耐力(MPa)	引張強さ(MPa)	伸び(%)	絞り(%)	0℃吸収エネルギー(J)
なし	821	950	20	70	132, 144, 145
530℃,1h	908	1 017	24	67	137, 147, 104

4. 結 言

運輸省の主管する大型高速船(テクノスーパーライナー：TSL)開発プロジェクトの水中翼あるいは方向舵に使用される高強度ステンレス鋼として、オーステナイト系のYUS304N, YUS170鋼とマルテンサイト系のYUS350鋼を開発した。

YUS304N鋼とYUS170鋼は、韌性と溶接性に優れるオーステナイト系をNによる固溶強化に加え制御圧延・加速冷却技術の適用により高強度化したものである。いずれの鋼種も高強度、高韌性であり、かつ食塩水中の疲労試験においても大気中と遜色ない疲労強度を有する。また、共金系の溶接材料によるTIG溶接においても十

これらの鋼種は大型高速船の水中部材用として開発したものであるが、耐食性のある高強度の溶接構造用として高速船以外にも広く適用可能な鋼種である。

参照文献

- 1) TSL技術研究組合：日本造船学会誌. 785, p.5(1994)
- 2) Irvin, K.J. et al. : JISI. 199. p.153(1961)
- 3) Deighton, M. : JISI. 208, p.1012(1970)
- 4) 柴田 ほか：鉄と鋼. 73, p.1178(1987)
- 5) 安保秀雄 ほか：製鉄研究. 292, p.21(1977)