

JWES-1S-6601

9%Ni 鋼の溶接・加工に関する共同研究

昭和41年8月11日

社団法人 日本溶接協会
鉄鋼部会 9N委員会
化学機械溶接研究委員会

目 次

序	1
委員会構成委員名簿	4
取まとめ委員名簿	6
試験分担および供試鋼一覧表	8
I. 母材の特性	14
I - A. 規 格	14
I - B. 材 質	20
1. 化学成分	25
2. 引張試験	26
3. 衝撃試験	29
4. 低温引張試験	32
5. 母材 <i>N R L</i> 落重試験	33
6. 大型脆性破壊試験	34
7. 歪時効試験結果	39
8. 物理的性質	43
I - C. 熱処理の影響	44
1. 熱処理条件の影響	44
2. 熱処理による母材の機械的性質の比較	46
I - D. 冶金学的検討	52
1. 母材の熱処理に伴なり冶金学的因子の低温衝撃特性 に及ぼす影響	52
2. 9% Ni 鋼の靱性を支配する因子の検討	80
3. 液体窒素中長時間保持による靱性の变化について	100

II. 溶接棒の特性	107
II-A. 各種溶接棒の性質比較	107
1. 緒言	107
2. 溶着金属の化学成分	108
3. 溶着金属の物理的性質	109
4. 結言	111
II-B. 熱処理後の溶着金属	112
1. 緒言	112
2. 試験方法	112
3. 試験結果	113
4. 結言	120
III. 加工時の特性	121
III-A. ガス切断	121
1. ガス切断熱影響部の硬さ測定試験	121
2. ガス切断熱影響部の衝撃試験	122
III-B. 成型加工	125
1. はしがき	125
2. 冷間加工度と諸性質の関係	125
3. 高温加工および爾後の熱処理による機械的性質の変化	133
III-C. 加工後熱処理	141
1. まえがき	141
2. 実験方法	142
3. 実験結果	143
4. 結言	149

IV. 被覆アーク溶接の特性	151
IV-A. 溶接割れ	151
1. 割れ試験	151
a. まえがき	151
b. 供試材料	151
c. 実験の種類	152
d. 実験A (スリット型割れ試験)の結果	153
e. 実験B (C型治具拘束突合せ溶接割れ試験)の結果	155
f. 実験C (すみ肉溶接割れ試験)の結果	162
g. 実験D (完全拘束溶接割れ試験)の結果	170
h. RRC試験結果とスリット型およびC型治具拘束 割れ試験結果との比較	188
i. 9% Ni鋼と他の鋼材(軟鋼および高張力鋼)と の割れ感受性の比較	190
j. 総括	191
2. 溶接部の高温延性	194
IV-B. ボンドの性質(再現試験)	201
1. まえがき	201
2. 溶接熱影響部の変態特性	201
3. 溶接熱影響部組織の後熱処理による変化	207
4. 溶接熱影響部の組織におよぼす拘束の影響	207
5. 単一熱サイクルを受けた溶接熱影響部の機械的性質 と後熱処理による変化	210
6. 多重熱サイクルを受けた溶接熱影響部の組織変化と 機械的性質	218
7. 再現熱影響部と溶接継手熱影響部の切欠じん性の比較	222

8. 溶接熱影響部の水素ぜい化特性	2 2 4
9. まとめ	2 3 0
IV - C. 溶接継手の性質	2 3 5
1. 硬さ分布	2 3 5
a. 最高硬さ試験	2 3 7
b. 溶接継手の硬さ分布	2 4 1
c. まとめ	2 4 2
2. 応力除去	2 4 2
a. H型拘束溶接試験片による実験	2 4 2
b. 平板溶接試験片による実験	2 4 3
c. まとめ	2 4 7
3. 静的強さ	2 4 7
a. 常温静的強さ	2 4 7
b. 低温引張強さ	2 5 2
c. まとめ	2 5 6
4. 疲れ強さ	2 5 7
a. 内 容	2 5 7
i) 疲れ限度付近を対象とした疲れ試験	2 5 7
ii) 高応力低サイクル疲れ試験	2 6 0
iii) 低サイクル腐食疲れ試験	2 6 1
b. 結 果	2 6 2
i) 疲れ限度付近を対象とした疲れ試験結果	2 6 2
ii) 高応力低サイクル疲労試験結果	2 6 4
iii) 低サイクル腐食疲れ試験結果	2 6 8
C. 考 察	2 7 0

i) 疲れ限度を対象とした疲れ試験結果の考慮	270
ii) 高応力低サイクル疲れ試験結果の考慮	274
iii) 低サイクル腐食疲れ試験結果の考慮	275
d. 結 言	277
5. シャルピー試験	278
a. 溶接継手熱影響部の衝撃試験	278
b. 各種溶接継手のボンドの衝撃特性	284
c. 異材継手の衝撃特性	294
d. 溶込率と吸収エネルギーとの関係	296
e. 結 論	298
6. 切欠付大型引張試験	299
a. 切欠付広巾溶接継手引張試験	299
i) まえがき	299
ii) 試験方法	299
iii) 試験結果	301
b. 溶接継手 <i>Deep Notch Test</i>	307
7. 応力腐食割れ試験	308
a. まえがき	308
b. 実験方法	309
c. 42% $MgCl_2$ 沸騰水溶液での結果および 考察	314
d. 0.5% 酢酸 + H_2S 水溶液での結果および 考察	318
e. 総 括	336
V. 自動溶接の特性	339

V-A. サブマージアーク溶接	339
V-B. MIG溶接	347
V-C. 電子ビーム溶接	353
V-D. むすび	358
VI. 非破壊検査法に関する実験（非破壊検査の適用性の検討）	360
1. 緒言	360
2. 供試材	360
3. 試験方法	360
4. 適用性試験	362
5. 試験結果の考察	367
委員会の活動経過	368

序

石油化学を中心とした最近の化学工業の発達に伴ない、つぎのエネルギー源としての液化ガスの利用が大きくクローズアップされ、また製鉄所における製鋼に使用する液体酸素や化学工業における液体窒素などを自家供給する動きが見られる。

従来、低温用材料としては、 -60°C までは2.5%Ni鋼、 -100°C までは3.5%Ni鋼が使用されており、それ以下の温度になるとオーステナイト系ステンレス鋼、あるいはアルミニウム、銅などの非鉄金属材料が使用されていた。これらに代るものとしてフェライト系9%Ni鋼が開発され、欧米ではすでに実用の域に達している。

本鋼材は70Kg/mm²級の高張力鋼に相当し、 -196°C における低温靱性もすぐれている。これらのすぐれた性質は調質処理によって得られたものである。経済性の面からはオーステナイト系ステンレス鋼よりも勝っており、また高張力鋼であるという特性は装置の軽量化、使用鋼材料を少なくする上で有利である。また、フェライト系の調質型高張力鋼であるので、従来からの低合金高張力鋼ですぐれた技術が採用できるという面もある。アルミニウム等の非鉄金属材料の使用は製造上の制約で厚肉広巾の材料の入手困難などの理由により小型の容器に限られるようである。こういった観点より日本溶接協会機械部会、化学機械溶接研究委員会では、昭和38年頃より9%Ni鋼に深い関心を寄せ、9%Ni鋼の特性、あるいは溶接性についての研究発表を行なって検討を加えてきたが、わが国独自の立場から本鋼材についての特性を調べ、その施工条件を確立するために、昭和39年に9%Ni鋼を共同研究のテーマとして取り上げ、「9%Ni鋼の溶接加工に関する共同研究」を始めた。一方、鉄鋼部会技術委員会でも、本鋼材の重要性に鑑みて、研究テーマとして取り上げ、昭和39年10月に化学

機械溶接研究委員会、鉄鋼部会技術委員会が共同して9%Ni鋼小委員会(9N委員会)を設け、本研究を進めて今日に至った。その成果をまとめたのが本報告書であり、つぎの6章より成り立っている。

- I 母材の特性
- II 溶接棒の特性
- III 加工時の特性
- IV 被覆アーク溶接の特性
- V 自動溶接の特性
- VI 非破壊検査の適用性に関する研究

本研究を進める上での問題点は大別すると、つぎの諸点である。

- (1) 9%Ni鋼は製造時の熱処理条件によってQT材、NNT材、NT材の3種類がある。これまでの外国の実験ではNNT材が一番多いが、その特性について再検討を加え、それらの相違を明らかにした。
- (2) 9%Niのすぐれた性質特性は調質によって得られたものであるが、その特性は熱処理時の温度、保持時間、冷却条件などで微妙に変化する。この点についての検討を加え、また極低温における組織の安定性についても調査した。
- (3) 溶接棒はこれまでINCONEL系のもので使用されていたが、共金系のもを含めてもっと合金成分の低いものを試作研究し、より安価ですぐれた特性の溶接棒の開発を試みた。
- (4) 従来溶接熱影響部の靱性の変化が問題となっているが、9%Ni鋼では一般に溶接棒が母材と異なるため異種材溶接という観点からも、とくにボンド部の特性に重点をおいて検討を加えた。

本報告書は基礎研究の成果であって、9%Ni鋼を取り扱う人々にとって、一つの指針となれば幸甚である。さらに、今後の問題として施工方法の確立、製作された構造物の保証試験の検討の問題などがあり、9%Ni鋼小委員会では、別途に9N基準小委員会を設けて検討を続けて

おり、その成果が期待される。

本研究を進めるに当って御高配を賜った関係各位、また実験取りまとめを担当して載いた方々に感謝致します。

昭和 4 1 年 8 月 1 1 日

鉄鋼部会技術委員会 9 N 委員会

化学機械溶接研究委員会

委員長 渡 辺 正 紀

(社)日本溶接協会・鉄鋼部会・9N委員会・構成委員名簿

(順不同)

主	査	大阪大学工学部溶接工学教室	渡	辺	正	紀
副	主	査	金属材料技術研究所溶接研究部	稲	垣	道
		〃	(株)藤永田造船所研究部	河	村	敏
				(浜	田	晋
				作)		
幹	事	大阪大学工学部溶接工学教室	広	瀬	貞	雄
		金属材料技術研究所溶接研究部	中	村	治	方
		八幡製鉄(株)技術開発部	永	田	泰	郎
		〃		町	田	哲
		〃		一		
		日立造船(株)技術研究所	国	広	敏	之
			(永	井		明)
		三菱製鋼(株)技術部	妹	尾		卓
		八幡溶接棒(株)研究部	鈴	木	丈	夫
		(株)神戸製鋼所溶接棒事業部	叶	野	元	巳
			(杉	山		暢)
		住友金属工業(株)和歌山製鉄所	長	谷	部	茂
			雄			
委	員	東京大学工学部船舶工学科	金	沢		武
		早稻田大学理工学部金属工学教室	長	谷	川	正
			義			
		東京工業大学工学部生産機械工学科	石	井	勇	五
		大阪大学工学部溶接工学教室	佐	藤	邦	彦
			(松	井	繁	朋)
			(向	井	喜	彦)
		横浜国立大学工学部造船工学科	板	垣		浩

委員	船舶技術研究所溶接工作部	小倉信和
	〃 船体構造部	飯田国広
	〃 溶接工作部	田村博
	〃 船体構造部	池田一夫
	金属材料技術研究所溶接研究部	松田福久
	鉄道技術研究所溶接研究室	太田省三郎
	(財)日本海事協会技術研究所	阿部三郎
	(財)日本海事協会	賀来信一
	石川島播磨重工業(株)技術研究所	山崎康久
		(真子幸夫)
	川崎製鉄(株)技術研究所	今井光雄
	〃 技術開発部	塚本睦也
		(青木真一)
	〃 千葉研究部	神崎文暁
		(坪井潤一郎)
	川崎重工業(株)機械事業部	須沢良一
	(株)呉造船所新宮工場	由利健一
		(原田幸一)
	千代田化工建設(株)溶接課	森島克巳
	日本鋼管(株)技術部	羽鳥幸男
	(株)日本製鋼所技術部	野村純一
		(石坂善郎)
	日本ステンレス(株)直江津製造所	今井彦太郎
	日本ウエルディングロッド(株)	手塚敬三
		(足立正博)
	(株)日立製作所笠戸工場	小材英敏

委員	日本鋼管(株)鶴見造船所	中田充則
	(株)新潟鉄工所横浜工場	池上宏平
	富士製鉄(株)中央研究所	矢竹丘
		(酒井利一)
	富士溶接棒(株)生産技術管理部	久保田全俊
		(柳館久吉)
	舞鶴重工業(株)舞鶴造船所	中村好雄
	三菱製鋼(株)長崎製鋼所	渋谷勝美
	三菱重工業(株)三原製作所	栗原秀夫
		(立石精)
	八幡製鉄(株)技術研究所	牟田徹

報告書取纏め委員

	大阪大学工学部溶接工学教室	渡辺正紀
	〃 〃	向井喜彦
	〃 〃	松井繁朋
	〃 〃	広瀬貞雄
	金属材料技術研究所溶接研究室	稲垣道夫
	〃 〃	中村治方
	船舶技術研究所溶接工作部	小倉信和
	〃 〃	田村博
	〃 船体構造部	池田一夫
	(財)日本海事協会技術研究所	阿部三郎
	八幡製鉄(株)技術開発部	永田泰郎
	〃 〃	町田哲一
	(株)日本製鋼所技術部	石坂善郎

報告書取纏め委員

富士製鉄㈱中央研究所	酒 井 利 一
石川島播磨重工業㈱技術研究所	真 子 幸 夫
八幡溶接棒㈱研究部	鈴 木 丈 夫
富士溶接棒㈱技術部	柳 館 久 吉
㈱神戸製鋼所溶接棒事業部	杉 山 暢
㈱藤永田造船所研究部	浜 田 晋 作
日立造船㈱技術研究所	永 井 明

試験分担および供試鋼一覧表(その1)

区 分	研究課題	研究事項	試験項目	試験担当	
I 加工に関する実験	A ガス切断に関する事項	1) 切断条件の確立に関する実験	a) 切断条件	舞鶴重工	
		2) 切断辺の諸性質の変化、物性の検討試験	a) 切断面の硬さ測定(I)	石川島播磨	
			b) 切断面の硬さ測定(II)	舞鶴重工	
	3) 加工性におよぼすガス切断の影響に関する実験	a) 切断面の曲げ試験	舞鶴重工		
	B 成形加工	a 冷間加工	1) 加工度と諸性質の関係	a) 予歪による脆化(I)	日立造船
				b) 予歪による脆化(II)	日本製鋼
				c) 歪時効	呉造船
		2) 応力除去による効果検討および応力除去条件の確立	a) 応力除去(I)	日立造船	
			b) 応力除去(II)	日本製鋼	
			b 熱間加工	1) 熱間加工における加熱条件の確立	a) 熱間加工(300~800℃)
	b) 熱間加工(850~950℃)	日本製鋼			
	2) 熱間加工における加熱雰囲気の影響に関する実験	a) 加熱雰囲気		日本製鋼	
A 予熱の要否および予熱温度条件に関する検討		1) 予熱の有無および予熱温度の差による熱影響部最高硬度測定		a) 最高硬さ(I)	石川島播磨
	b) 最高硬さ(II)		藤永田		
	2) 予熱の有無による冷間溶接割れに関する検討	a) y型スリット割れ試験(I)	日立造船		
		b) y型スリット割れ試験(II)	千代田化工		
II アーク溶接に関する研究	B 熱処理条件に関する研究	1) As-WeldとS.R. 温度条件による物性検討	a) 継手部の靱性と曲げ延性	日立造船	
			b) 耐衝撃性	川崎重工	
			c) 熱処理による材質変化	三菱三原	
			d) 熱処理による溶着鋼の機械的性質の変化	神戸製鋼	
			e) 熱処理温度	大阪大学	
		2) 残留応力と応力除去効果の調査	a) 応力付加状態での耐衝撃性	川崎重工	
			b) H型試験による方法	三菱三原	
			c) 開放型試験	日立造船	

資料番号	銅種符号 板厚 (mm) 熱処理	FA1	FC	FD1	FD2	FE2	NA	KA	KB	SA	SB	SC	MA	YB	YD	YE	YF
		13	12	13	13	20	25	12	12	13.5	20	20	12	16	20	20	20
		NT	QT	NNT	QT	QT	QT	NT	QT	NNT	NNT	QT	QT	QT	QT	QT	QT
※																	
9N-35-65																	○
※																	
※																	
9N-31-65																	
9N-56-65									○								
9N-19-65												○					
9N-33-65						○											
9N-31-65									○								
9N-19-65												○					
9N-16-66						○											
9N-19-65												○					
9N-26-65												○					
※																	
9N-35-65																	○
9N-30-65									○					○			
9N-31-65																	
9N-56-65																	○
9N-37-65																	
9N-56-65																	○
9N-3-66												○					
9N-38-65						○								○			
9N-18-66									○								
9N-40-65						○											
9N-4-66						○											
9N-55-65												○					
9N-3'-66																	
9N-38-65						○								○			
9N-31-65																	○
9N-56-65																	○

試験分担および供試鋼一覧表(その2)

区分	研究課題	研究事項	試験項目	試験担当		
II・アーク溶接に関する研究	C. ボンド部の特性に関する試験	1) 溶接条件とボンド部の組織に関する検討 ボンド部の不連続組織が機械的性質に及ぼす影響	a) 微量成分と機械的性質	早稲田大学		
			b) CCT試験(I)	三菱三原		
			c) CCT試験(II)	金材研		
			d) 再現熱サイクルの機械的性質(I)	日本製鋼		
			e) 再現熱サイクルの機械的性質(II)	富士製鉄		
			f) 継手の機械的試験(I)	石川島播磨		
			g) 継手の機械的試験(II)	呉造船		
			h) 継手の機械的試験(III)	鉄道技研		
			i) HAZの衝撃試験	石川島播磨		
			j) 継手の低サイクル疲労試験(大気中)	海事協会		
			k) 継手の低サイクル疲労試験(腐食環境)	横浜国大		
			l) HAZ広巾引張試験	船舶技研		
			m) 組織と機械的性質(I)	藤永田		
			n) 組織と機械的性質(II)	大阪大学		
			o) 組織と機械的性質(III)	富士溶接棒		
			p) 水素による遅れ破壊	金材研		
			D. 溶接高温割れに関する実験	1) 溶接高温割れの発生条件の検討と溶接棒品種の比較調査	a) 溶接高温割れ(I)	富士溶接棒
					b) 溶接高温割れ(II)	神戸製鋼
					c) 溶接高温割れ(III)	川崎製鉄
	d) 溶接高温割れ(IV)	日本ウエルディング				
e) 溶接高温割れ(V)	八幡溶接棒					

見開き	鋼種符号 板厚 (mm) 熱処理	FA1	FC	FD1	FD2	FE2	NA	KA	KB	SA	SB	SC	MA	YB	YD	YE	YF
		13	12	13	13	20	25	12	12	13.5	20	20	12	16	20	20	20
		資料番号	NT	QT	NNT	QT	QT	QT	NT	QT	NNT	NNT	QT	QT	QT	QT	QT
	9N-51-65		○														
	9N-15-66																
	9N-20-65												○				
二	9N-39-65		○														
	9N- 5-66																
	9N-19-65										○						
	9N-54-65				○	○											
	9N-35-65														○		
	9N-61-65	○															
	9N-43-65		○														
	9N-52-65																
	9N-35-65														○		
	9N-41-65		○														
	9N-53-65																
	9N- 7-66																
	9N-64-65		○														
	9N-19-66																
	9N-48-65															○	
	9N-62-65																
	9N-11-66																
	9N-30-65							○					○				
	9N-40-65						○										
	9N- 4-66																
	9N-4'-66																
	9N-46-65							○									
	9N- 6-66		○														
	9N-46-65			○													
	9N-17-66							○									
	9N-18-65																
	9N-58-65								○								
	9N-29-65												○				

試験分担および供試鋼一覧表(その3)

区 分	研究課題	研 究 事 項	試 験 項 目	試験担当	
Ⅱ・ アーク溶接に 関する 研究	D. 溶接高温割れに関する 実験	1) 溶接高温割れの発生条件 の検討と溶接棒品種の比較 調査	f) 十字型割れ試験	船舶技研	
			g) 完全拘束割れ試験	大阪大学	
	E. 溶接部の腐 食に関する 実験	2) 溶接部の高温延性の検討	a) 溶接部の高温延性	船舶技研	
			1) 応力腐食割れに関する実 験 硫化物腐食割れに関する 実験	a) $MgCl_2, H_2S(I)$	日本ステンレス
			b) $H_2S(II)$	八幡製鉄	
			c) $H_2S(III)$	三菱製鋼長崎	
			d) $H_2S(IV)$	大阪大学	
Ⅲ・ 特殊溶接法に 関する 研究	A. 自動溶接に 関する試験	1) 溶接条件に関する検討 溶接部の性質に関する調 査試験	a) サブマージトアーク溶接(I)	日立笠戸	
			b) サブマージトアーク溶接(Ⅱ)	日立造船	
			c) MIG溶接(I)	鋼管・鶴見	
			d) MIG溶接(Ⅱ)	新潟鉄工	
	B TIG溶接 に関する試 験	1) TIGとアークの組合せに 関する実験と物性の検討 2) 薄肉板材のTIG溶接部 性質の試験	a) TIGとアークの組合せ	住友金属	
			a) 薄板のTIG溶接	住友金属	
	C 電子ビーム 溶接に関する 試験	1) 溶接条件の検討 溶接部の機械的性質の検 討	a) 電子ビーム溶接	金材研	
N非破壊検査 法に関する 実験	A非破壊検査の 適用性に関す る検討	1)放射線検査 浸透検査 磁気探傷	a) 溶接部の非破壊検査法の 適用性試験	呉造船 藤永田 鋼管鶴見	

(注) 表中、資料番号欄※印……………担当者の都合により試験中止

資料番号	銅種符号	FA1	FC	FD1	FD2	FE2	NA	KA	KB	SA	SB	SC	MA	YB	YD	YE	YF
	板厚 (mm)	13	12	13	13	20	25	12	12	13.5	20	20	12	16	20	20	20
熱処理	資料番号	NT	QT	NNT	QT	QT	QT	NT	QT	NNT	NNT	QT	QT	QT	QT	QT	QT
9N-32-65 9N-45-65 9N-57-65 9N-14-66												○					
9N-36-65 9N-9-66 9N-9'-66												○					
9N-44-65 9N-60-65 9N-13-66			○														
9N-23-66																	
9N-8-66														○			
9N-12-66													○				
9N-47-65						○											
(化学機械溶接委員会資料)																	
9N-31-65 9N-56-65																	○
9N-59-65							○		○								
9N-63-65						○											
※																	
※																	
9N-21-65												○					
9N-27-65			○														
9N-61-65		○															
9N-10-66													○				
※																	