

業 務 報 告 書

昭和60年度

滋賀県立機械金属工業指導所

彦根市岡町5番地

目 次

I 概 要	
1 沿 革	1
2 規 模	1
3 組 織	3
4 職 員	3
5 予算および決算	4
6 試験研究設備の整備状況	6
7 主要設備	7
II 依頼業務	
1 依頼試験数および手数料	11
2 設備使用件数および使用料	11
III 指導業務	
1 技術アドバイザー指導事業	13
2 一般巡回技術指導	13
3 簡易巡回技術指導	14
4 技術相談	14
5 調 査	15
6 技術普及講習会	15
7 新技術技術者研修	15
8 出版刊行物	16
9 生産技術研究会	16
IV 研究業務	
1 バルブ材料の腐食に関する研究	17
2 オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)の旋削加工条件に関する研究	53
3 バルブ材料の熱疲労と衝撃強度に関する研究	67

I 概 要

1. 沿 革
2. 規 模
3. 組 織
4. 職 員
5. 予算および決算
6. 試験研究設備の整備状況
7. 主要設備

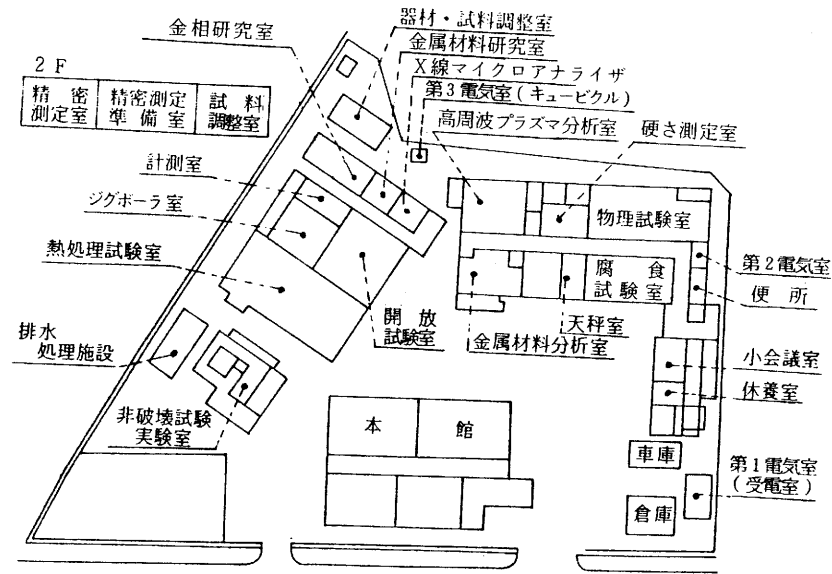
1. 沿革

昭和21年 4月	長浜市に県立長浜工業試験場を設置、機械、繊維の2部制とする。
昭和27年 4月	工業試験場を機械部門と繊維部門に分割し、機械部は滋賀県立機械金属工業指導所と称す。
昭和34年 4月	本指導所の整備計画ならびに彦根市に移築を決定
昭和35年10月	庁舎竣工新庁舎にて業務を開始（現別館）
昭和38年 3月	実験研究棟（精密機械加工室、熱処理中間試験室、ジグボアラ室、その他）を増築
昭和43年 1月	全上2階実験研究室を増築
昭和49年10月	本館 竣工

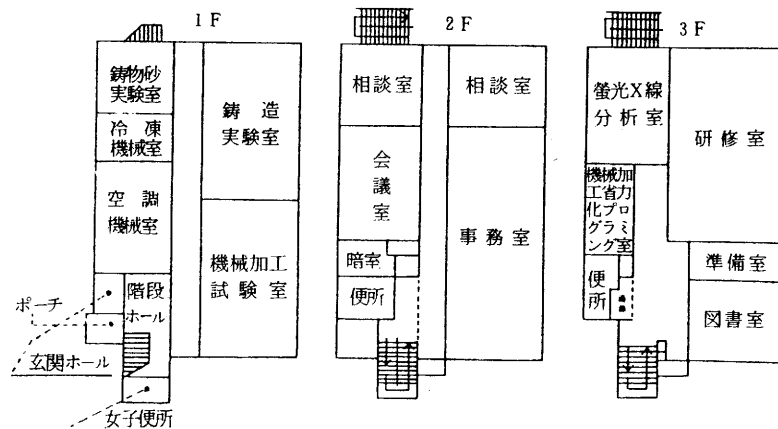
2. 規模

敷地面積	3,400.69 m ²
建物総面積	2,273.42 m ²
本館	1,017.96 m ² （鉄筋コンクリート三階建）
別館	562.96 m ² （鉄筋コンクリート補強ブロック平屋建）
実験研究棟	487.96 m ² （鉄筋コンクリート補強ブロック一部二階建）
その他	204.97 m ²

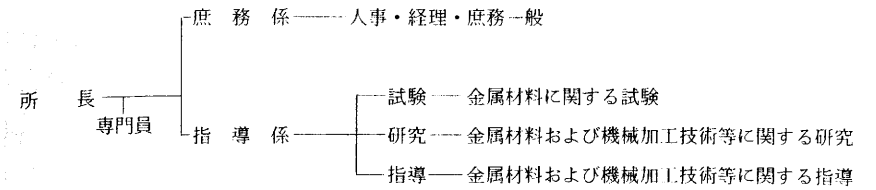
建 物 配 置 図



本館の各室配置図



3. 組 織



4. 職 員

職 員 構 成 (昭和60年4月1日現在)

所 長	瀬 利 幸 次
専 門 員	河 崎 勲
庶 務 係 主 査	川 瀬 邦 治
指 導 係 係 長	村 口 明 義
	主 査 松 川 進
	樋 口 英 司
	佐 藤 真 知 夫
技 師	宮 川 栄 一 (昭和61年4月1日 主任技師)
	酒 井 一 昭
嘱 託	宮 田 し ず 子

5. 予算および決算

(1) 昭和60年度 歳入予算執行状況

科 目				予算通知額	調 定 額	収入済額	収入未済額
款	項	目	節				
06	01	07	03	20,000	63,600	63,600	0
使用料及 手数料	使用料	商工使用料	機械金属 工業指導所				
06	02	05	04	13,480,000	14,011,400	14,011,400	0
使用料及 手数料	手数料	商工手数料	機械金属 工業指導所 試験				
12	06	05	11	108,000	108,000	108,000	0
雑収入	雑入	雑入	経営技術等 研修講習 受講料				
			24	0	3,086	3,086	0
			雇用保険料				
合 計				13,608,000	14,186,086	14,186,086	0

(2) 昭和60年度 歳出予算執行状況

科 目					令達予算額	支出済額	残 額	備 考
款	項	目	節	細 節				
02	01	01			529,274	529,274	0	
総務費	総務管理費	一般管理費						
			04	共 済 費	58,074	58,074	0	
			07	賃 金	471,200	471,200	0	
02	01	07	15		1,000,000	1,000,000	0	
		財産管理費	工事請負費					
07	01	03			1,152,863	1,152,863	0	
商工費	商工業費	工業振興費						
			01	報 酬	660,000	660,000	0	
			08	報 償 費	105,800	105,800	0	
			09	旅 費	311,063	311,063	0	
			11	需 要 費	2,000	2,000	0	
				01 食糧費				
				02 その他 需 要 費	55,000	55,000	0	
			12	役 務 費	19,000	19,000	0	
				02 その他 役 務 費				
07	02	02			469,000	469,000	0	
	中小企業費	中小企業 指導費						
			08	報 償 費	54,000	54,000	0	

科 目					令達予算額	支出済額	残 額	備 考
款	項	目	節	細 節				
			09	旅 費	126,000	126,000	0	
			11	需 用 費	247,000	247,000	0	
				02 その他 需 用 費				
			12	役 務 費	32,000	32,000	0	
				02 その他 役 務 費				
			14	使用料及び 賃借料	10,000	10,000	0	
07	02	06		機械金属工 業指導所費	37,224,283	37,224,283	0	
			01	報 酬	670,500	670,500	0	
			08	報 償 費	66,700	66,700	0	
			09	旅 費	1,752,167	1,752,167	0	
			11	需 用 費	293,994	293,994	0	
				01 食糧費				
				02 その他 需 要 費	13,307,312	13,307,312	0	
			12	役 務 費	1,851,680	1,851,680	0	
				02 その他 役 務 費				
			13	委 託 料	199,920	199,920	0	
				01 電気保安業 務委託料				
				02 恒温恒湿点 検委託料	180,000	180,000	0	
				03 警備業務 委託料	430,800	430,800	0	
				04 浄化槽等維 持管理業務 委託料	126,400	126,400	0	
				05 ボイラー 整備検査 委託料	67,000	67,000	0	
				06 火災報知設 備保安検査 委託料	34,800	34,800	0	
				07 排水水の 分析委託料	124,800	124,800	0	
				08 冷凍機保安 点検委託料	155,000	155,000	0	

科 目					令達予算額	支出済額	残 額	備 考
款	項	目	節	細 節				
			14	使用料及び賃借料	16,440	16,440	0	
			18	備品購入費	17,939,770	17,939,770	0	
			19	負担金補助及び交付金	7,000	7,000	0	
			01	冷凍設備保安協会負担金				
合		計			40,375,420	40,375,420	0	

6. 試験研究設備の整備状況（昭和60年度）

品 名	数量	型 式	製 造 者	備 考
検力器負荷式 応力腐食試験機	1 台	プルーフリング型	東京衡機製作所	中小企業庁 補助物件
全自動 分極測定装置	1 式	H Z - 1 A	北 斗 電 工 機	"
浸漬乾湿 複合サイクル試験機	1 台	D W - u D - 3	ス ガ 試 験 機 機	"
パーソナルコンピュータ ネットワークシステム	1 式	—	近畿情報システム機	県 単
電気マッフル炉	1 台	F M - 3 6	ヤ マ ト 科 学	"
ル ー プ 検 力 計	1 台	0.05 L D 0.15 L D	機前川試験機製作所	"
光学式変位測定器	1 台	コントローラ型式 P A - 1800 ヘッド型式 P A - 1810	リ ー ド 電 機 機	"

7. 主 要 設 備

品 名	規 格	購入年月日	備 考
万 能 研 削 盤	三井精機製 MUG 25×50	37. 6. 29	日本自転車振興会 補助物件
ソルトバス電気炉	友信工業機製 L S B - 30	37. 7. 9	県 単
治 具 中 ぐ り 盤	三井精機製 J B D 型 No 3	38. 6. 17	日本自転車振興会 補助物件
万 能 投 影 機	イタリア、マイクロテクニカ 社製 MT 型	38. 8. 16	"
平 面 研 削 盤	三正製作所製 G - D 64 型	38. 12. 20	"
万 能 工 具 研 削 盤	牧野フライス社製 C - 40	38. 12. 23	"
ブ ロ ッ ク ゲ ー ジ	津上製 P T W A 級	39. 8. 18	"
万 能 顕 微 測 定 器	三井精機製 M L D 1000	40. 1. 14	"
ロックウェル硬度計	明石製作所 O R K 型（電動）	40. 8. 20	"
万能工具顕微測定器	津上製 T - M C L 2 型	38.	"
旋 盤	大阪工作所製 360 H B - X 型	43. 3. 19	"
超 硬 工 具 研 磨 盤	アサヒダイヤモンド工業製 S D G 型	43. 9. 10	"
表 面 粗 さ 計	テラーボブソン社製 タリサーフ 4 型	43. 11. 30	"
万 能 フ ラ イ ス 盤	日立精機製 M S 型 U	43. 12. 28	中小企業庁補助物件
プロジェクション オブチメーター	カールツァイスイエナ社製 MOD 20 / 20	44. 10. 21	日本自転車振興会 補助物件
キ ャ ス 試 験 機	東洋理化学製 C A S S E R - 1	44. 10. 29	"
流速効果腐食試験装置	山崎精機研究所 V F - 1	"	"
カット・オフ（帯鋸盤）	アマダ製 C R H - 300 S	45. 8. 30	"
ショア硬度試験機	三光計器製 S 44 計量研型	45. 9. 25	中小企業庁補助物件
ブリネル硬度計	三精工業製 S D L B 計量研型	45. 9. 29	"
工業用赤外線温度計	旭産業製 T A - 1	45. 10. 20	日本自転車振興会 補助物件

品 名	規 格	購入年月日	備 考
デ ジ マ イ ク ロ	オリンパス製 DM 253 顕微鏡STM	45. 10. 30	中小企業庁補助物件
液化炭酸超低温装置	柳本製作所製OTS-60	45. 10. 31	日本自転車振興会 補助物件
オートコリメータ	ニコン6D型	46. 8. 16	"
島津万能試験機	電子管式REH-100型	46. 9. 29	中小企業庁補助物件
オームバス電気炉	東洋電熱工業社製 NC-25PLS	46. 11. 8	日本自転車振興会 補助物件
周波数自動分析記録装置	国際振動研究所製SM-2200	47. 9. 28	"
エレマ電気炉	東海興商製CE-20	47. 10. 30	"
高温鋳物砂試験機	東京衡機製力量500kg	47. 10. 31	"
直示式鋳物砂熱膨張計	小沢製作所製EOS-1	47. 11. 20	"
曝熱試験器	小沢製作所製MO-1	"	"
定電位電解分析装置	柳本製作所AFS-4 4連式	47. 9. 8	"
ばいじん量測定装置	D-20SC	49. 8. 12	中小企業庁補助物件
メモーション測定装置	松下電器製	49. 7. 31	"
万能基準硬さ試験機	明石製作所製 計量研型 SHT-3型計算装置付	49. 10. 28	"
高周波誘導電気炉	FTH-30Mサイリスタ式	49. 10. 31	"
蛍光X線分析装置	理学電機工業製 ガイガーフレックス3063 P4	52. 3. 30	"
CEメーター	リーズ・アンド・ノースロップ社 TECTIPマークⅢ-H	52. 3. 23	"
可傾式金型鑄造機	新東工業PLS-33R	53. 8. 11	"
自動平衡型温度記録計	千野製作所EK100-06	53. 8. 25	"
塗型用噴霧機	岩田塗装製	53. 12. 20	"
PHメーター	東亜電波製HM-20B	53. 7. 10	県 単

品 名	規 格	購入年月日	備 考
シャルピー衝撃試験機	島津製30kgf-m	54. 1. 17	"
普通騒音計	㈱ノードDS-101C	54. 8. 20	中小企業庁補助物件
高周波誘導焼入装置	富士電波工業製 FRT-40H、FQB-800	54. 11. 10	日本自転車振興会 補助物件
精密低温恒温槽	田葉井製作所製 K-3473-D1	54. 10. 31	"
ストレンメーター	新興通信工業DPU-100 PS-7513-50	54. 9. 5	"
分光光度計	島津製作所UV-150-02	54. 8. 10	"
STメーター (残留ひずみ測定器)	福井技研標準型	54. 10. 5	"
水圧ポンプ	山本水圧工業製PH-60	54. 7. 14	県 単
ジェットエロージョン 試験機	㈱山崎精機製JVE-12	55. 8. 10	中小企業庁補助物件
ピンホール探知器	㈱サンコウ電子製TRC-20A	55. 7. 17	"
静電粉体塗装装置	小野田セメント㈱製 GX101、TYPE6132-1	55. 7. 25	"
C-S同時定量装置	米国LECO社製 LECO-CS-144型	55. 8. 9	日本自転車振興会 補助物件
かじり摩耗試験機	㈱京都試作研究所製	55. 10. 31	"
空気圧実習装置	太陽鉄工㈱製 当所仕様	56. 7. 30	中小企業庁補助物件
ブリネル硬さ試験機	㈱島津製作所製 最大荷重 3,000kg	56. 9. 16	日本自転車振興会 補助物件
万能試験機	㈱島津製作所製 オートグラフDCS-25T型	56. 9. 19	"
電動ビッカース硬度計	㈱明石製作所製 AVK-A型	56. 10. 31	"
高周波プラズマ分析装置	㈱島津製作所製ICPV-1000型	57. 12. 10	"
マイクロコンピュータ システム	シャープ㈱MZ-2000	58. 1. 14	"
X線マイクロアナライザ	㈱島津製作所製EPM-810I	58. 11. 21	"
小型超低温恒温器	タバイエスベック㈱製 MC-71型	58. 11. 22	"
微小硬度計	㈱明石製作所製 MVK-Eシステム	58. 11. 25	"

品 名	規 格	購入年月日	備 考
オシロスコープ	菊水電子工業㈱COS-5060	58. 7. 29	県 単
マイクロロボットムーブ マ ス タ ー	三菱電機製RM-101	59. 9. 21	"
顕微鏡試料作成装置一式	ビューラー社	59. 12. 26	中小企業庁補助物件
倒立型金属顕微鏡	ニコンEPIPHOT-TME	59. 12. 26	"
冷熱衝撃試験機	ダバイエスベックTSR-63型	59. 12. 17	"
検力器負荷式 応力腐食試験機	東京衡機製ブルーフリング型	60. 12. 10	"
全自動分極測定装置	北斗電工製 HZ-1A	60. 12. 10	"
浸漬乾湿 複合サイクル試験機	スガ試験機製 DW-uD-3	60. 12. 18	"
パーソナルコンピュータ ネットワークシステム一式	—	61. 3. 31	県 単
ループ検力計	0. 05LD, 0. 15LD	61. 3. 7	"

Ⅱ 依 頼 業 務

1. 依頼試験数および手数料
2. 設備使用件数および使用料

1. 依頼試験数および手数料

手数料 14,011,400 円

(1) 材 料 試 験	3,133 試料 (8,011 試験)	
(試験項目)	抗 折	1,002 試験
	引 張	2,855 "
	耐力, 降伏点	659 "
	伸 び	1,610 "
	硬 さ (H B)	1,303 "
	硬 さ (その他)	62 "
	そ の 他	520 "
(2) 分 析 試 験	880 試料 (3,645 成分)	
(種 類)	ね ず み 鑄 鉄	169 試料
	球 状 黒 鉛 鑄 鉄	77 "
	青 銅 鑄 物	486 "
	そ の 他	148 "
(3) そ の 他 試 験	203 試料 (422 試験)	
(試験項目)	組 織 試 験	258 試験
	そ の 他 試 験	164 "
(4) 成績書複本発行	2,151 通	
(内 訳)	和 文	2,007 通
	英 文	144 "

2. 設備使用件数および使用料

使用料 63,600 円 (19 件)

(内 訳)	平 面 研 削 盤	3 件
	万能工具研削盤	8 "
	鑄物砂試験器	4 "
	そ の 他	4 "

Ⅲ 指 導 業 務

1. 技術アドバイザー指導事業
2. 一般巡回技術指導
3. 簡易巡回技術指導
4. 技術相談
5. 調 査
6. 技術普及講習会
7. 新技術技術者研修
8. 出版刊行物
9. 生産技術研究会

1. 技術アドバイザー指導事業

実施日数 55日

実施企業	指導項目	担当アドバイザー
日昇精機(株)	品質管理における検査システムと検査機器	杉本利夫
大塚産業(株)	裁断用プレス機の合理化	中川悟孝
都築要	セラミック部品穴明け目づまり除去方法およびチェック	〃
西山鉄工所	ロータータイロットのシャフト圧入時の振れ防止法	大槻泰幹
伊藤工機(株)滋賀工場	多品種少量生産、短納期化に対応した生産ラインの合理化	辻秀雄
佃田中鉄工所	フライス作業における基本と応用技術	大槻泰幹
(株)石森産業	寝具および衣類等の真空パックバックの開発	中川悟孝
佃田中鉄工所	高能率旋削加工法と加工条件	大槻泰幹
佃毛利精穀研究所	精米機操作のフルオートメーション化	杉浦義治
エスビーバルブ工業(株)	バタフライ弁における流体の流量曲線、漏れグラフの計算法と実験データについて	中石実
(株)ヤマト精工	納期管理および労務管理について	辻秀雄

2. 一般巡回技術指導

(1) 金属摩耗および腐食について

期間 昭和60年7月30日～8月1日

指導員 大阪府立大学 工学部金属工学科

教授 山川宏二

助教授 川本信

機械金属工業指導所

主査 松川進

主査 樋口英司

技師 宮川栄一

技師 酒井一昭

実施企業 兵神装備(株)、(株)奥村製作所、広瀬バルブ工業(株)

(2) 品質管理、外注管理について

期間 昭和61年3月3日・4日

指導員 異生産管理事務所

技術士 巽茂蔵

機械金属工業指導所

指導係長 村口 明 義

主 査 松 川 進

実施企業 新和工業㈱、御金寿堂

3. 簡易巡回技術指導

金属材料の機械加工技術、表面処理技術、生産管理等について

期 間 昭和60年6月6日～7月4日

指 導 員 機械金属工業指導所職員

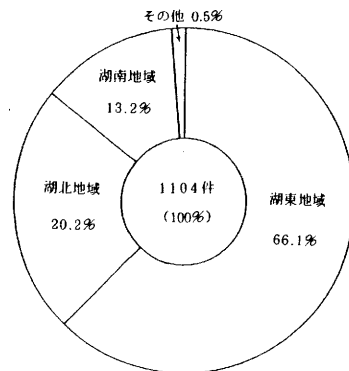
実施企業 15企業

4. 技術相談

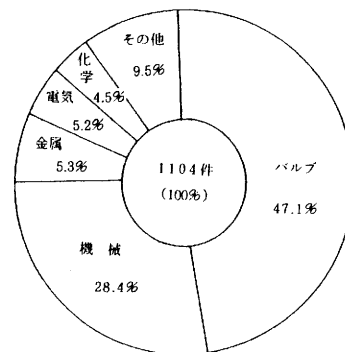
(1) 専門分野別件数

項 目	件 数	比 率
金 属 材 料	94	8.5%
熱 処 理 技 術	16	1.4
機 械 加 工 技 術	44	4.0
試 験 法 及 び 測 定 法	228	20.7
鑄 造 技 術	15	1.4
金 属 組 織	76	6.9
分 析 一 般	104	9.4
防 食 技 術	58	5.2
設備貸与・近代化資金	20	1.8
実 施 指 導	55	5.0
そ の 他	394	35.7
計	1,104	100.0

(2) 地域別



(3) 業種別



5. 調 査

(1) 彦根バルブ動向調査 16企業

1～四半期ごとに年4回実施

(2) 制度融資等に係る申込企業の事前(実地)調査

中小企業設備近代化資金貸付制度関係 4企業

中小企業設備機械類貸与制度関係 7企業

技術改善費補助金、技術開発資金関係 5企業

先端設備導入資金関係 4企業

(3) 産地中小企業事業合理化承認調査 1企業(変更)

(4) 工場診断 1企業

6. 技術普及講習会

年月日	題 目	講 師	場 所	受講人員
60・7・12	最近における難削材の切削加工用工具について	ダイジェット工業㈱ 技術部 辻 勇二	指導所研修室	23名
60・11・14	現場における計測管理技術について 昭和59年度技術開発研究成果普及講習会および、所内研究成果発表会	計量研究所 矢野 宏 指導所職員	"	29名
61・1・29	わかり易いINS	NTT彦根電報電話局 次長 三浦 俊一	彦根商工会議所	24名
61・3・18	金属材料の水腐食と防止対策	川崎重工業㈱ 技術研究所 山本 彰利	指導所研修室	26名

7. 新技術技術者研修

(1) コース名 新素材(ファインセラミックス)基礎コース

(2) 実施期間および時間数 昭和61年3月24日・25日 12時間

(3) 場 所 滋賀県立機械金属工業指導所

(4) 受講者および修了者 受講者 18名

修了者 14名

(5) 講 師 名古屋工業技術試験所

第一部第二課長 伊藤 正 治

第五部第二課主任研究官 佐野 資 郎

技 術 士 大 槻 泰 幹

(6) 科目と時間数

科 目	内 容	時間数
ファインセラミックス概論	構造用、機能性セラミックスに要求される機能・特性 エンジニアリングセラミックスの製造過程と特性・応 用範囲について	6時間
ファインセラミックス の加工技術	ファインセラミックスの切削・砥粒加工・放電加工等 の加工技術の現状と問題点 セラミックス加工技術の展望について	6時間

8. 出版刊工物

昭和59年度業務報告書

機工指だより No.28 No.29

9. 生産技術研究会

(1) 昭和60年度役員

会 長 川 部 朝 男 (川部バルブ製作所)

幹 事 北 川 一 男 (相川バルブ製作所)

北 川 武 夫 (北川鉄工所)

森 田 幸 彦 (清水鉄工所)

増 田 米 男 (日の本弁工業)

西 川 俊 夫 (広瀬バルブ工業)

佐 藤 真知夫 (機械金属工業指導所)

(事務局) 村 口 明 義 (機械金属工業指導所)

会計監事 北 川 彰 (沢村バルブ工業)

松 井 繁 徳 (大日本スクリーン製造)

(2) 事業内容

ア. 技術講習会 4回

イ. 工場見学会 1回

山科精器(株)近江工場

滋賀県工業技術センター

ウ. 研 究 会

「指導所職員との技術交流」

エ. 総 会 1回

オ. 幹 事 会 3回

カ. 懇 談 会 1回

キ. 会 報 発 行 2回

Ⅳ 研 究 業 務

1. バルブ材料の腐食に関する研究

2. オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) の
旋削加工条件に関する研究

3. バルブ材料の熱疲労と衝撃強度に関する研究

バルブ材料の腐食に関する研究

主 査 松 川 進
主 査 樋 口 英 司
主任技師 宮 川 栄 一

1. 結 言

腐食とは「金属がそのおかれた環境成分と反応して化合物に変わることによって消耗し、金属製品の性能が低下し、ついに使用に耐えなくなる現象」と定義づけられている。

腐食の主な原因物質の一つは空気中の酸素であるが、金以外のすべての金属はこの酸素と結合して薄い酸化皮膜をつくり、母材を保護している。この酸化皮膜も水、温度あるいは応力の作用によって破壊されると「さび」等の腐食が始まるのである。

このようにして起こる腐食損失はG N Pの数%に達するといわれ、事故防止対策はもちろん、資源確保の意味からも防食法の確立が重要である。

一方、本県の有数の産業である彦根バルブ業界もユーザー側の使用条件がますます過酷になってきており、苦慮しているのが現状である。すなわち、各種の産業用プラント、あるいは工業用水配管に使用されるバルブは高温、高圧、強酸等の強い腐食性環境下にさらされることが多い。

これらの腐食条件に耐え得る方法として、つぎの二つが考えられる。

すなわち、メッキ・溶射等の金属、あるいは樹脂・ゴム・セラミック等の非金属を用いて被覆する方法（金属表面を腐食性環境下から遮断する）と腐食が進行しにくい耐食合金（耐候性鋼・ステンレス鋼等）の使用である。

前者は防食手段として有効的であるが、大幅なコストアップを招くことと、バルブ本体の根本的な耐食性改善にはならない。このことから、まず後者の耐食性に優れたバルブ材料の開発および使用が望ましい。

当産業の活性化に対する緊急課題の一つである一般鋳鉄弁から付加価値の高い特殊弁への移行は、単にデザイン・機能面等のみでなく、耐食性を抜きには考えられない。

そこで本研究は上記の背景をふまえながら、今後バルブ材料として期待されるステンレス鋼・特殊鋳鉄等について各種の腐食試験を実施して、適性材料の選定を重点につぎの事項について検討した。

- ①各種強酸液による浸せき試験
- ②水道水・食塩水溶液による流水中腐食試験
- ③食塩水溶液による乾湿繰返し試験（サイクル腐食試験）
- ④電気化学的試験（分極測定）

2. 強酸液による浸せき腐食試験

2・1 試 験 方 法

2・1・1 供試材の化学成分

供試材はステンレス鋼3種類・鋳鋼2種類と鋳鉄4種類の計9種類である。その分析結果を表1に示す。

表1 供試材の化学成分 (wt %)

種類	成分記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Mg
ステンレス鋼	SUS 420J2	0.28	0.36	0.69	0.024	0.020	0.35	11.96	0.11	0.12	<0.001
"	SUS 303	0.06	0.45	1.96	0.033	0.193	8.59	17.41	—	—	—
"	SUS 329J1	0.04	0.39	0.53	0.003	0.002	5.41	24.14	1.25	—	—
"	SUS 304	0.05	0.79	1.35	0.028	0.003	8.29	18.20	0.19	0.15	<0.001
ステンレス鋼	SCS13	0.08	1.70	1.26	0.027	0.010	8.62	18.31	0.18	0.13	<0.001
高温高圧用鋼	SCPH2	0.23	0.55	0.69	<0.001	0.010	0.05	0.06	—	0.16	<0.001
ねずみ鉄	FC20	3.27	1.71	0.95	0.033	0.018	—	—	—	—	—
球状黒鉛鉄	FCD45	3.47	2.57	0.77	0.011	0.012	0.01	0.01	—	0.02	0.043
ニレジスト鉄	NiFC	2.73	1.60	1.08	0.001	0.010	14.88	1.66	—	6.95	—
ニレジストダクタイル	NiFCD	2.82	1.00	0.77	0.006	0.012	18.37	1.91	0.02	0.02	0.063

2・1・2 供試材の形状および寸法

試料は直径約32φ×10hの円柱状とし、両平面は切断後研削加工し、表面粗さを3～5μに仕上げた。

2・1・3 熱処理条件および顕微鏡組織

バルブ材において溶接、鋳掛け等の補修を想定し、鉄系供試材を除いて表2に示す3種類の熱処理を施した。

このうち、鋭敏化処理はオーステナイト系ステンレス鋼を補修等により600～800℃の温度に長時間加熱すると、結晶粒界にCr炭化物が析出して、耐食性が著しく劣化することを想定した処理である。

固溶化処理は前述の鋭敏化温度域の加熱による耐食性の劣化を防ぐため、Cr炭化物をオーステナイト中に溶体化させて急冷し、Cr炭化物の結晶粒界への析出を防ぐための処理である。また、固溶化と鋭敏化の複合処理は固溶化処理後、溶接などにより鋭敏化することを想定した処

表2 供試材の熱処理

処 理	略記号	条 件
無 処 理	M	無処理
鋭 敏 化	E	650℃×1000分 (16.7Hr)、空冷
固 溶 化	K	1100℃×30分、水冷
固溶化+鋭敏化	K E	1100℃×30分、水冷-650℃×1000分 (16.7hr)、空冷

理である。供試材の顕微鏡組織を図1～4に示す。

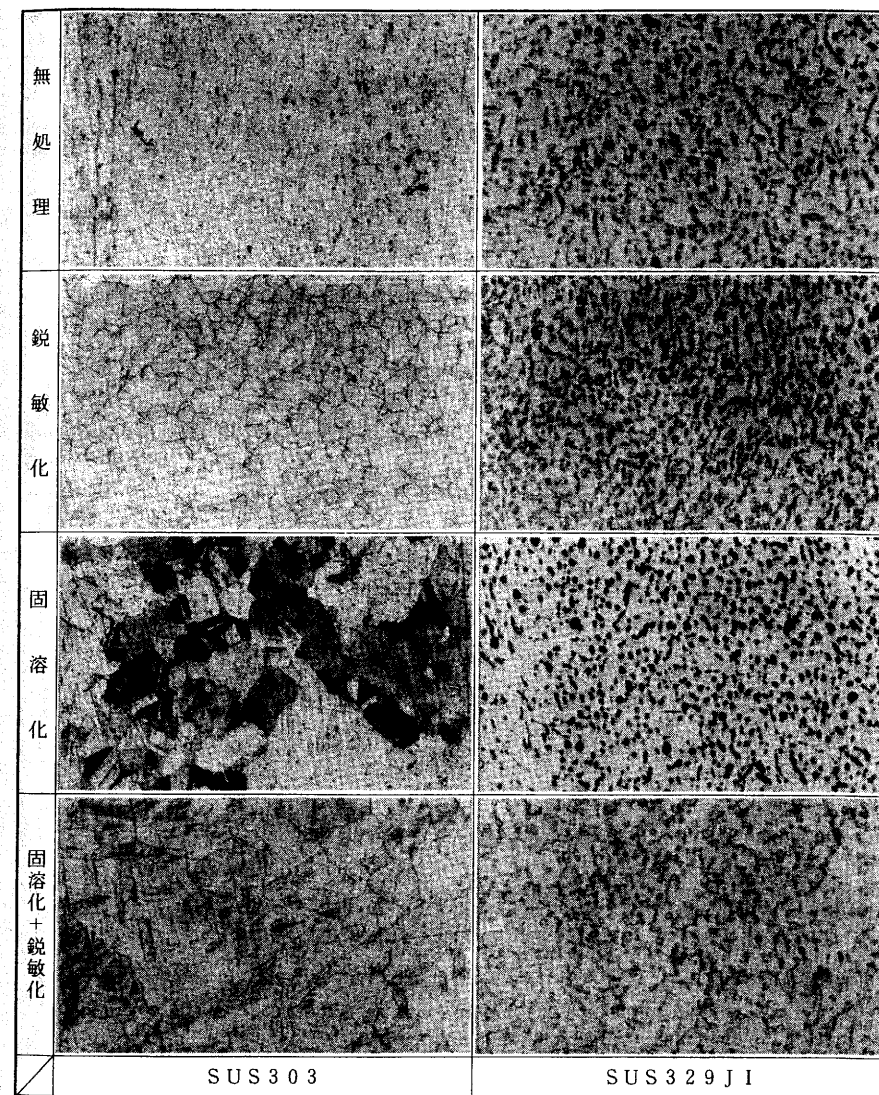


図1 供試材の組織

(×170)

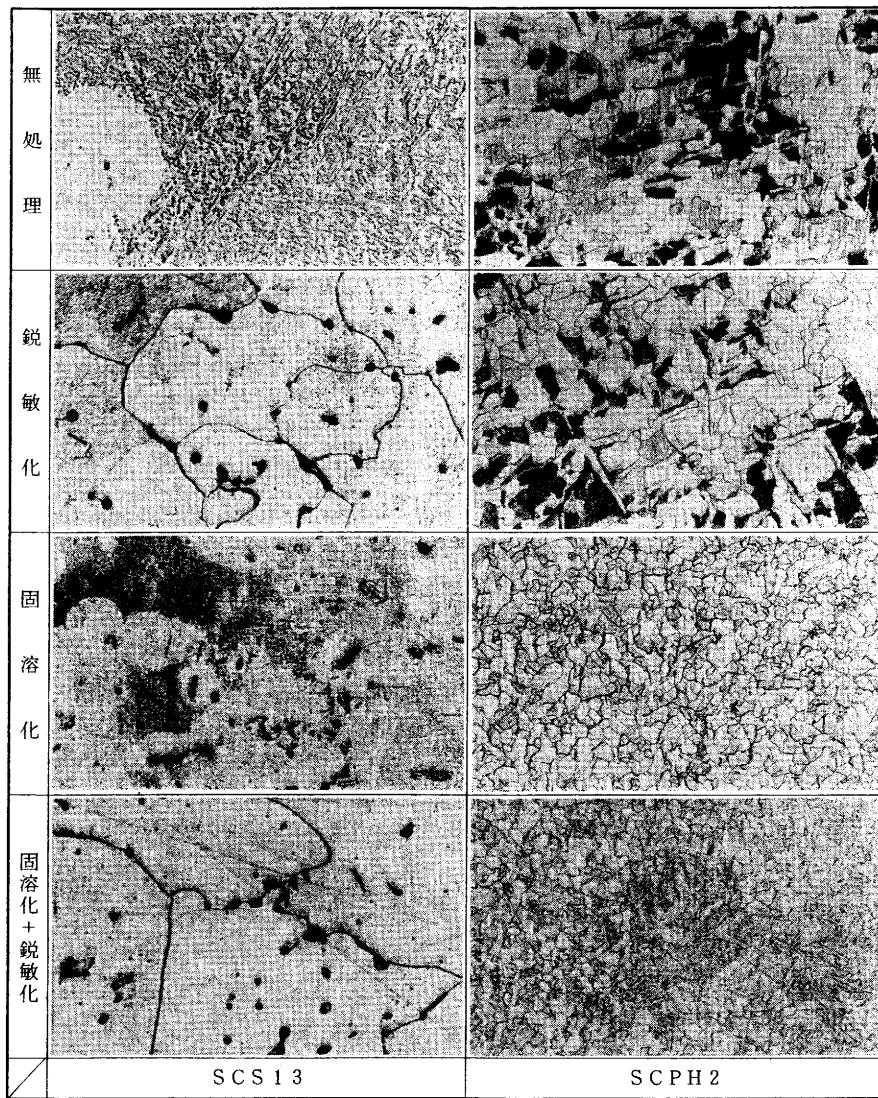


図3 供試材の組織

(×170)

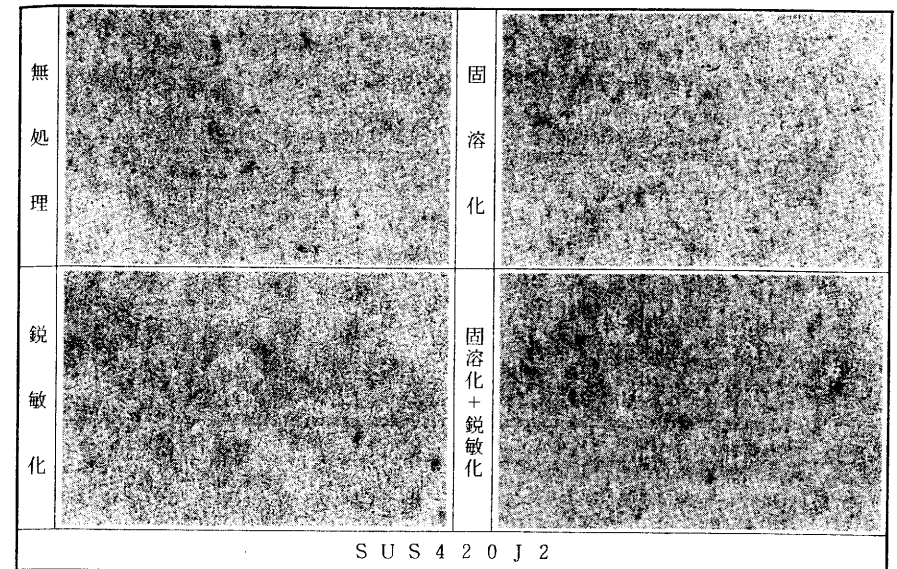


図2 供試材の組織

(×170)

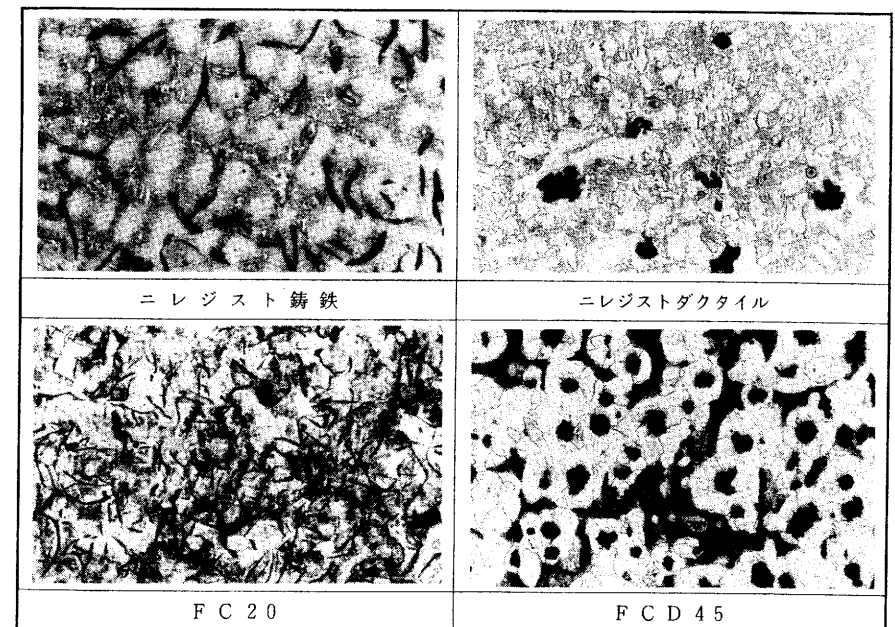


図4 供試材の組織（鑄放し）

(×170)

2・1・4 浸せき条件および試験方法

JIS G 0573、4、5 に準じて硫酸+硫酸銅の混合溶液と硝酸+フッ化水素酸、および65%硝酸の3種類の各液による浸せき腐食試験を行った。その腐食条件を表3に示す。

表3 浸せき腐食試験における腐食条件

腐食液	液組成	温度(℃)	時間(hr)
H ₂ SO ₄ +CuSO ₄	10% H ₂ SO ₄ 10% CuSO ₄ 99.9% Cu-Plate	100 (沸騰)	24
HNO ₃ +HF	10% HNO ₃ 3% HF	70	2
HNO ₃	65% HNO ₃	100 (沸騰)	48

硫酸+硫酸銅混合溶液による浸せき腐食試験は図5に示すような立型逆流コンデンサ付きガラス製フラスコを用い、腐食試験液中の銅板上に試料を接触させた状態に置き、試験液を外部から加熱させて試験した。硝酸+フッ化水素酸混合溶液による浸せき試験は約200ccの溶液が入ったテフロン製ビーカー中に試料を浸せきし、70℃の恒温槽に保持して行った。また、65%硝酸溶液による浸せき試験は硫酸+硫酸銅混合溶液による浸せき試験と同様に図5の装置を用いて行った。

腐食量はこれらの浸せき試験後、試料に付着した腐食生成物をワイヤブラシを用いて流水中で除去した後、乾燥させて秤量し、(1)式により腐食量を求めた。

$$W_c = (W_a - W_b) / S \quad \cdots (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} W_c: \text{腐食量 (g/cm}^2\text{)} \\ W_a: \text{腐食前重量 (g)} \\ W_b: \text{腐食後重量 (g)} \\ S: \text{試料表面積 (cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

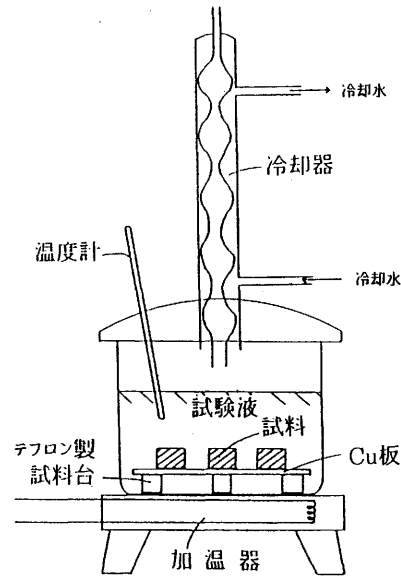


図5 硫酸+硫酸銅および65%硝酸浸せき腐食試験装置 (略図)

2・2 試験結果および考察

2・2・1 浸せき試験による腐食状況

表4に腐食量を示すがオーステナイト・フェライト系のSUS329J1はいずれの試験液の場合

表4 浸せき試験における腐食量

種別	熱処理	腐食量 (g/cm ²)								
		SUS303	SUS420J2	SUS329J1	SCS13	SCPH2	FC20	FCD45	NIFC	NIFCD
H ₂ SO ₄ + CuSO ₄ (24 hr)	無処理	0.0001	1.2619	0	0.0001	0.2039	0.4839	1.0073	0.1964	0.0931
	鋭敏化	0.0193	1.1937	0	0.0014	0.1470	—	—	—	—
	固溶化	0.0065	0.1607	0.0002	0.0002	0.9483	—	—	—	—
	固+鋭	0.0184	0.2859	0.0001	0.0027	0.7403	—	—	—	—
HNO ₃ + HF (2 hr)	無処理	0.0334	0.1814	0.0005	0.0183	0.1847	0.3142	0.1906	0.3950	0.2165
	鋭敏化	0.3032	0.1773	0.0005	0.0803	0.1774	—	—	—	—
	固溶化	0.0375	0.1721	0.0013	0.0183	0.2033	—	—	—	—
	固+鋭	0.0993	0.1742	0.0011	0.0810	0.1889	—	—	—	—
HNO ₃ 沸騰 (48 hr)	無処理	0.2507	0.2674	0.0032	0.0056	58.1520	8.0446	0.2496	9.8741	3.9360
	鋭敏化	0.6763	0.2565	0.0030	0.0330	57.9936	—	—	—	—
	固溶化	0.0187	0.4959	0.0027	0.0055	25.1520	—	—	—	—
	固+鋭	0.3627	0.3020	0.0024	0.0482	149.2032	—	—	—	—

にも腐食量が最も少なく、すぐれた耐食性が認められた。また、ステンレス鋼のSCS13も良好な耐食性を示すが、高温高圧用鋼のSCPH2は予想以上に腐食量が多く、ねずみ銹鉄のFC20も腐食量が多い結果を示した。他の供試材については試験溶液の種類により相当の差異が認められた。

浸せき後の試料表面状況を図6～8に示すが、これからも前述の腐食量の違いが明らかである。ステンレス系ではSUS420J2が表面全体が茶かっ色に全面腐食されており、またSUS303も試験溶液あるいは熱処理条件によって腐食量が異なってくる。鋼ではSCPH2の破壊的な腐食が一目瞭然である。銹鉄系でも試験溶液による差が明確に出ており、FCD45およびFC20の硫酸+硫酸銅混合溶液下での腐食の激しさが現れている。

SUS420J2	J1M J2E J2K J2KE H₂SO₄-CuSO₄浸漬試験	J2M J2E J2K J2KE HNO₃-HF浸漬試験	J1M J1E J1K J1KE 65% HNO₃浸漬試験
SUS303	Q3M Q3E Q3K Q3KE H₂SO₄-CuSO₄浸漬試験	Q3M Q3E Q3K Q3KE HNO₃-HF浸漬試験	Q3M Q3E Q3K Q3KE 65% HNO₃浸漬試験
SUS329J1	J1M J1E J1K J1KE H₂SO₄-CuSO₄浸漬試験	J1M J1E J1K J1KE HNO₃-HF浸漬試験	J1M J1E J1K J1KE 65% HNO₃浸漬試験
	H ₂ SO ₄ -CuSO ₄	HNO ₃ -HF	65% HNO ₃

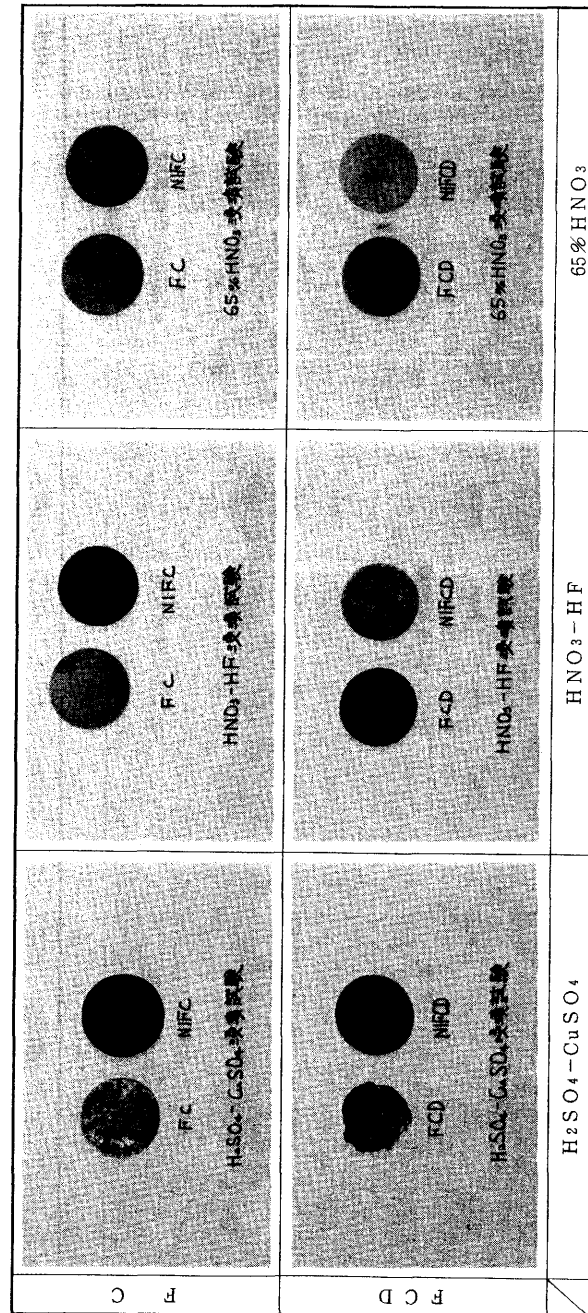
図6 浸せき腐食後の試料表面(ステンレス鋼)

(×0.6)

SCPH2	PHM PHE PHK PHE H₂SO₄-CuSO₄浸漬試験	PHM PHE PHK PHE HNO₃-HF浸漬試験	PHM PHE PHK PHE 65% HNO₃浸漬試験
SCS13	I3M I3E I3K I3KE H₂SO₄-CuSO₄浸漬試験	I3M I3E I3K I3KE HNO₃-HF浸漬試験	I3M I3E I3K I3KE 65% HNO₃浸漬試験
	H ₂ SO ₄ -CuSO ₄	HNO ₃ -HF	65% HNO ₃

図7 浸せき腐食後の試料表面(鋳鋼)

(×0.6)



(×0.6)

図8 浸せき腐食後の試料表面（鋳鉄）

2・2・2 熱処理条件と腐食量

(1) 硫酸+硫酸銅溶液の場合

腐食量を図9に示すが、SUS303とSCS13に熱処理条件の差異が若干でいる。すなわち、700℃前後の温度に長時間保持することにより結晶粒界にCr炭化物〔(Cr,Fe)₂₃C₆〕が析出し、粒界近傍のCr濃度が低下するため、この部分が結晶粒の他の部分に対して陽極的に作用し、試験液中への溶解が粒界で集中的に起こる。1) 例えば図1、3に示す粒界が腐食する。このように鋭敏化により腐食される試料も合金中のNi、Crをオーステナイト素地に完全に溶かし込んだまま急冷する固溶化処理を施せば、腐食は大幅に減ることが確認された。

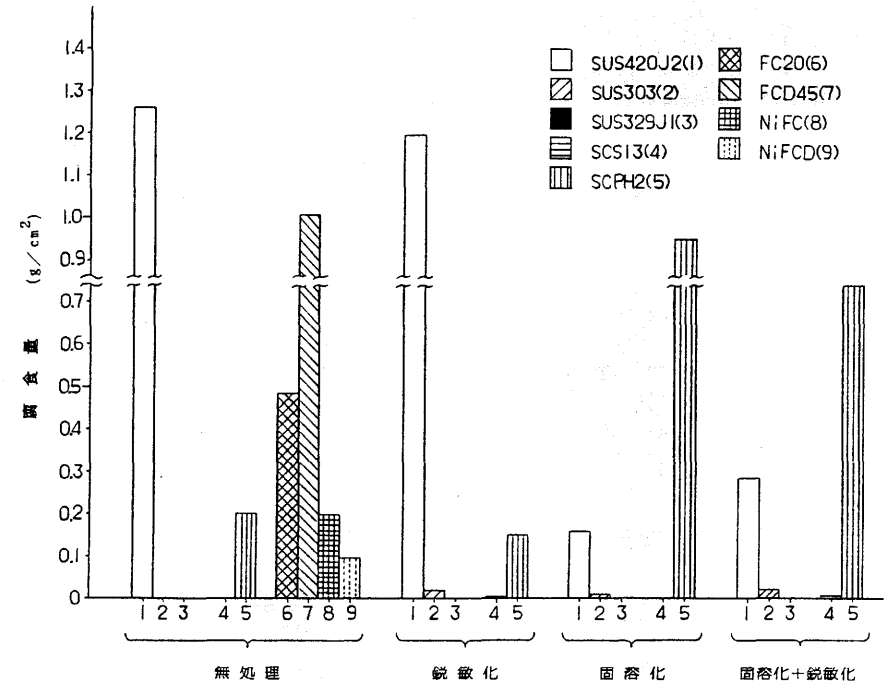


図9 硫酸+硫酸銅溶液による浸せき腐食試験における熱処理別腐食量
(24時間浸せき)

一方、鋳鉄系はFCDをはじめかなり腐食した。図10に浸せき後の断面を示すが、これからも腐食の度合および腐食の形態がわかる。すなわち、SUS420J2とSCPH2が全面腐食であるのに対して、FCD45とNIFCDは黒鉛化腐食（地鉄が腐食されて黒鉛のみが表面層に残留する腐食であり、機械的には弱くなるが下地への腐食を防ぐ保護能力がある）である。この現象を拡大したのが図11であり、表面から線分析すると図12のように40~50μにCrichが形成され、黒鉛化腐食傾向がよくわかる。



図11 硫酸+硫酸銅溶液による腐食試験後におけるF C 20の組成像(表面層)

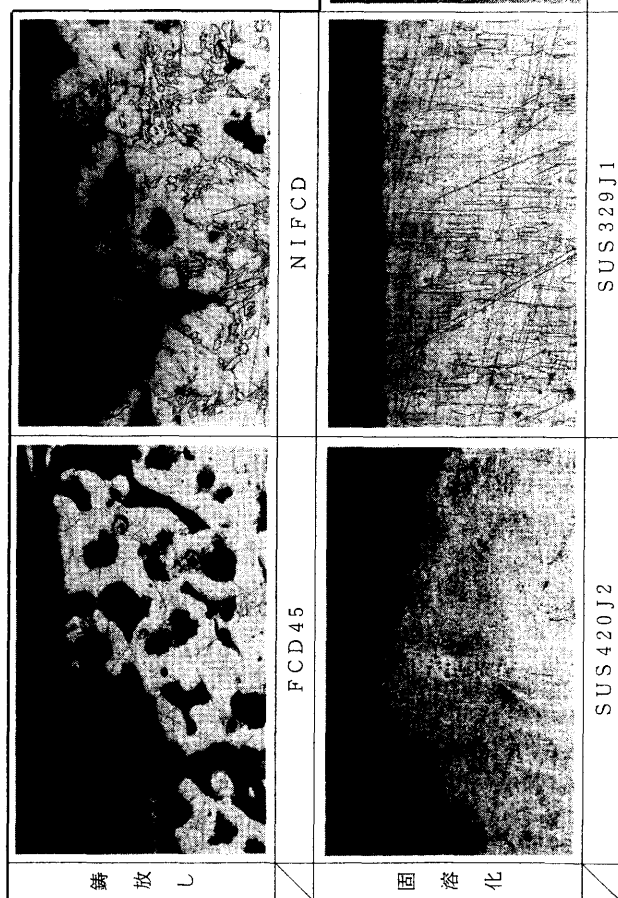
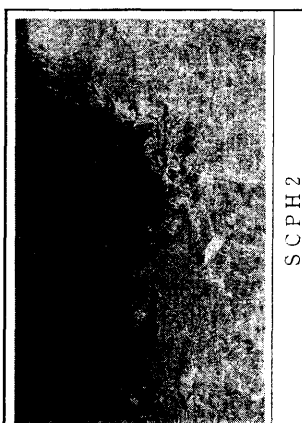


図10 浸せき腐食後の断面 ($H_2SO_4 + CuSO_4$ 溶液)



(x170)

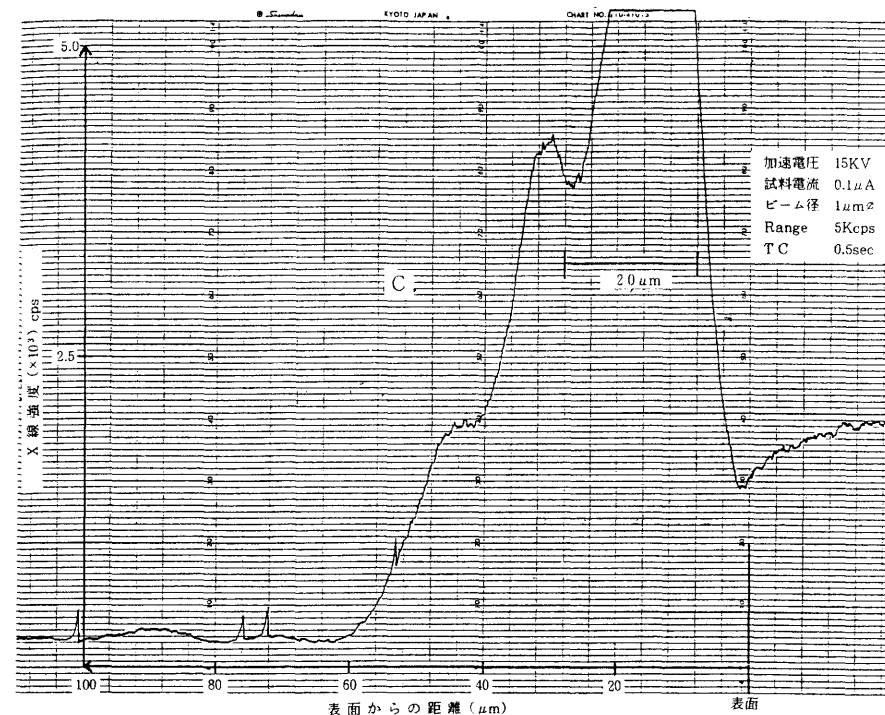


図12 硫酸+硫酸銅腐食液による浸せき腐食後におけるF C 20(無処理)の綿分析(断面)

(2) 硝酸+フッ化水素酸溶液の場合

(1)に比べ全般に腐食量が多く、特にオーステナイト系ステンレス鋼において顕著である。また、前述と同様にSUS303とSCS13は熱処理による差が明確に出ている。これを図13に示す。

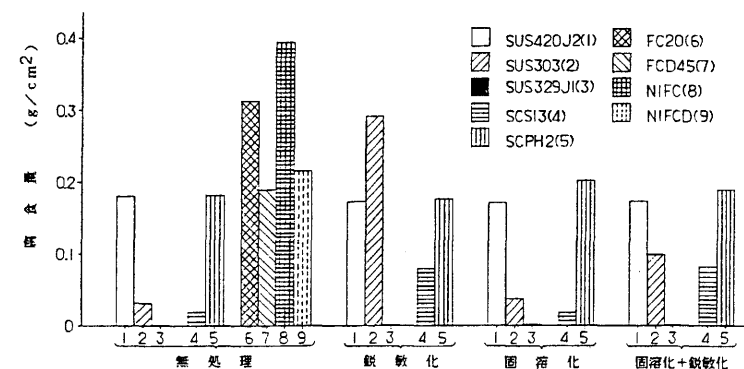


図13 硝酸+ふッ化水素酸溶液による浸せき腐食試験における熱処理別腐食量(2時間浸せき)

(3) 65%硝酸溶液の場合

この溶液中では前述の2溶液の場合よりも更に腐食が激しく、特にSCPH2、FC20およびNIFCは当所の設定時間(48hr)も耐えられず、約8時間で活性溶解してしまった。このため図9、13と違い腐食速度で熱処理別の比較をした。これを図14に示す。オーステナイト系材質は硝酸溶液中でも熱処理による差は明確に出ており、また全般に他の溶液より腐食量が多い理由は発煙硝酸や50%以上の濃硝酸は酸化力がきわめて強く、いわゆる過不動態腐食を受けやすくなるためと思われる。²⁾

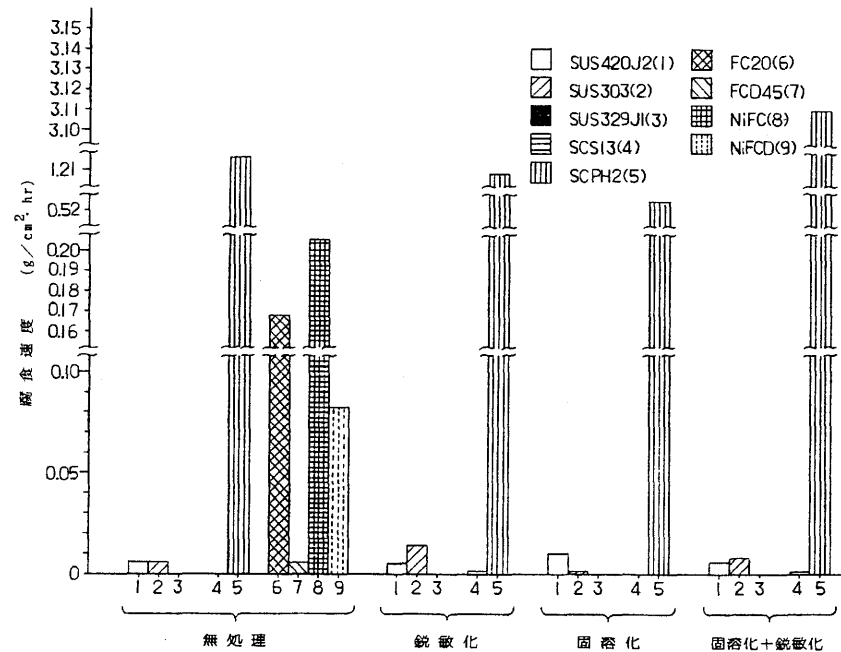


図14 65%硝酸沸騰溶液による浸せき腐食試験における熱処理別腐食速度

このことからバルブ等が中濃度以下の硝酸溶液下でも、使用条件が高温あるいは高圧状態であれば激しく侵かされると予想できる。

図15にSUS303の浸せき後の組成像を示すが、これから熱処理によって組織の均質化(固溶化)および粗大化(鋭敏化)などの現象が起こり、腐食量とこの組織の状態がよく一致していることが判る。鋭敏化処理材の粒界付近におけるCr濃度分布は図16のようになると考えられる。炭化物粒子近傍でCr濃度が不動態限界の12%以

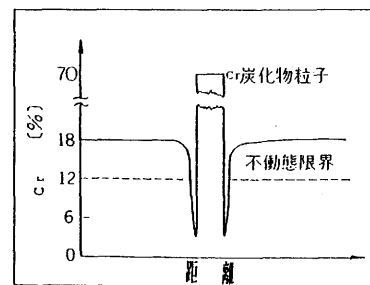
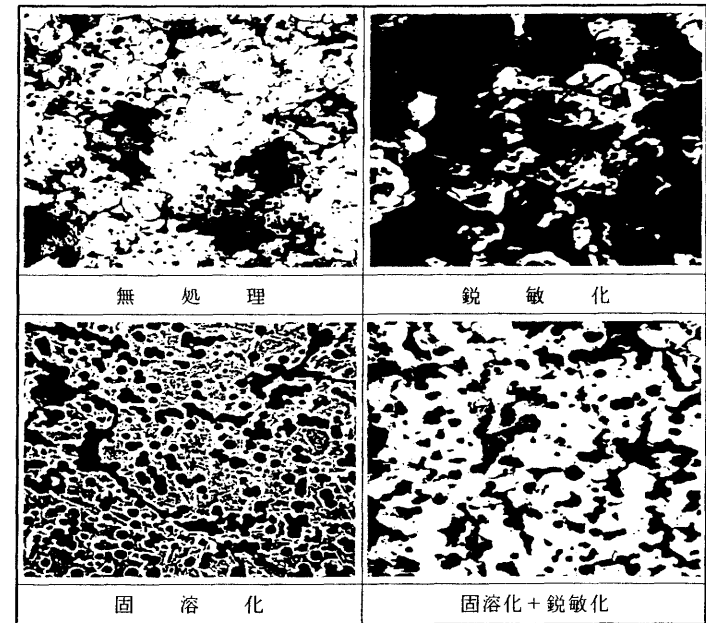


図16 鋭敏化処理したSUS303の粒間近傍でのクロム分布図



(×400)

図15 65%硝酸溶液による腐食試験後におけるSUS303の組成像(表面層)

下となり、粒界腐食が進行することになる。³⁾

SCPH2の固溶化+鋭敏化処理材が極端に侵かされているが、今回の試験では明確な原因は見当たらない。

2・2・3 熱処理条件と試料間の腐食量のバラツキ

(1) 硫酸+硫酸銅溶液の場合

浸せき試験は3回の繰返しを行ったが、熱処理条件あるいは供試材質などによって試料間に腐食量の差が出るため、そのバラツキを調べた。これを図17、18、19に示すが繰返し3回試験を行ったうちの最低と最高の腐食量を図示し、斜線はバラツキの範囲を示している。また図中の点線は腐食の領域を越え、活性溶解する領域を表わしている。

SUS329J1、SUS303およびSCS13はバラツキも少ないが、SUS420J2およびSCPH2はバラツキがある。特にSUS420J2の鋭敏化処理材は組織的に粗大化することにより、試料間のバラツキが大きく、活性溶解し消滅する試料もある。一方、鋳鉄系は試料間の差異はほとんど認められない。

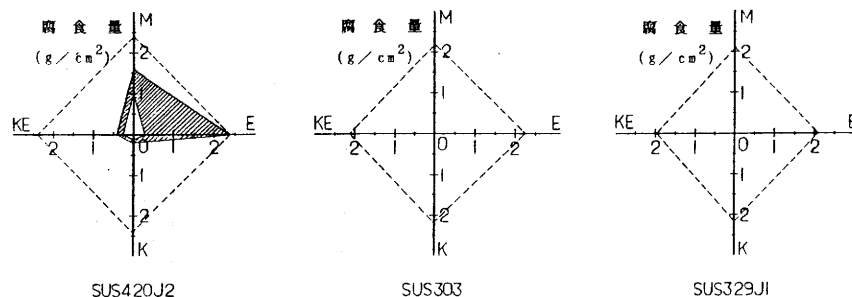


図17 硫酸+硫酸銅溶液による浸せき腐食試験における熱処理の影響(24時間浸せき)

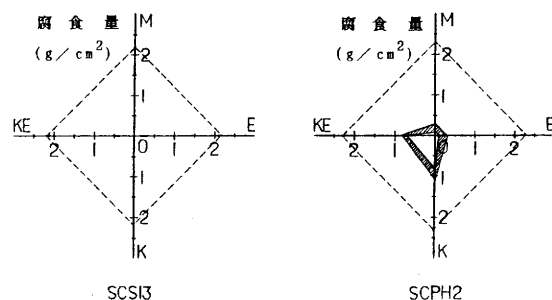


図18 硫酸+硫酸銅溶液による浸せき腐食試験における熱処理の影響(24時間浸せき)

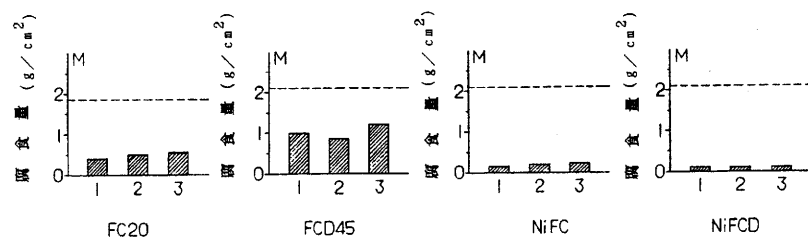


図19 硫酸+硫酸銅溶液による浸せき腐食試験における試料間のバラツキ(24時間浸せき)

(2) 硝酸+フッ化水素酸溶液の場合

図20、21、22に示すようにこの溶液では試料間のバラツキは少ないが、SUS303、SCS13とSUS420J2、SCPH2の熱処理による違いが明確に判る。すなわち、前者における固溶化処理の効果が著しいのに対して、後者は大きな変化がないことである。鋳鉄系は、(1)の溶液と同じ傾向である。

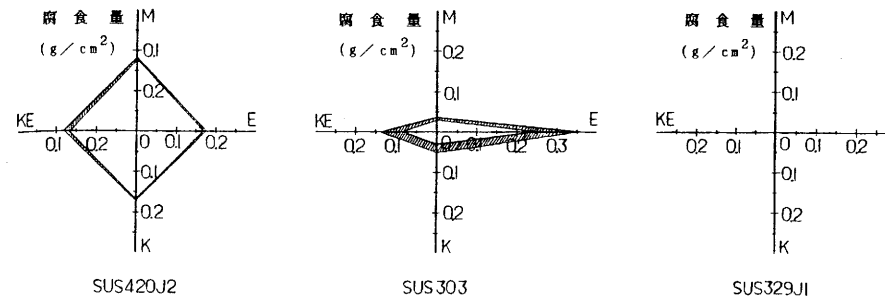


図20 硝酸+ふっ化水素酸溶液による浸せき腐食試験における熱処理の影響(2時間浸せき)

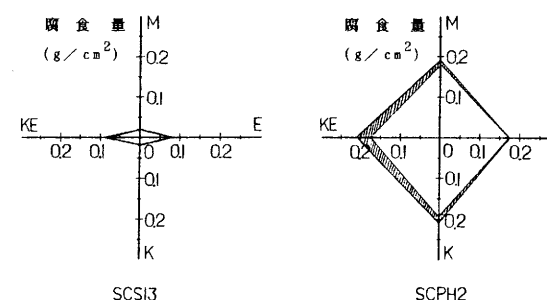


図21 硝酸+ふっ化水素酸溶液による浸せき腐食試験における熱処理の影響(2時間浸せき)

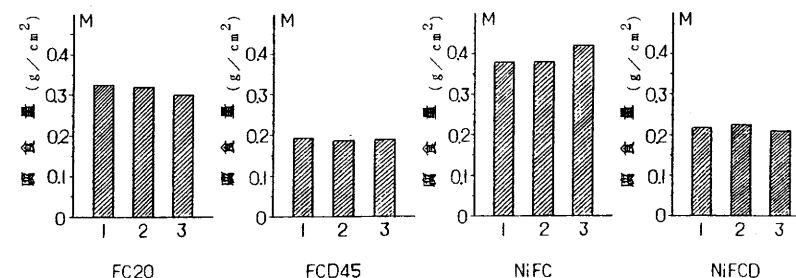


図22 硝酸+ふっ化水素酸溶液による浸せき腐食試験における試料間のバラツキ(2時間浸せき)

(3) 65%硝酸溶液の場合

図23、24、25に示すようにステンレス鋼、同鋳鋼および鋳鉄系はバラツキが少ないが、SCPH2は大きなバラツキが認められる。すなわち、固溶化および固溶化+鋭敏化処理に試料間の差が出ているが、固溶化処理によってフェライト+パーライト地がフェライトrichになり、更に鋭敏化処理を施すことによってフェライト粒度が大きくなり、粒界腐食が進行し、バラツキが拡大したと思われる。

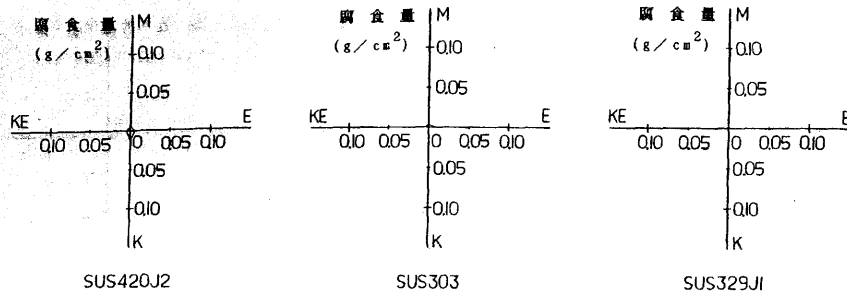


図23 65%硝酸沸騰溶液による浸せき腐食試験における熱処理の影響

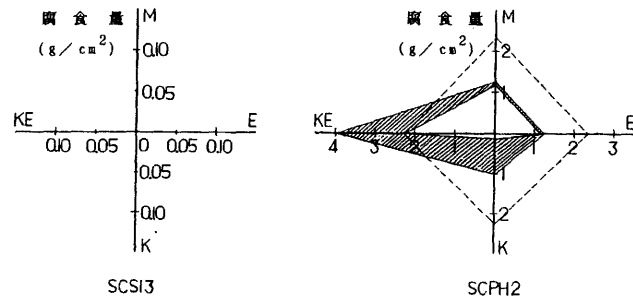


図24 65%硝酸沸騰溶液による浸せき腐食試験における熱処理の影響

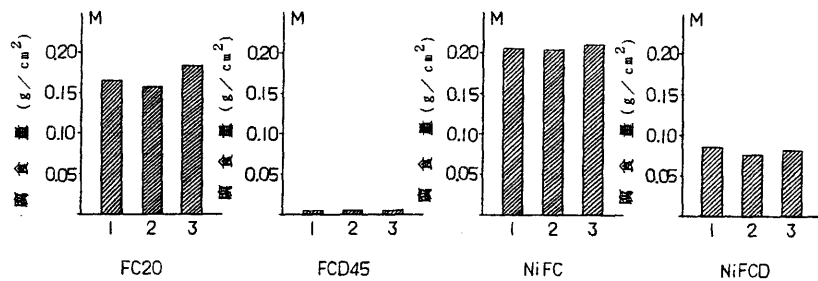


図25 65%硝酸沸騰溶液による浸せき腐食試験における試料間のバラツキ

2・2・4 溶液および熱処理条件と腐食速度の関係

腐食量について2・2・2および2・2・3で詳しく調べたが、つぎに溶液あるいは熱処理と腐食速度の関係を調べる。その結果を図26、27、28に示す。SUS329J1はほとんど腐食されないが、その他の材質についてはSCPH2以外はおおむね硝酸+フッ化水素酸溶液中では速く、激しく腐食される。

SCPH2は硝酸沸騰溶液中では溶解するほどであり、硝酸+フッ化水素酸でも腐食速度は極

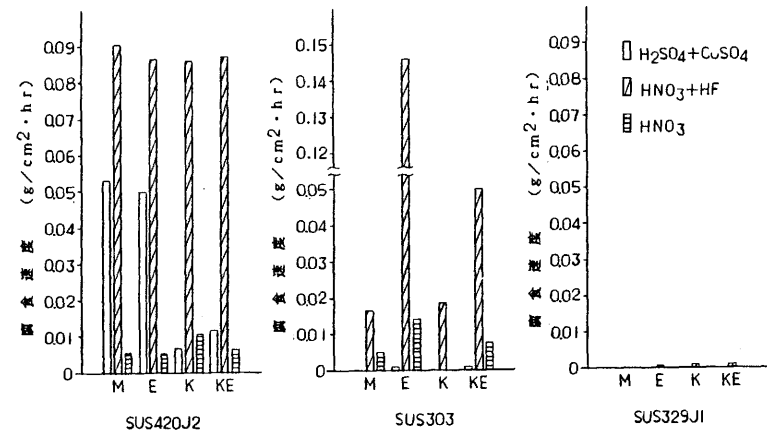


図26 溶液および熱処理による腐食速度の比較

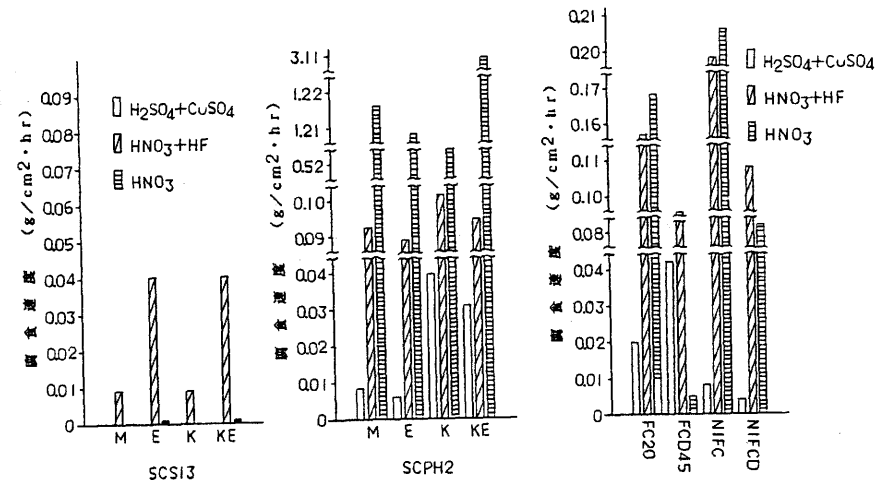


図27 溶液および熱処理による腐食速度の比較

図28 溶液および熱処理による腐食速度の比較

表5 鋼鉄における浸せき腐食液と腐食速度の順位

腐食液	H ₂ SO ₄ + CuSO ₄	HNO ₃ + HF	HNO ₃
F C 2 0	3	3	3
F C D 4 5	4	1	1
N I F C	2	4	4
N I F C D	1	2	2

ただし、番号が大きくなる程耐食性が悪くなる。

めて速い。鋼鉄系も溶液の種類によって速度が異なることは図から判るが、これを順位付けすると表5のようになる。すなわち、NIFCDがどの溶液に対しても耐食性が良好なことが認められた。これは前記の図4からもわかるように多量のNiを固溶したオーステナイト地の組織とな

り、普通鉄に比べて地鉄と黒鉛との間に発生する局部電池作用における電位差が低くなったためと思われる。一方、NIFCは硫酸+硫酸銅溶液に強く、硝酸系には弱いことが判明した。

また、FC20とFCD45では前者が一樣に速く侵かされるのに対して、後者は硫酸系には弱い硝酸系においては意外と腐食速度が遅い。このことは一般的にいわれている「黒鉛形状が球状より片状の方が、腐食されずに残った黒鉛が表面に層を形成しやすく、腐食速度は遅くなる」こととは相反する結果となった。

3. 水道水、食塩水による流水中腐食

3・1 試験方法

3・1・1 供試材および組織

先の浸せき腐食試験の結果をふまえ、鉄系の4種の材料と比較のためにSUS304を供試材とした。試料は65mm×25mm×10mmの長方形に研削加工し、浸せき試料と同様に3~5μの表面粗さに仕上げた。

また、NIFCDは焼ならし処理を、SUS304は固溶化処理を施した。その組織写真を図29に示す。化学成分は表1に示したとおりである。

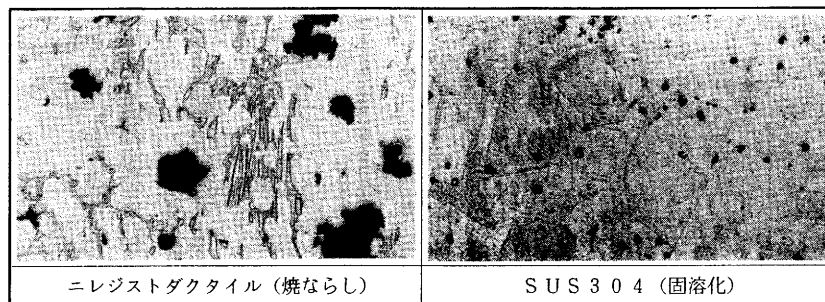


図29 供試材の組織

(×170)

3・1・2 試験条件および方法

供試液は3種類とし、pH6~7(中性)とpH2~3(酸性)になるよう酢酸で調製した水道水、およびNaClにより調製した3%食塩水を用いた。食塩水は予備実験においてオーステナイト系ステンレス鋼、および低炭素鋼では2~4%食塩水の時に最も腐食されやすいというデータを得ているため、この溶液を用いることにした。また、流速が1m/s以上になると不動態皮膜は流体による衝撃により破壊されて潰食(ある流速以上で機械的侵食を伴う速い腐食)を生ずるといわれている。このことと高流速下での配管材の腐食状況を把握するため秒速4mと8mの流速とし、試験時間は144時間(6日間)とした。試験は山崎精機製のジェットエロージョン腐食試験機を用い、試料平面と試験機のノズルとは2mmの間隙とした。

3・2 試験結果および考察

3・2・1 流水による腐食状況

試験結果を表6、図30、31に示す。これらからつぎのことがいえる。材質については浸せき試験の場合と同様にオーステナイト系ステンレス鋼が優れた耐食性を示すことと、Ni含有の鉄は普通鉄に比べて、いずれの条件下でも良好な結果であったことが特徴的である。

表6 ジェットエロージョン腐食量

種 別				腐 食 量 (mg/cm ²)				
試 験 条 件				SUS304	FC20	FCD45	NiFC	NiFCD
流 動 水	PH 6~7	流 速 4 m/sec	144	0.01	3.44	13.24	0.11	1.37
		8 m/sec	144	0.02	5.70	18.93	0.76	2.66
	PH 2~3	4 m/sec	144	0	179.51	584.54	39.91	64.44
		8 m/sec	144	0	151.43	676.23	63.09	64.62
3% 食 塩 水	4 m/sec		144	0.20	35.10	50.27	12.60	22.14
	8 m/sec		144	0.06	44.78	35.37	11.24	14.57

鉄系の個々の材質を比較すると、FCD45が大きく腐食され、特にpH2~3の酸性域では激しく侵かされ図31のように試料は試験機のホルダーとの接触部を除いて深くえぐれている。また、ノズルからの流体が直接あたっている箇所付近は窪んでいるのが判る。FC20に比べFCD45の方が腐食量が多いが、これは黒鉛形状が片状より球状の方が腐食速度が大きいという2・2・4で述べた一般説が当てはまるためと思われる。すなわち、図4に示すようにFCD45は遊離炭素である黒鉛がFC20のそれに比べ黒鉛形状が大きくなっており、これに流速の速い流動水などが直接当たると基地から黒鉛が脱落し、基地を保

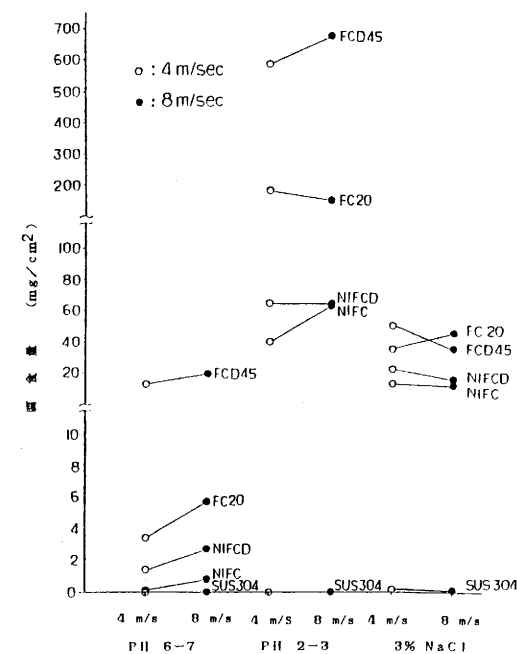


図30 ジェットエロージョン腐食試験における腐食量

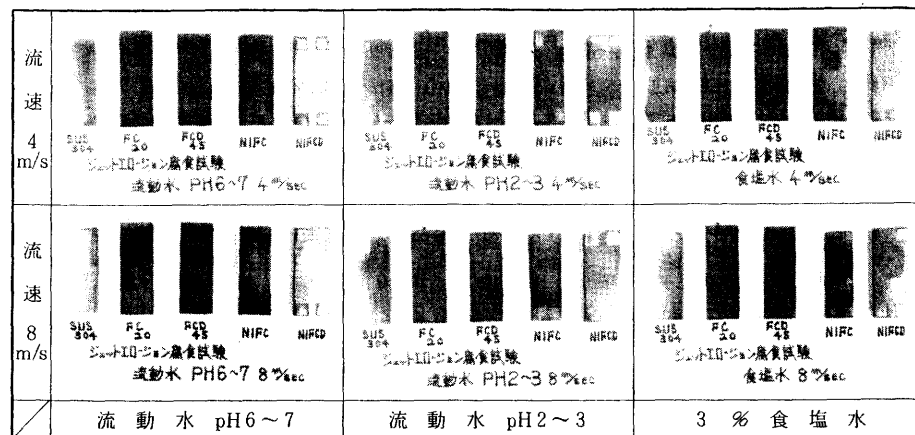


図31 ジェットエロージョン腐食試験後の試料表面 (×0.5)

護する黒鉛がその役割を果せなくなるからであろう。

一方、NIFCDがNIFCよりも腐食量が多いが、これも前述の説と一致すること、NIFCDは焼ならし処理により組織が粗大化していることに起因するためであろう。また、NIFCはCuを約7%含有したオーステナイト地の鉄素であり、黒鉛との電位差がより小さくなっていることも耐食性を向上させている要因と思われる。

溶液の種類による腐食量の順位は“中性流動水<3%食塩水<酸性流動水”となる。特にpH2~3の酸性流動水においては全ての鉄素系試料とも腐食量が多い。また、流速の影響はおおむね8 m/sの方が4 m/sの場合よりも腐食量が多いという結果を示した。

高流速下での腐食断面を見ると図32に示すように鉄素系は激しい黒鉛化腐食傾向であり、特にFC20は顕著である。この組成像を図33に示すが、SEM像ではパーライトのへき開破面(脆性破面)が見られ、潰食の特有な破面といえる。また、腐食断面を線分析すると図34のように表面から炭素が断続的に増減しており、黒鉛化腐食が相当内部まで進行していることが判る。

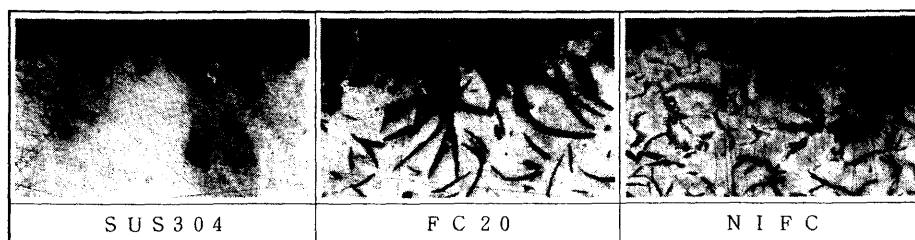


図32 ジェットエロージョン腐食試験後の断面(流動水, pH2~3, 流速4 m/s) (×170)

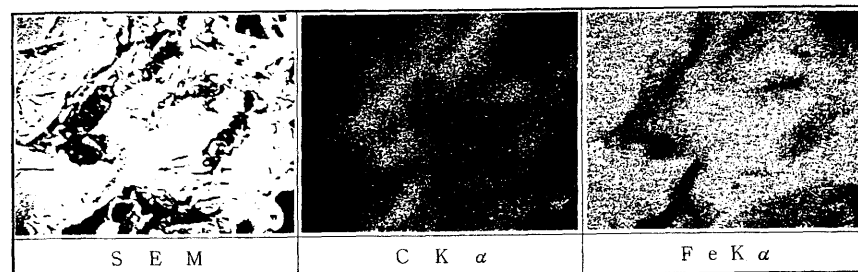


図33 ジェットエロージョン腐食試験機による試験後のFC20の組成像(表面) (×1000)

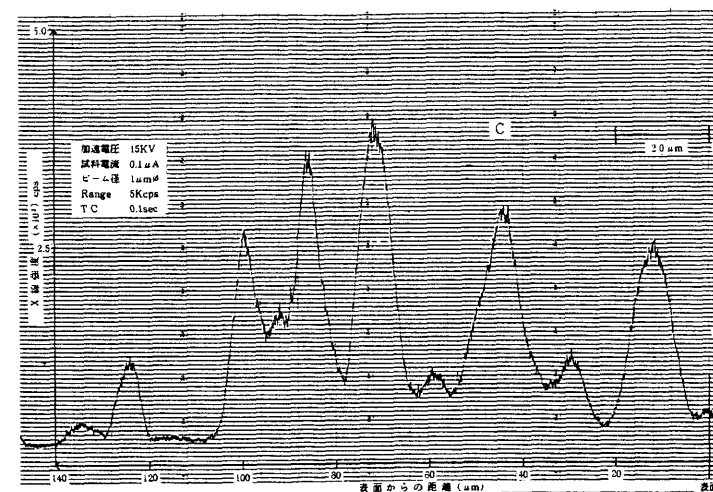


図34 ジェットエロージョン腐食試験後におけるFC20(無処理)の線分析(断面)

3・2・2 流速と腐食の関係

流水中での腐食試験であったが、特に流速との相関は顕著でなかった。

図35、36、37に示すようにpH6~7の中性流動水において若干の差(比例関係)が認められたものの、酸性流動水および3%食塩水の場合には明確な差異は認められなかった。

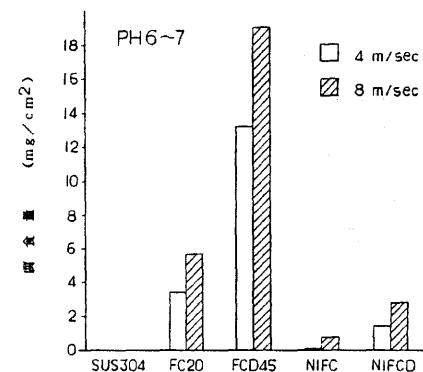


図35 ジェットエロージョン腐食試験機における流速の影響(pH6-7)

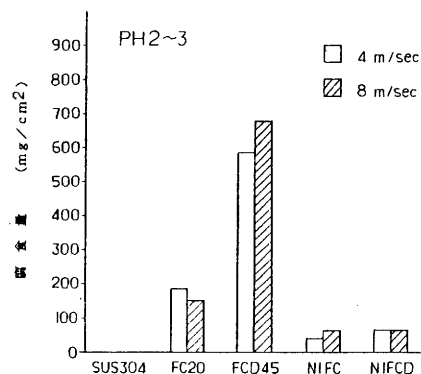


図36 ジェットエロージョン腐食試験機における流速の影響 (pH 2-3)

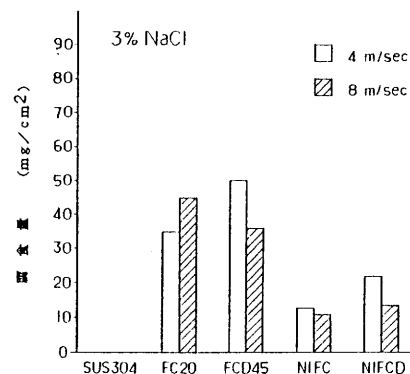


図37 ジェットエロージョン腐食試験機における流速の影響 (3%NaCl)

4. 乾湿繰返し腐食試験による腐食 (サイクル腐食試験)

4・1 試験条件および方法

バルブが実際に稼動し、弁が開閉している時の内部は単に流体が浸せきしている状態だけではない。逆に流体が無くなり乾燥している状態だけでもない。すなわち、稼動中は浸せき、乾燥、湿潤などをそれぞれの時間の違いはあるものの、たえず繰返していることになる。

今回はこの状態を想定し、

表7に示す条件で試験を行った。供試材は流動水中での腐食試験と同じ材質、寸法に付上げ調整した。試験液は3%

表7 サイクル腐食試験条件

1. 試験片寸法	60×25×10 (mm)		
2. 材 質	FC20, FCD45, NIFC, NIFCD, SUS304		
3. 試 験 片 (1材質につき)	2個ずつ		
4. サイクル (1 回)	浸せき	湿潤	乾燥
	15分	30分	15分
	計 1 時間		
5. サイクル数	24回 (24時間)	48回 (48時間)	144回 (144時間)
	1日	2日	6日
6. 溶 液	3%食塩水		
7. 温 度	50℃		
8. 総 試 料 数	材 質	試験片	サイクル数(種別)
	5	× 2	× 3 = 30個

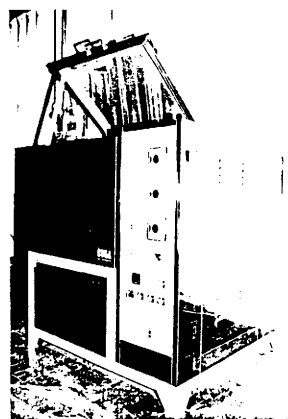


図38 浸漬乾湿複合サイクル試験機

食塩水を用い、温度は約50℃とした。

試験方法は図38に示す試験機により試料を金具に吊し、浸せき→湿潤→乾燥の順に繰返す。1サイクル1時間としそれぞれの時間配分は15分、30分、15分とした。

4・2 試験結果および考察

表8 サイクル腐食試験における腐食量

試 験 条 件	腐 食 量 (mg / cm²)				
	SUS 304	FC 20	FCD 45	NIFC	NIFCD
サイクル数 24回 温度 50℃	0.05	16.20	17.65	0.90	3.00
サイクル数 48回 温度 50℃	0	16.95	31.85	2.40	6.65
サイクル数 144回 温度 50℃	0.10	26.35	45.55	2.25	9.70

表8に腐食量を示すが、材質

の差異による傾向は流動による

腐食と同様であり、SUS304は

サイクル数が増しても腐食量は

鋳鉄系材質に比較して極端に少

ない。また、鋳鉄系ではFCD

45>FC20>NIFCD>NIFC

の順に腐食量が減少する。

これは3・2・1に述べた理由

がここでもあてはまることを意

味している。つぎにサイクル数

の影響をみると図39のようにF

CD45とNIFCDおよびFC

20はサイクル数に比例して腐食

量が増している。今回は温度も

均一で、サイクル数も144回で終ったがサイクル数を更に増やせば、これに比例して腐食が進む

ものと思われる。なぜなら、この腐食は一度造られた酸化皮膜あるいは不動態皮膜がそのまま保

持されるのではなく“皮膜の生成・破壊”の繰返しのためであろう。

また、同じ3%食塩水による流動による腐食試験(144時間)とサイクル腐食試験(144時間)

における鋳鉄系の比較ではFC45以外はサイクルによる腐食よりも流動状態での腐食の方が大

である。

腐食の表面状態は図40のようにFC20およびFCD45は全面腐食の状態であり、NIFCと

NIFCDは斑点状の弱い孔食は非金属介在物の介在や組織的に不均質な場合にも起こりやすい。

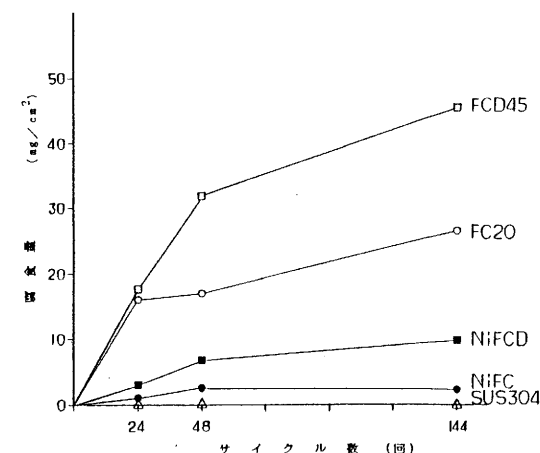


図39 サイクル腐食試験における腐食量

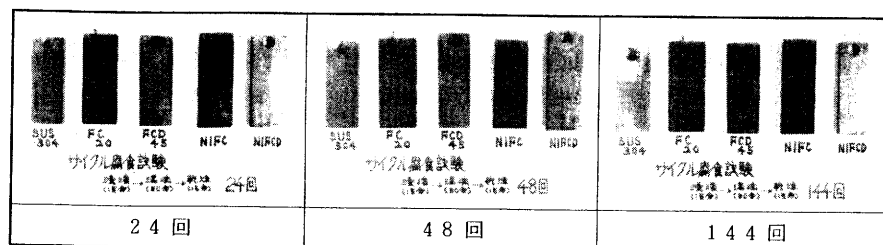
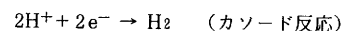
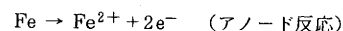


図40 サイクル腐食試験後の試料表面

(×0.5)

5. 分極測定

一般に金属材料を溶液中に浸せきすると表面層が陽極（アノード部）と陰極（カソード部）を形成し、局部的な電池作用のため腐食が進行する。例えば図41に示す模式図からアノード部では鉄がイオンとして溶出し、カソード部では残余の電子を受け水素発生反応が起こる。4) そして電荷的には両者はバランスしていることになる。この分極のバランスが崩れると金属は激しく腐食される。塩酸中に鉄を浸せきすると下記の反応をし、水素を発生する。



このことを利用して、各種の材質を電気化学的な面から腐食状態を検討した。

5・1 測定条件および方法

測定は図42に示す分極測定装置により行い、①溶解反応が起こり始める最初の電位（自然電位）、②試料の溶解反応が起こるアノード電位の変化

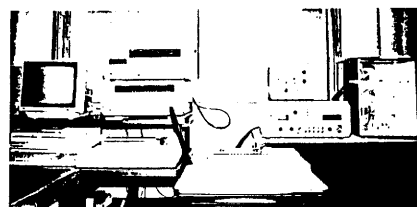


図42 全自動分極測定装置

- 42 -

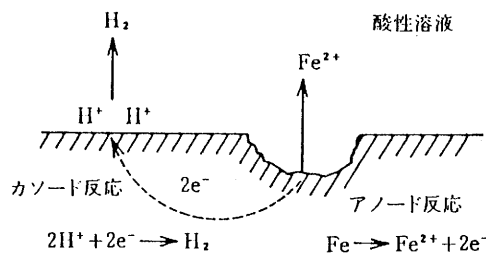


図41 酸性溶液中における鉄の腐食

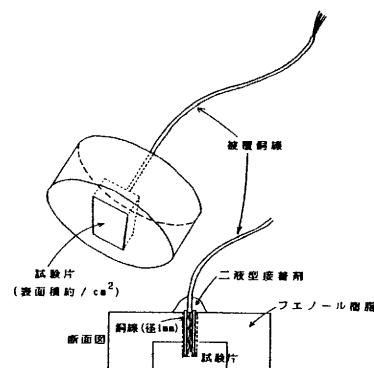


図43 全自動分極測定装置試験片

（アノード曲線）、③アノード電位の変化とカソード電位（還元反応）の変化の状態（サイクル曲線）の3種類の測定を行った。

測定条件は表9に示すが、試験片の形状は図43のように表面積が約1cm²の試験片を樹脂に埋込み、これを被覆銅線で接続する。そして図44に示す電解槽内に浸せきし、銅線端部を分極測定装置に接続する。データの処理は分極測定装置に付属したパーソナルコンピュータで行った。

表9 分極測定における測定条件

項目	試験名	自然電位 (E _{corr})	アノード電位	サイクル電位
試料表面積 (cm ²)	—	S (試料毎)	S (試料毎)	S (試料毎)
参照電極	SCE	SCE	SCE	SCE
電解溶液	3% NaCl 1N-H ₂ SO ₄	3% NaCl 1N-H ₂ SO ₄	3% NaCl 1N-H ₂ SO ₄	3% NaCl 1N-H ₂ SO ₄
温度 (°C)	20	20	20	20
測定時間 (sec)	3600	60	T (試料毎)	T (試料毎)
測定間隔 (sec)	1	1	1	1
スキャン電位幅 (mV)	—	2000~3000	4000~6000	4000~6000
スキャン速度 (mV/sec)	—	50	50	50
サイクル数	—	—	—	3

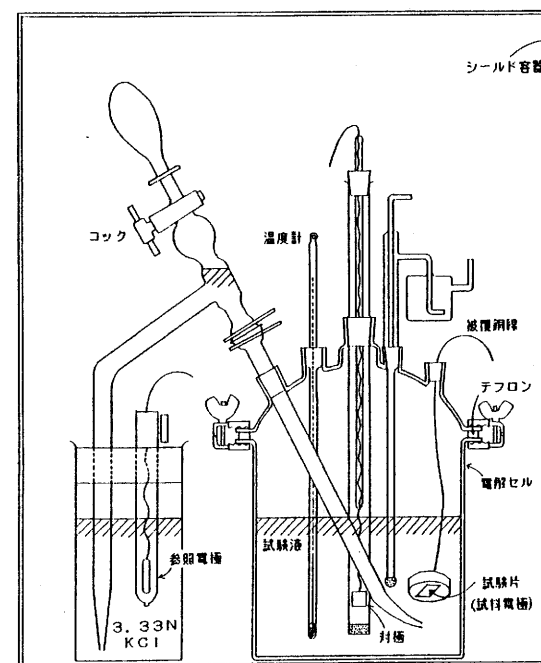


図44 電解反応装置の概略図

- 43 -

5・2 試験結果および考察

5・2・1 自然電位

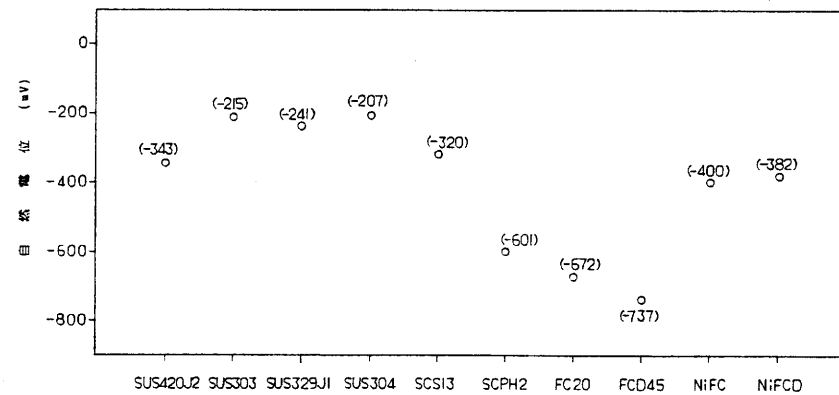


図45 分極測定における各材質の1時間後の自然電位 (3%NaCl)

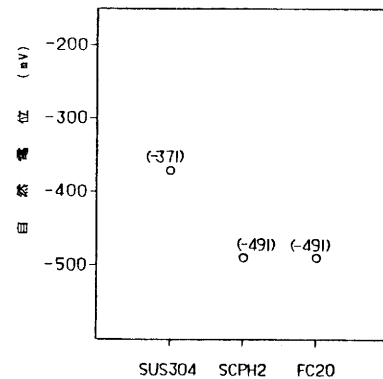


図47 分極測定における各材質の1時間後の自然電位 (1N-H₂SO₄)

図45は各材質における1時間測定後の自然電位であるが、腐食度を明確に表わしている。すなわち、前述の各腐食試験結果とはほぼ一致し、耐食性の良いオーステナイト系ステンレス鋼および同鉄鋼は比較的高電位側であるのに対して、フェライト地あるいはパーライト地の鉄鋼、同鉄鋼は低電位側に片寄っていることが判る。また、Ni含有の鉄鋼は一般鉄鋼と比べると明らかな差が認められる。このことは図46に示す海水中の自然電位列と近似している。⁵⁾

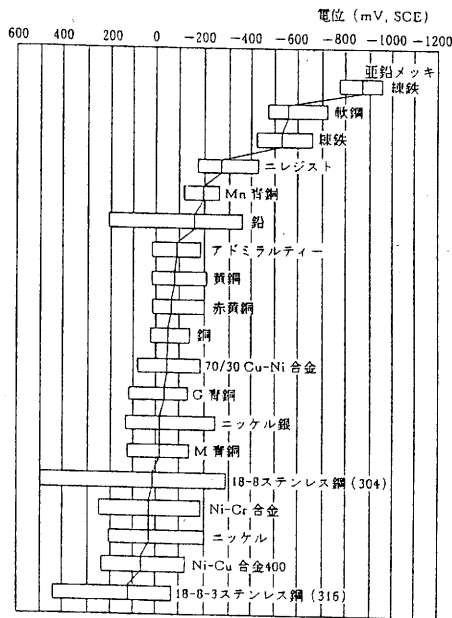


図46 海水中における自然電位列

図47は1N-硫酸溶液中での比較であるが、前述の3%食塩水中の結果とよく似た傾向を示している。

各材質の代表的な供試材についての自然電位の経時変化をみると図48、49のようになる。SUS304は測定開始直後に少し電位が下がるものの、以後は時間の経過とともに上昇する。このことは直後には若干の反応が起こり試料の表面が酸化するが、以後はこれが不動態皮膜となって溶解(腐食)を防止する役目を果たす。一方、SCPH2とFC20は食塩水では徐々に電位が下り、逆に硫酸溶液中では徐々に上昇する。

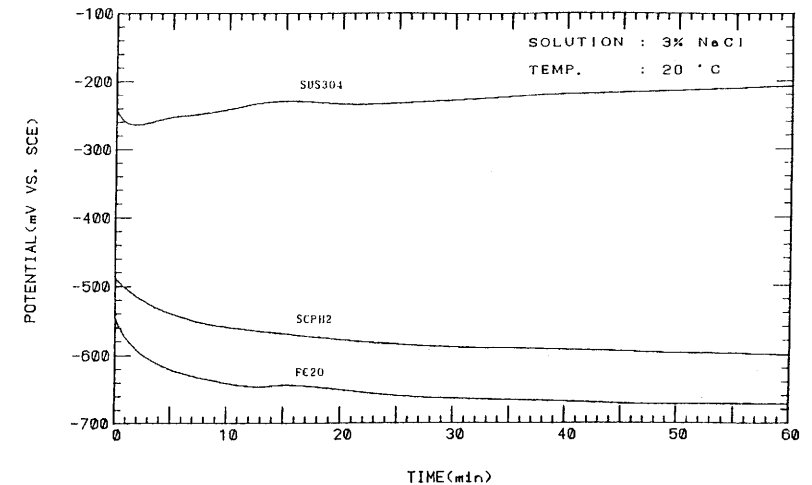


図48 自然電位の経時変化

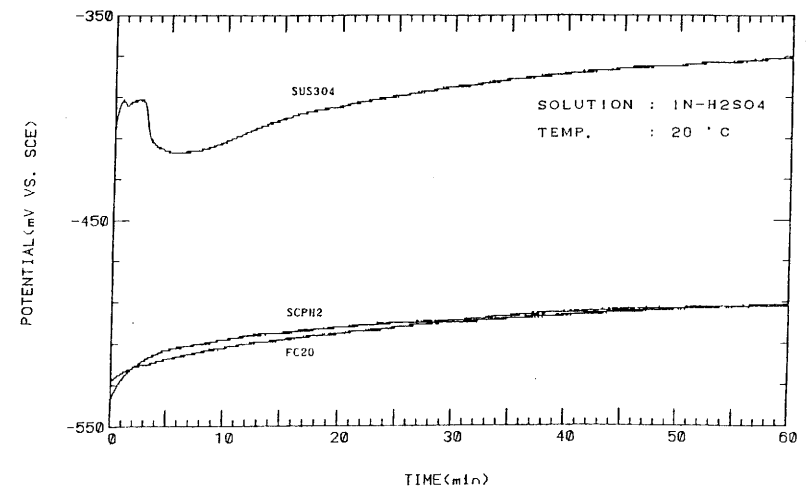


図49 自然電位の経時変化

5・2・2 アノード電位 (曲線)

図50、51、52に食塩水中でのアノード曲線を、図53に硫酸溶液中でのアノード曲線を示す。これらの図から各材質における特徴が読み取れる。すなわち、オーステナイト系およびオーステナイト・フェライト系の材料はある電流まで達すると一時停滞もしくは下り、再び上昇するというパターンである。これは一度活性態になったものがある電位を越えると不動態化(FeCl_2 、 FeSO_4 などの生成)が生じ、試料表面に10~50Åの被膜を生成する。

このためアノード電流は停滞あるいは低下するのであり、腐食の進行を押えることになる。

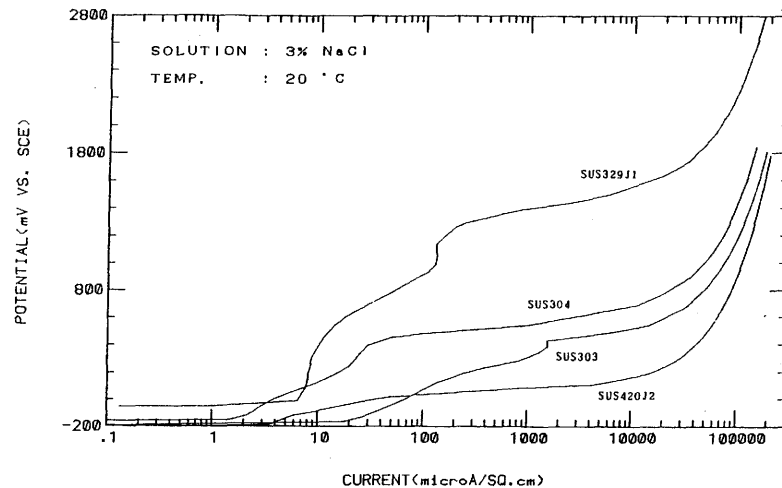


図50 アノード曲線

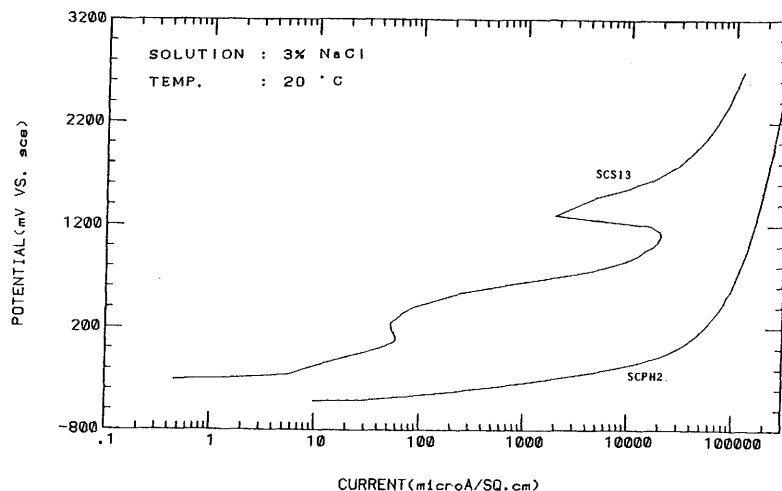


図51 アノード曲線

一方、鑄鉄系材料はこのようなパターンとは全く異なり、ある地点の電流に達すると急激な電位の上昇を起こす。このことから鑄鉄系材料などは電池作用の起こる使用条件下では激しい腐食が生じることが判る。

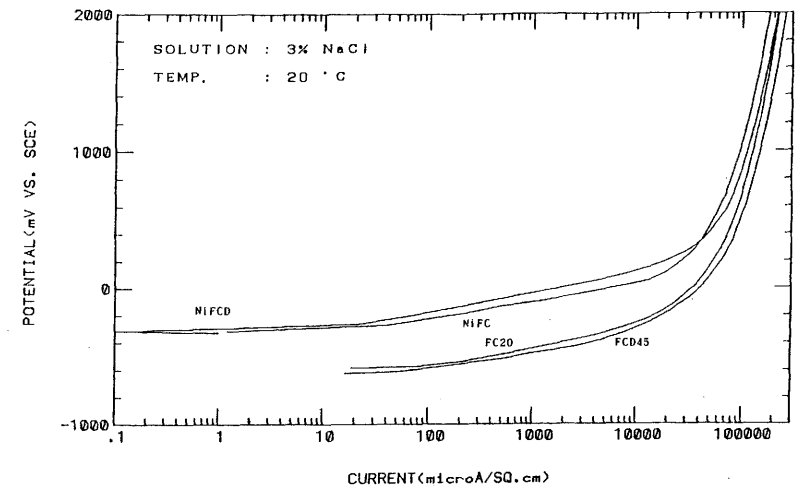


図52 アノード曲線

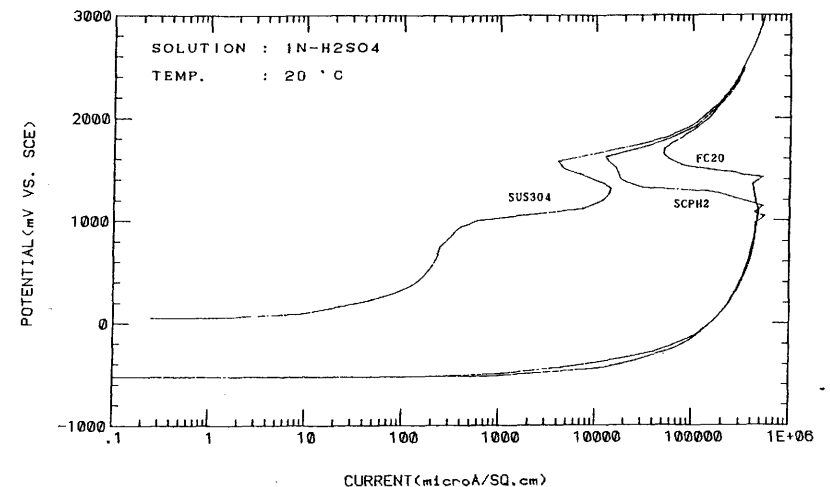


図53 アノード曲線

5・2・3 サイクル電位 (曲線)

前述した自然電位およびアノード曲線により電流、電位と腐食の関係は明らかになったが、ここでは試料の電気化学的反応が如何にして起こるかをみるため参照電極に対する試料電極の

電位をまずカソード（卑）方向に掃引し、続いてアノード（貴）方向に掃引して初期の電位に戻す。（サイクル曲線）今回はこれを3回繰返した。この結果を図54、55、56、57に示すが、これらからつぎのことがいえる。すなわち、材質によって曲線の形状が異なり、SUS304は“8の字”形で全体にゆるやかなカーブを描いているのに対して、SCPH2とFC20は高電流側あるいは低電流側でやや急激な電位の変化がみられる。このことは前者は溶液により若干異なるが腐食開始電位（過不動領域）が高くなっており、この曲線からも腐食反応がほとんど生じていないことが判る。一方、後者は未反応電位帯（不動領域）が短かく、比較的低電位

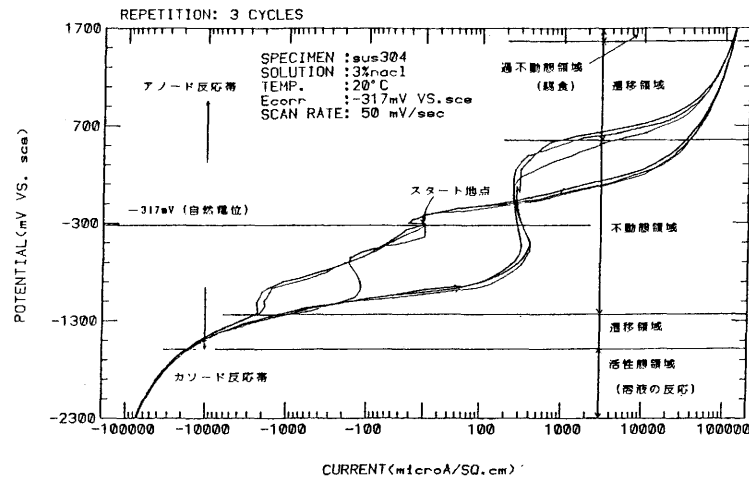


図54 サイクル曲線

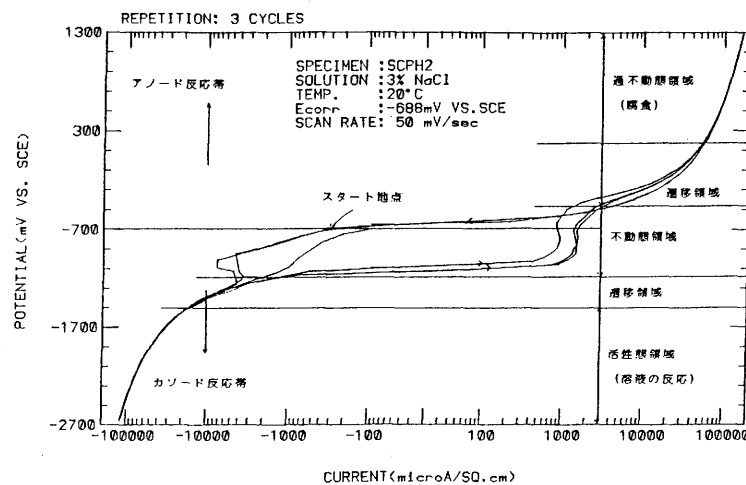


図55 サイクル曲線

から腐食反応を開始する。

カソード帯における水素発生反応の起こる活性態の形態は材質あるいは溶液が異なっても明確な差は認められなかった。

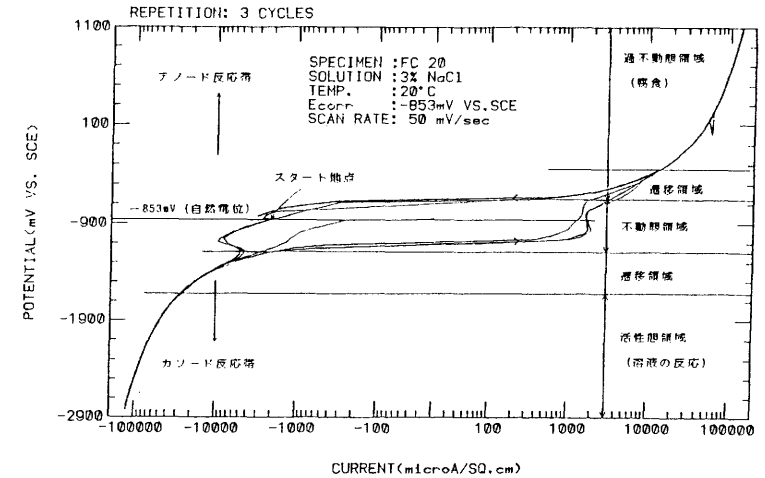


図56 サイクル曲線

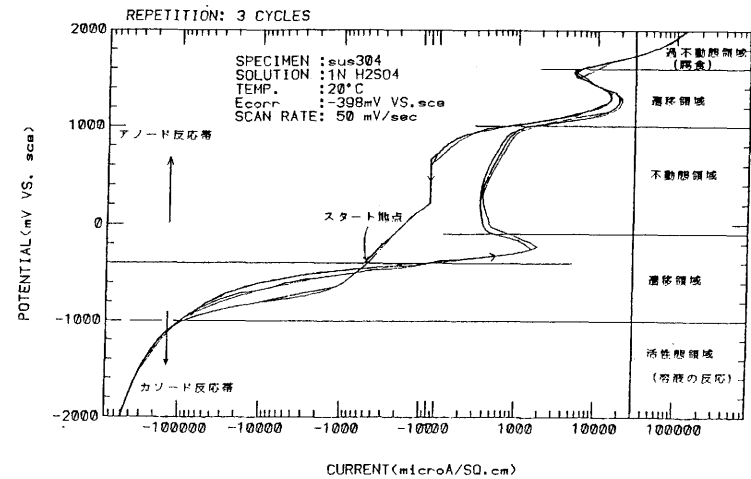


図57 サイクル曲線

6. 応力腐食割れ試験について

バルブが使用中に割れるという事故はしばしば見られ、その原因は種々あるが、その中の一つに応力腐食割れが考えられる。これはバルブがある腐食環境下において引張応力が生じることに起因し、

特にオーステナイト系の材料は粒界割れが多い。

このことから、今回は若干のデータを得るためフェライト、あるいはパーライト地であるFC20とSCPH2について試験を行った。

試験機の概略を図58に示すが、試験片はバイレックス製ガラス管内に装置し、ループ型検力器により手で荷重を加える。試験条件および結果を表10に、試験後の破断した試験片を図59に示す。この結果からFC20は温度に関係なく24時間前後で破断した。これは黒鉛化腐食が一定応力の負荷により進行して破壊したものと考えられる。一方、SCPH2は300時間を越えても破断しなかった。これは試験条件が不適切であったものと思われ、今後試験温度の影響あるいは電位と腐食割れなどについて再度検討したい。

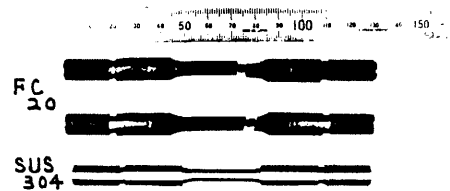


図59 応力腐食割れ試験片

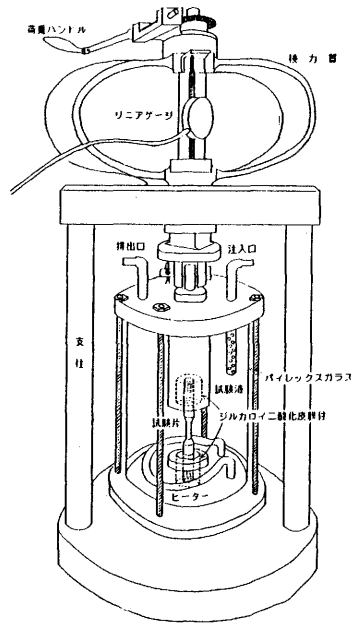
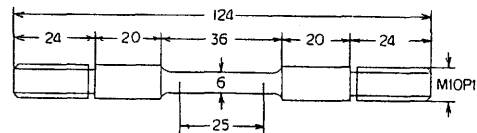


図58 検力器負荷応力腐食割れ試験機概略図

表10 応力腐食割れのTPと試験条件および試験結果

1. TP寸法



2. 試験液 3% NaCl

3. 温度 50℃, 100℃

4. 初期荷重 常温強度の70%

5. 結果 破断時間は下記のとおり

材 質	温 度 (℃)	常 温 荷 重 (kgf)	初 期 荷 重 (kgf)	破 断 時 間 (時間)
FC20	50	764	535	16.2
	100	752	527	24.8
SCPH2	50	1448	1013	1130以上
	100	1567	1097	300以上

7. 結 言

過酷な腐食環境に耐えるバルブ材料の選定と各種の条件に対する適応性などを探るために浸せき、流水、乾湿繰返しなどの腐食試験と分極測定を実施し、検討を加えてきたが、それらを要約するとつぎのことがいえる。

- ① オーステナイト・フェライト系のSUS329J1は試験範囲のいかなる条件下でも抜群の耐食性を示す。
- ② オーステナイト系ステンレス鋼のSUS304および同鉄鋼のSCS13は浸せき、流水、乾湿繰返しなどの腐食試験のいずれにおいても多少の差はあるものの良好な耐食性を示す。
- ③ マルテンサイト系ステンレス鋼のSUS420J2および高温高圧用鉄鋼のSCPH2は浸せき試験において、いずれの溶液にも腐食されるが、特に後者は硝酸沸騰水に極端に弱い。
- ④ Niが添加された鋳鉄 (NIFC, NIFCD) は普通鋳鉄 (FC20) に比べ耐食性が約2～4倍良くなる。NIFCDはどの浸せき溶液下でも平均的に良好な結果を示した。またFC45は硝酸系溶液には比較的強かった。これに反しFC20は一樣に弱いことが今回の試験においても証明された。
- ⑤ 熱処理の影響はオーステナイト系の材質に大きく、腐食に対しては固溶化処理の効果が顕著である。一方、鋭敏化処理材は耐食性が悪く、この温度領域での使用は十分注意しなければならない。
- ⑥ 鋳鉄系材料は強酸流動水に激しく侵かされる。
- ⑦ 流速およびサイクル数と腐食量とは概ね比例関係にある。
- ⑧ 電位と耐食性に明確な相関関係が認められ、高電位になる程、耐食性は良くなる。このことから腐食環境下で安価な鋳鉄系材料を使う場合はNiなどの添加物により電位のアップを図る必要がある。

終りに本研究は昭和60年度技術開発研究費補助事業『鋳造材料の腐食に関する研究』の分担研究課題として実施したものであり、補助金を交付された中小企業庁、研究の遂行に終始御指導をいただいた名古屋工業技術試験所松原弘美主任研究官、および共同研究機関として種々アドバイスを賜った京都府立中小企業総合指導所および沖縄県工業試験場の担当者に対し厚くお礼申し上げます。

(参 考 文 献)

- 1) 歌川寛・安部栄一・棚木敏幸・谷内剛：機械材料の実用知識Ⅱ，技術評論社，(1983)，
165 1) 3)
- 2) 集形材センター：鋳物の腐食特性，(1984)，61⁵⁾，73²⁾
- 3) 小岩正倫著：金属の腐食損傷と防食技術，アグネ，(1983)，4⁴⁾
- 4) 日本鉄鋼協会編：鋼の熱処理，丸善，(1969)，559-568
- 5) 大串徹太郎：防食技術，34-8，(1985)，437
- 6) 吉沢四郎・山川宏二・片桐晃共訳：金属の腐食防食序論，化学同人，(1973)，99，102，111
- 7) 増子 昇：防錆防食技術マニュアル，日本規格協会，(1984)，9，58
- 8) 山川宏二：腐食防食の基礎
- 9) 工藤清勝：鉄鋼材料の海水腐食，(1980)，2
- 10) 須永寿夫：ステンレス鋼の損傷とその防止，(1977)，67
- 11) 松川・西内：滋賀県立機械金属工業指導所研究報告，(1983，1984)，19-41

オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)の 旋削加工条件に関する研究

主 査 樋 口 英 司
主 査 佐 藤 真 知 夫
技 師 酒 井 一 昭

1. はじめに

ステンレス鋼の切削加工については従来多くの研究が行われ、それに適した工具も開発、供給され切削加工データも多く発表されているが、いわゆる最適とされる工具や推奨切削条件で加工しても良い結果が得られないことが生産現場で見聞される。

生産加工現場では工作機械、ワークの形状、被削材の状態が多様であり、また工具形状や切削条件が適正にコントロールされることが必ずしも期待できず、種々の変動要因が複雑に作用するためと考えられる。したがって切削に関する諸研究の成果は加工を行う際の指標が参考データであって、実際の加工に当っては設備機械、ワークの素材、加工条件に合せて修正適用しなければならない。あるいは加工目的に合った工具の選択や加工条件の選定について工場内で実用試験を行う必要も考えられる。しかし、その場合一般に切削実験は相当の時間を要することが多く、また切削条件を限定すれば得られる情報量も少なくなり、実験結果の適用範囲もせまくなる難点がある。

そこで工具、加工条件等の要因をできるだけ多く実験に組み込み、またアウトプットとしての加工特性(切削抵抗、工具寿命、切削後の寸法、仕上面粗さ等々)も多く得られるようにするため実験に統計的手法を活用することが考えられる。ここではオーステナイト系ステンレス鋼の代表鋼種であるSUS304の一般旋削加工条件について、効率のよい直交表による実験計画を適用し、切削条件が加工諸特性に及ぼす影響を調べるとともに実験方法の当否を検討したので報告する。なお、内容については、昭和59年度版で報告した工具摩耗の補足実験結果を付記して、主体をチップングの定量的評価に絞ってまとめている。

2. チップングの定量的評価

工具切れ刃のチップングは脆性的な損傷の一種であって切込量に対する欠けの大きさと欠損と区別するもの、切削継続の可能か否かで欠損またはチップングとするものなどがあり、また破壊の発生時期によって初期欠損とか発生のメカニズムで疲労欠損などと呼称される。

しかしいずれも工具寿命方程式により定式化されやすい摩耗等とちがって不規則で突発的に発生しその傾向が掴みがたい。

チップング、欠損等は工具寿命の短縮やワークに与える悪影響、さらには加工の自動化の点でも有害であり、その発生を抑制するように切削条件、工具の選定を行なうことが重要となる。それ故、切削時における工具刃先形状、チップ材種、切削速度、切込み、送り、切れ刃の処理状態、ブレーカーの選定および切削剤等々が欠損に及ぼす影響についてその傾向を把握し、できれば定量的に評価することが必要である。

脆性的な工具損傷の破壊機構の解析や発生の予測、耐欠損性などに関する研究は相当行われてい

る。

刃先の応力分布の状態を材料力学的に推定し、欠損の発生確率を計算したもの、ワイブル確率分布の各種のパラメータを求め平均寿命を考察したもの、溶着現象をもふくめ切削速度と送りの関係で安全・危険領域を示すとともにすくい面の応力、切削温度との関係で各領域を図示したもの、欠損に進む前段の初期クラックとすくい面の最大主応力の関係を示したもの、切れ刃の研削面とマイクロなき裂の発生に着眼し組織の劣化による衝撃疲労の原因を明らかにしたもの、工具材料内のき裂の成長・伝播過程を破壊力学的に解明しようとしたものなどがあるが、多くは一種の強制劣化試験とも考えられる断続切削を対象にし、衝撃回数と欠損の累積発生確率の関係においてパラメータ評価し、工具の信頼性を示しているようである。

筆者らは現在でもステンレス鋼が摩耗においても欠損性においても一般鋼種とは異った異常損傷を起しやすいことから前述した切削時の諸条件の種々の組合わせがチップングや摩耗の発生にどのような要因効果をもつものか比較的容易に解明できないかと考え、ひとつの特性値に及ぼす要因が多数あると考えられ、また実験の再現性が高いとき、実験量を低減できる方法である直交配列による実験計画と実験データが計量値であっても計数値であっても処理が可能な累積法によるデータの解析法とを組合わせて特性値（チップング・摩耗）に対する要因効果の推定を試みた。この方法は発生の量的態様の複雑なチップング等の定量的な評価には効果が大であると思われる。

3. 実験結果

3・1 要因と水準の選定

切削作業を行う場合に段取りとして考える、図1のような手順がある。

(1) 機械の設定

作業が十分に可能である機械であれば良いが、場合によっては剛性や能力の不足した機械を使用するときもある。

(2) 被削材の設定

材料形状・寸法・種類・硬さおよび熱処理状況など、被削材の情報をつかむ。

(3) 切削条件の設定

切削の3条件として、切削速度、切込み、送りがあり、さらに切削時間や化上面粗さ等も切削作業に影響を与える。切削油についても、油削の種類・供給量や方法を切削条件に入れた。

(4) 工具材種の設定

機械、被削材および切削条件を検討して使用するチップを決める。

(5) 刃先形状の設定

決定したチップの特性を生かす、刃先形状を決める。

この手順をもとに次の制御因子を選定した。①切削速度、②切込み、③送り、④工具材種、⑤バイトの種類、⑥切削油の有無、⑦ホーニング幅、⑧チップブレーカの幅

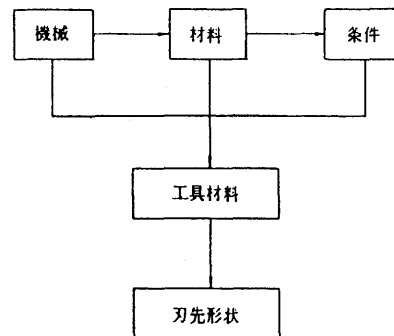


図1 切削条件の手順（技術シリーズ「切削加工」より）

工作機械については、本来取上げるべき条件であるが、実験にあたって自由に設備を選べなかったこと、制御因子の条件選択の幅が広いので、実験結果である程度の一般性を出ることを期待して、因子として取り上げなかった。

被削材については、一般的な難削材の中から、現場サイドで多用途に使用されて比較的安価で手に入る材料として、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）を用いた。

水準選定の基本として一般に現場サイドで見聞されている加工条件を最重点に考え、未熟練者でも対応できる水準幅を選んだ。具体的な内容については、次のとおりである。

① 切削速度

経済性を考えれば、送りをなるべく大きくして、切削速度を上げて加工することが望ましいが、超硬では難削材や鋼類を削るときには適用できない場合が起きる。つまり、超硬工具では低速域で使用する構成刃先のできる領域があるため、この領域外で、使用する旋盤の限度一杯の高速範囲内において、低速50m/min、中速100m/min、高速150m/minの3水準を設定した。

② 切込み

ステンレス鋼の切削において、材料の性質上、加工硬化性が大きいいため、通常的に言われている加工硬化層の厚み0.2mm以下の切込みにすることは、チップングを助長させる。したがって加工硬化層の厚み限度の0.3mm、使用旋盤の高負荷で定速回転域限度の1.0mm、中間域の0.7mmの3水準を設定した。これらの水準は最近の工作機械の高速化、高剛性化の切削領域からみれば、軽切削の範ちゅうに入る切込み量である。

③ 送り

先にも述べた構成刃先のできる領域として、難削材加工専門委員会が述べている臨界速度域がある。これを基に0.1mm/rev、使用旋削の送り限度近くで0.65mm/rev、中間域で0.3mm/revの3水準を設定した。

④ 工具材種

ステンレス鋼（SUS304）に一般的に推奨されているM20、P20等からP20を基準に、耐クレータ性の高いP10、靱性の高いP30の3水準でポジティブおよびネガティブ四角形（穴なし）ブレーカなしのスローアウェイチップを選んだ。他にコーティングやサーメット等がある。しかし、要因中のホーニングとの関係を調べると工具メーカーサイドでホーニングが施されていて、目的に合ったホーニング量の選定が不可能であったので除外した。

⑤ バイトの種類

チップングと刃先強度の関係を調べるため、刃部形状の異なるポジティブ型（0、5、11、11、15、15、0.8）、ネガティブ型（-5、-6、0、0、15、15、0.8）の2水準で、ブレーカ幅の変更が簡単にできるチップブレーカピース付きクランプオン式外径一般切削用スローアウェイバイトを選んだ。

⑥ 切削油の有無

超硬工具には潤滑作用の効果は少ないとされていたが、最近のすぐれた切削剤が難削材の加工に、非常に良い結果を示している点や硫黄分を添加した切削剤は高温になった超硬具の刃先損傷を早めるとされる。これらのことから、塩素系の水溶性切削剤JIS K-2241W3種2号相当を原液の7倍に希釈して、供給量、供給方法を考慮した、強制、ハケ塗り、無の3水準を設定した。

⑦ ホーニング幅

ホーニングは切れ刃の強度を増すため、切れ刃の稜線にマイナス角度をつけることで工具の異常損傷が防止されるが、その形状、大きさによって切削性能に影響する。

ホーニングの種類には、丸ホーニング、チャンファホーニング、複合ホーニングがあって、ホーニング量が同一であれば、丸ホーニングが長寿命であるとされ、ホーニング幅で0.05～0.07mmが良好といわれている。また丸ホーニング、複合ホーニングは処理的に面倒なため、ハンドラップで手研ぎ処理の可能なチャンファホーニングを行い、無、0.05mm、0.1mmの3水準幅を取ることとした。

⑧ チップブレイカの幅

切りくず処理の良いブレイカ幅は、工具寿命にもより良い影響をおよぼすことから、チップングとの関わりも無視できない。したがってチップブレイカピースに刻んである1.5mm間隙の溝を利用して、1.5mm、3mm、4.5mm幅の3水準を設定した。

要因以外の他の条件として、バイト突出し量33mm、被削材のセットをチャックセンタ方式に、切削時間については、切れ刃の比較的小な欠けは摩耗の進行によって判別が困難になることが予想されるので、なるべく短時間に抑え5分間に設定した。

3・2 実験計画の割付け

表1 L18直交表への各要因の割り付けおよび因子と水準

要 因	切 削 試 験 条 件								目 的	水 準				知 り た い 要 因 効 果		
	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角		要 因 と 記 号	1	2	3			
切 削 試 験 条 件	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	バ イ ト の 種 類	A	ポ ジ ティ ブ	ネ ガ ティ ブ	—	す ぐ い 角 の 影 響		
	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	工 具 材 種	B	P20	P30	P10	材 質 の 耐 久 性		
	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 速 度 (m/min)	C	50	100	150	切 削 条 件 の 違 い		
	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	送 り (mm/rev)	D	0.1	0.3	0.65			
	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 速 度 (mm)	E	0.3	0.7	1.0	ラ ン ド 幅 の 影 響		
	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 速 度 (mm)	F	無	0.05	0.1			
	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 速 度 (mm)	G	1.5	3.0	4.5	切 削 処 理 と チ ッ プ ン グ の 関 係 を 知 る		
	切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 剤	H	な し	ハ ケ リ	強 制	切 削 試 験 条 件 の 違 い		
切 削 工 具	切 削 速 度	切 削 送 達	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 切 削 角	切 削 剤	H	な し	ハ ケ リ	強 制	切 削 試 験 条 件 の 違 い			
列 番	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
No.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	1	2	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	5	1	2	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	1	2	3	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	7	1	3	1	2	1	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
	8	1	3	2	3	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	9	1	3	3	1	3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	10	2	1	1	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	11	2	1	2	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
	12	2	1	3	2	2	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
	13	2	2	1	2	3	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2
	14	2	2	2	3	1	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3
	15	2	2	3	1	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	16	2	3	1	3	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	17	2	3	2	1	3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3
	18	2	3	3	2	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1

3・1項で選定した各要因を実験計画法のL18直交表の1列から8列に順次割付けた。表1に各因子の割付けを示す。
なお、L18の18通りの実験で繰返し2回の旋削実験を行った。

4. 計数分類値の分散分析

4・1 累積法によるデータの分類

切削実験後のチップングや摩耗の大きさを前切れ刃および横切れ刃について測定した。

チップングや摩耗の(特性値)のデータはチップングや摩耗が認められない場合や発生してもその数や大きさはまちまちであるなどいわゆる計数値的要素を含むためそのままでは解析できない。そこでチップングや摩耗の程度を分類して計数分類値として扱うために表2の分類方法によりI～V組に級分けしデータを各組に属する度数に置きかえる。

表2 特性値のデータの分類

特性値	分 類	I	II	III	IV	V
チップングの大きさ(mm)	無	0.0001 ～0.001	0.0011 ～0.005	0.0051 ～0.01	0.01 以上	0.01 以上
すくい面摩耗深さ(mm)	0 ～0.003	0.0031 ～0.006	0.0061 ～0.009	0.0091 ～0.012	0.0121 以上	0.0121 以上
最大逃げ面摩耗幅(mm)	0 ～0.01	0.011 ～0.03	0.031 ～0.06	0.061 ～0.09	0.091 以上	0.091 以上
境界摩耗幅(mm)	0 ～0.05	0.051 ～0.01	0.11 ～0.15	0.151 ～0.20	0.201 以上	0.201 以上

チップングの大きさ(複数のチップングの場合はそのなかの主要なもの)はすくい面および逃げ面上の欠けの最大位置から切れ刃稜までの距離の値を乗じ、その数値によって分類した。ただし複数のチップングやチップングの近傍に大きなフレーキングがみられるものは1段階上位に分類し、切れ刃外に存在するものは1段階下位に分類している。

分類する5組について、各組のいずれかに存在すれば1、存在しなければ0として18通り、繰返し2回のデータを整理して密度度数表を作成する。これはデータの各組の出現率を意味するが、2回の繰返し切削の結果

では前切れ刃と横切れ刃を合わせて同一の組に存在するもの42%、続く二組に存在するもの39%、現れた組にばらつきのみられたもの19%で実験の再現性は高いと考えられる。

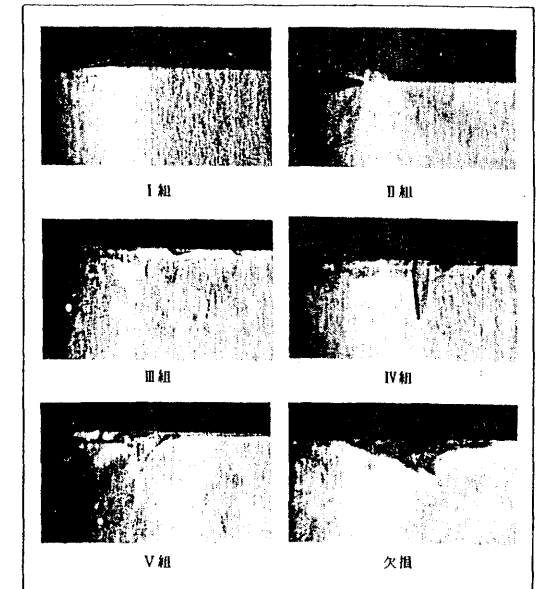


写真1 チップングの分類の一例

チップングの分類の一例を写真1に示す。

4・2 計数分類値の分散分析

累積法での分類データの特徴は、分類の尺度が必ずしも等間隔であるとは限らない。

判定の数をかぞえとか、合格、不合格で判断するのは計数値のデータと言える。切削加工でのチップの損傷を問題とするチップングや摩耗の場合、「ない」、「少しある」、……、「大きい(多い)」などと分類するのは計数分類値として取扱うのが適当である。

このような時、現象を全部まとめて解析を行うために、累積法の分散分析を行う。

I組からV組の間にはチップングや摩耗について、なし、少し、ひどい等の順序の効果がある。

この効果を生かすため、I→II→III…

とデータを累積する。計数分類値を累

積法で解析する場合、分類の組に順位

がつき、しかも、その効果が順位に対

して加法的と考えられる場合、要因効

果は単調性が生じる。したがって、順

位と加法性の両方が備わったデータに

なる。

表3が、このようにしてできた累積

度数表である。

チップングや摩耗は前切れ刃(I₁)

にも横切れ刃(I₂)にも発生するが、

両切れ刃の有意差および各要因との交

互作用を検証するため、I₁とI₂を合

わせたデータについて最初に解析する。

密度度数表や累積度数表についてI₁

とI₂の和を計算してL₁₈とIとの直積

型のデータ構造にし、また計算を容易

にするため要因ごとの各水準について

のデータの集まりとした表(補助表)

をもとにI、A～Hの各要因変動およ

びIとA～Hの各要因との交互作用を

計算する。このとき最終組のV組はす

べて水準ごとのデータ総数となるので

この組は解析に関係なくなりI～IV

組について計算する。

ただし、各組は解析の対象となるデ

ータ数が異なるので、それぞれの組に

重み付けする必要がある。表4からI

表3 累積度数表

No.	I ₁					I ₂					I ₁ I ₂				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	4	4	4
2	2	2	2	2	2	0	0	2	2	2	2	2	4	4	4
3	1	1	2	2	2	0	0	0	1	2	1	1	2	3	4
4	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	4	4	4
5	1	2	2	2	2	0	2	2	2	2	1	4	4	4	4
6	0	0	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	4	4	4
7	0	1	2	2	2	0	1	2	2	2	0	2	4	4	4
8	1	2	2	2	2	0	0	1	1	2	1	2	3	3	4
9	0	0	2	2	2	0	0	0	0	2	0	0	2	2	4
10	1	1	1	2	2	0	0	0	1	2	1	1	1	3	4
11	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4
12	0	0	0	1	2	0	0	1	2	2	0	0	1	3	4
13	2	2	2	2	2	0	0	0	2	2	2	2	2	4	4
14	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	4	4	4
15	2	2	2	2	2	0	0	0	2	2	2	2	2	4	4
16	0	0	0	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	4
17	1	2	2	2	2	0	0	0	0	2	1	2	2	2	4
18	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	3	4	4	4	4
T	15	24	31	34	36	10	14	21	28	36	25	38	52	62	72

表4 補助表(一部抜粋)

要因・水準	I ₁					I ₂					I ₁ I ₂				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
A 1	7	12	18	18	18	4	7	13	14	18	11	19	31	32	36
2	8	12	13	16	18	6	7	8	14	18	14	19	21	30	36
B 1	5	8	9	11	12	4	4	7	10	12	9	12	16	21	24
2	7	10	12	12	12	4	6	8	12	12	11	16	20	24	24
3	3	6	10	11	12	2	4	6	6	12	5	10	16	17	24
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
T (総度数)	15	24	31	34	36	10	14	21	28	36	25	38	52	62	72

組の重みは、

$$W_I = \frac{1}{P_I(1-P_I)} = \frac{1}{25/72(1-25/72)} = 4.41 \quad (P_I: I \text{ 組の出現率})$$

である。他の組も同様にしてW_{II}～W_{IV}を得る。総合した修正項は各組の平方和に、これらの重みを掛け加えれば、

$$CF = CF_I \times W_I + \dots + CF_{IV} \times W_{IV} \\ = 25^2/72 \times 4.41 + \dots + 62^2/72 \times 8.36 = 752.06 \quad (f=4)$$

となる。また総合したIおよびAの平方和は、

$$S_I = \left(\frac{15^2+10^2}{36} - CF_I \right) \times W_I + \dots + \left(\frac{34^2+28^2}{36} - CF_{IV} \right) \times W_{IV} = 7.93 \quad (f=1 \times 4)$$

$$S_A = \dots$$

となる。他の要因についても、これと同様な計算を行うが、Iと各要因との交互作用は例えば、

A×Iの場合、

$$S_{A \times I} = \left(\frac{7^2+8^2+4^2+6^2}{18} - CF_I \right) \times W_I + \dots + \left(\frac{18^2+16^2+14^2+14^2}{18} - CF_{IV} \right) \\ \times W_{IV} - S_A - S_I = 0.52 \quad (f=1 \times 1 \times 4)$$

のようにして求める。以下同様に他の要因の交互作用も計算する。

この計算の結果、表5の分散分析表

が得られた。このなかでI、A、B、

C、E、E×Iの効果が大きく、特に

Iの有意差が大きいことがわかる。

効果の大きい要因について図示すれ

ば図2のようになる。要因Aは図から

I組だけを見るかぎりA₁よりA₂が良

いと判断されるが、I～IV組で全体的

に見れば大差ないと言えそうである。

前切れ刃と横切れ刃に有意差がある

ことが分ったのでここでI₁とI₂に分

けて累積法の解析を行ってそれぞれの

要因効果を求めればよい。この結果は

表6の分散分析表で示される。

表5 分散分析表

要 因	f	S	V	ρ (%)
I (切れ刃の違い)	4	18.20	4.55	5.42
A (バイトの種類)	4	7.93	1.98	1.86
B (工 具 材 種)	8	17.35	2.17	4.22
C (切 削 速 度)	8	16.25	2.03	3.84
D (送 り)	8	7.79	0.97	—
E (切 り 込 み)	8	30.21	3.78	8.64
F (ホ ー ニ ン グ)	8	2.84	0.35	—
G (チップブレイカ幅)	8	5.57	0.70	—
H (切 削 剤)	8	5.04	0.63	—
A×I (交 互 作 用)	4	0.52	0.13	—
B×I (")	8	6.36	0.80	—
C×I (")	8	3.90	0.49	—
D×I (")	8	11.34	1.42	2.13
E×I (")	8	24.97	3.12	6.86
F×I (")	8	1.73	0.22	—
G×I (")	8	13.47	1.68	2.87
H×I (")	8	2.17	0.27	—
e (誤 差)	160	112.36	0.70	64.16
e' (○印ブール)	228	148.28	0.65	—
T (合 計)	284	288.00		100.00

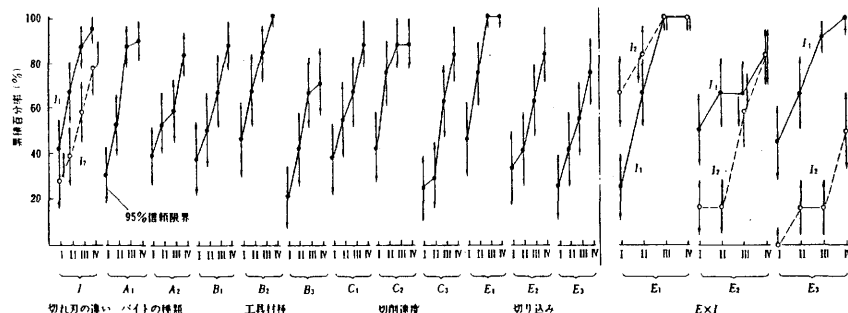


図2 効果の大きい要因の累積百分率

要 因	f	I ₁ (前切れ刃)			I ₂ (横切れ刃)			E(V)
		S	V	ρ (%)	S	V	ρ (%)	
A (バ이트の種類)	4	8.04	2.01	3.18	3.41 ●	0.85	—	$\sigma_e^2 + 18\sigma_A^2$
B (工 具 材 種)	8	10.05 ○	1.26	—	11.73	1.47	5.23	$\sigma_e^2 + 12\sigma_B^2$
C (切 削 速 度)	8	17.00	2.12	7.00	5.81 ●	0.73	—	$\sigma_e^2 + 12\sigma_C^2$
D (送 り)	8	8.00 ○	1.00	—	11.03	1.38	4.75	$\sigma_e^2 + 12\sigma_D^2$
E (切 り 込 み)	8	12.33 ○	1.54	—	55.50	6.94	35.63	$\sigma_e^2 + 12\sigma_E^2$
F (ホ ー ニ ン グ)	8	2.21 ○	0.28	—	2.92 ●	0.37	—	$\sigma_e^2 + 12\sigma_F^2$
G (チップブレーカ幅)	8	15.33	1.92	5.85	9.05	1.13	3.37	$\sigma_e^2 + 12\sigma_G^2$
H (切 削 剤)	8	6.58 ○	0.82	—	1.53 ●	0.19	—	$\sigma_e^2 + 12\sigma_H^2$
e (誤 差)	80	64.46	0.81	83.97	43.01	0.54	51.02	σ_e^2
e' (○ 印 プ ー ル)	120 (108)	103.63	0.86	—	(56.69)	(0.52)	—	—
T (合 計)	140	144.00	—	100.00	144.00	—	100.00	—

表6 前切れ刃・横切れ刃の分散分析表

5. 実験結果の検討

図2から明らかなように、前切れ刃に比べて横切れ刃により多くチッピングや摩耗が生じているため横切れ刃について検討する。

表6の分散分析表で、効果の認められる各要因について水準間の度数を補助表により調べた。

5・1 チッピング

I₂ (横切れ刃) における耐チッピング性に効果の認められる要因と水準は、

B ₂ (工具材種)	P 30
D ₁ (送 り)	0.1 mm/rev
E ₁ (切 込 み)	0.3 mm
G ₁ (ブレーカ幅)	1.5 mm

であるが他の要因についても考察した。

(A) バイトの種類

A₁ (ポジティブ型)とA₂ (ネガティブ型)では、図2からわかるように、A₁の1組を除いて他は、A₂と同等か上位になっているが、全体的にみてもA₁とA₂では大差がないと云える。刃先強度の観点からネガティブが有利と思われるが振動、びびりが発生しやすくチッピングに影響したと考えられる。

(B) 工具材種

この実験にとりあげた工具材種の中で最も靱性に富んだP30に効果が認められる。

(C) 切削速度

図2から、切削速度50および100 m/minを比較すれば、わずかながら100 m/minに、耐チッピング性に対して効果がある。このことは、後の送りと関係づけて考えると図3のSUS304正常領域の下限に一致している。したがって、切削速度がこれ以下になれば、構成刃先等の影響を受け、チッピングが促進されると考えられる。

(D) 送り

前項の切削速度と関係づけた図3から、送りは0.1 mm/revとなる。このことは、本実験の結果と合致するところで、特に難削材では、送りが減少すると工具の内部応力の強大な領域が減って、チッピング確率を減少させるためであろう。

(E) 切込み

耐チッピング性からみた軽切削域での切込みは、加工硬化層の深さ0.2 mm程度以上で小さな切込みの0.3 mmが適していると云える。

(F) ホーニング幅

ホーニング幅は使用する送りの1/2程度が適当で、過少では刃先の靱性効果は少なく、過大では工具摩耗が増すといわれることから、耐チッピング効果のでている送り0.1 mm/revの1/2で0.05 mm幅のホーニングが、本実験とも符合した耐チッピング性に適したホーニング幅と云える。

(G) ブレーカ幅

切屑の切れ方は、送りを大きく、スクイ角を小さくするほど切れやすい。一方、ブレーカの幅が狭すぎると刃先にかかる圧力が増加して、チッピングに悪影響を与えるためブレーカ幅の見当は、送りの8倍くらい、深さは送りと同じくらいが通説とされている。本実験で効果のでた送り0.1 mm/revの8倍である0.8 mm幅で良いことになるが、使用したチップブレーカピースに刻まれた最小幅1.5 mmのブレーカ幅に効果がでた。これは、工具寿命を長くするブレーカ形状として推奨される。すくい角が大きく、ブレーカ幅が広く、ブレーカの立上がり角度の弱い形状とも合致した

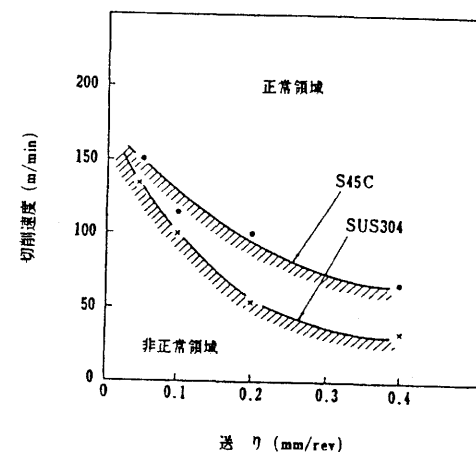


図3 適正切削速度範囲(竹山)——切り込み1.0 mm, 工具: P30 (0, 5, 6, 6, 15, 15, 0.8)

適切な結果が得られている。

(H) 切削剤の有無

ハケ塗りに一応の効果が認められるが、切削剤なしと比較してもその差はないと考える。このことは、切削剤の有無が耐チップング性に与える影響を短時間で判断することはむづかしいと云える。

5・2 フランク摩耗

効果の認められる要因と水準は、

A ₂ (バイトの種類)	ネガティブ型
B ₃ (工具材種)	P 10
C ₁ (切削速度)	50m/min
D ₂ (送り)	0.3mm/rev
F ₃ (ホーニング幅)	0.1mm

(A) 工具材種

水準の中で耐摩耗性の良いP 10に効果が認められ、妥当な結果が得られた。

(B) 切削速度

50m/minと低速側に効果が出ている。このことは、SUS304等の難削材では、一般的に構成刃先の消滅する速度も低くなり、適正切削速度の範囲は低い方に移行するとされる定説と一致する。

(C) 送り

図3の適正切削速度範囲にみられるように送りと切削速度には、密接な関係がある。

SUS304に対して、切削速度50m/minでは送り0.25mm/rev以上が妥当なことから、効果のでている送り0.3mm/revは最適値である。

(D) ホーニング幅

補助表から0.1mm幅が極めて良い結果を上げていることが理解できる。刃先の形状的な靱性を向上させるには、くさび角と刃先角を大きくとれば強くなるといわれ、中でもスクイ角と逃げ角の影響が最も著しいが、スクイ角を著しく負にすると切削動力や工具摩耗の点で不利となる。したがって一般的には切れ刃稜だけを0.1~0.2mm程度、刃先をころしている。また、この幅は使用する送りの1/2~1/3が適当な値とされる点とも合致しており、通説の正しいことが理解できる。

5・3 境界摩耗

効果の認められる要因と水準は、

B ₃ (工具材種)	P 10
C ₁ (切削速度)	50 m/min
D ₃ (送り)	0.65mm/rev
E ₁ (切込み)	0.3mm
H ₁ (切削剤の有無)	無

5・4 クレータ摩耗

効果の認められる要因と水準は、

B ₃ (工具材種)	P 10
C ₁ (切削速度)	50m/min
D ₁ (送り)	0.1mm/rev
F ₃ (ホーニング幅)	0.1mm
H ₂ (切削剤の有無)	ハケ塗り

前項のフランク摩耗で効果の認められた要因と水準に合致するものを除き検討した。

図4は表8の分散分析表で、効果の認められる要因の中から、切削諸元について累積百分率を求め図にしたものである。この図から摩耗に関係して水準が合致している要因は、バイトの種類、工具材種、切削速度、ホーニング幅であって、送りを除いた他の要因については、水準間に大きな違いはないと考えられる。

しかし、送りについてはフランク摩耗、境界摩耗、クレータ摩耗のそれぞれの特性値によって効果の認められる水準が異っている。このことから、それぞれの摩耗に大きな影響を与える要因は送り量の違いにあることがわかる。

図4 切削諸元の累積百分率

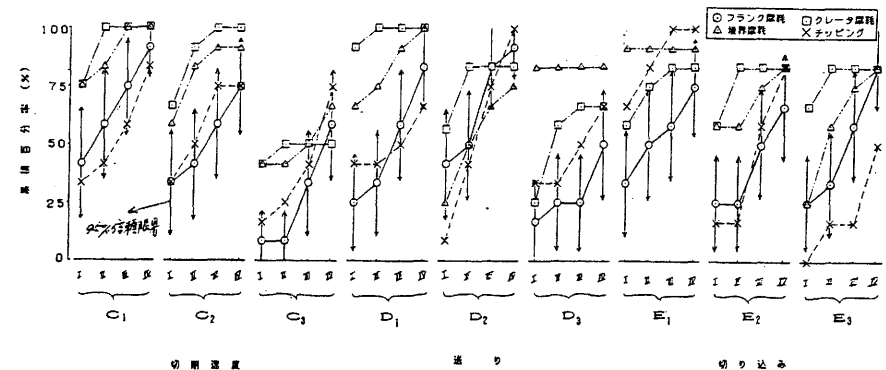


表8 各種特性値の分散分析表 (累積法)

要 因	f	フランク摩耗		境界摩耗		クレータ摩耗		チップング	
		V	ρ (%)	V	ρ (%)	V	ρ (%)	V	ρ (%)
A (バイトの種類)	4	1.96	3.43	0.65	0.41	0.56	1.02	0.85	0.89
B (工 具 材 種)	8	1.69	5.40	2.11	8.90	2.51	12.86	1.47	5.16
C (切 削 速 度)	8	2.27	8.61	3.29	15.47	5.35	28.68	0.73	1.05
D (送 り)	8	2.27	8.61	2.26	9.73	3.47	18.23	1.38	4.68
E (切 り 込 み)	8	0.38	—	2.13	9.03	0.07	—	6.94	35.56
F (ホ ー ニ ン グ)	8	2.03	7.25	0.61	0.60	2.07	10.41	0.37	—
G (チップブレーカ幅)	8	0.78	0.30	0.90	2.17	0.07	—	1.13	3.30
H (切 削 剤)	8	0.37	—	1.32	4.54	2.25	11.41	0.19	—
e (誤 差)	80	0.72	66.40	0.51	49.15	0.19	17.39	0.54	49.36
T (合 計)	140		100.00		100.00		100.00		100.00

6. 最適条件の推定

表6の分散分析表から効果の大きい要因の組合せについて百分率の推定を行う。

組合せB₂D₁E₁G₃の各組の百分率を求めるわけであるが、百分率には加法性がないのでオメガ変換を行いデシベル値にする。この時の百分率には累積度数を用いる。

推定値を $\hat{\mu}$ とし、総平均をmとすれば、

$$\begin{aligned}\mu &= m + (B-m) + (D-m) + (E-m) + (G-m) \\ &= B + D + E + G - 3m\end{aligned}$$

例えば、B₂D₁E₁G₃のI₂(横切刃)のI組の場合では、

$$\begin{aligned}\hat{\mu}_{I_2} &= (4/12\text{のdb}) + (5/12\text{のdb}) + (8/12\text{のdb}) + (5/12\text{のdb}) - 3 \times (10/36\text{のdb}) \\ &= (33.3\%\text{のdb}) + (41.7\%\text{のdb}) + (66.7\%\text{のdb}) + (41.7\%\text{のdb}) - 3 \times (27.8\%\text{のdb}) \\ &= -3.010 - 1.461 + 3.010 - 1.461 + 3 \times 4.150 \\ &= 9.527\text{db} \cdots \cdots 90.0\%\end{aligned}$$

信頼限界は

$$\begin{aligned}\hat{\mu}_{I_2} \pm \sqrt{F_{30}^1(0.05) \frac{Ve \hat{\mu}_{I_2} (1 - \hat{\mu}_{I_2})}{ne}} \\ = 0.900 \pm \sqrt{3.96 \times \frac{0.5200 \times 0.900 \times (1 - 0.900)}{4.000}} \\ = 0.900 \pm 0.216 \\ ne = \frac{140 + 4}{4 + 8 + 8 + 8 + 8} \\ = 4.000\end{aligned}$$

以下、同様にして、II～IV組も計算できる。一般的に選定されるサイズ・オブ・カットの組合せとしてB₁D₂E₃G₂を選び、実験データから横切れ刃に生じるチップングを推定し、この推定値と最適条件の推定値を比較した。(表7)

表7 最適組合せ条件と通常の切削条件の百分率推定
(括弧内は累積百分率を示す) (%)

加工条件	I	II	III	IV	V
B ₂ D ₁ E ₁ G ₃ (耐チップング性のある 最適組み合わせ)	(90.0) 90.0	(90.8) 0.8	(100.0) 9.2	(100.0) 0	(100.0) 0
B ₁ D ₂ E ₃ G ₂ (通常の切削条件)	(0.3) 0.3	(5.3) 5.0	(23.4) 18.1	(100.0) 76.6	(100.0) 0

通常の条件では99.7%がI₂(横切れ刃)にチップングを生じていると考えられるが、本実験の最適条件の組合せでは10%のチップングにおさえられる。したがって通常の条件よりも9倍程度の耐チップング効果を得られることが可能と考えられる。

7. 確認実験

前項の結果、得られた最適条件の組合せによる耐チップング効果を確認するため、適当に2組の組合せを選び、繰返し2回の切削実験を行った。これらの組合せは、次のとおりである。(○で囲んだものは最適条件の組合せ)

$$\begin{aligned}A_2(B_2)(C_2)(D_1)(E_1)F_2(G_3)H_1 \cdots \cdots \textcircled{1} \\ A_1(B_2)(C_1)(D_1)(E_1)F_3(G_3)H_3 \cdots \cdots \textcircled{2}\end{aligned}$$

最初は切削時間を5分にして確認実験を行ったが、いずれの場合もチップングが認められなかった。チップを新しいものに交換し、切削時間を15分延長したところ①の組合せでは、切屑の流れにそったクレータ面に溝状の摩耗が確認されたが、チップングは認められなかった。

②の組合せについては、2回のうち、1回にわずか1個の極小な(大きさ0.0001～0.001mm³)チップングが認められた。

8. ま と め

SUS304の旋削条件における耐チップングと摩耗の評価について、累積法による検討を行った結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 耐チップング性については、工具材種、送り、切込みおよびブレーカ幅が大きな影響を与える。中でも切込み量が耐チップング効果を大きく左右させる。また、データから切込み量が比較的大きい場合に、境界摩耗が発達しやすく、その近辺にチップングが生じることがうかがえる。
- (2) 機械の剛性や振動がネガティブ型バイトの切削条件に大きく影響する。
- (3) ポジティブ型バイトを用いた本実験の最適条件では、3.2S～6.3Sの仕上面粗さに旋削できる。
- (4) 本実験で得た耐チップングの最適条件は、20分寿命の判定にも十分使用可能であることが確認できた。
- (5) 耐フランク摩耗については、バイトの種類、工具材種、切削速度、送り、ホーニング幅が大きな影響を与える。
- (6) 境界摩耗とクレータ摩耗については、工具材種、切削速度、送りが双方に大きな影響を与える。境界摩耗については、他に切り込みが、クレータ摩耗については、ホーニング幅と切削削がそれぞれに影響を与える。
- (7) 耐チップング、耐摩耗性にすぐれたバイトは、刃先強度が十分なネガティブ型バイトが適している。
- (8) 耐摩耗性に適した工具材種は、メーカーの推奨値どおり耐摩耗グレードの高い材種である。
- (9) 耐摩耗性に適した切削速度は、50m/minの低速側が有利である。
- (10) 耐摩耗性に適したホーニング幅は0.1mmで通説と一致した結果が得られた。
- (11) 耐摩耗性には送り量の変化が極めて大きな影響を与える。

(参 考 文 献)

- 1) 機械振興協会技術研究所：加工技術データファイル，第1巻，1976
- 2) 佐野清人：切削加工技術データ集，新技術開発センター，1976
- 3) 垣野義昭・青木喜代志・辻勇二：難削材の切削加工技術講習会テキストⅠ・Ⅲ・Ⅳ，大阪府機械加工技術センター協力会，1985
- 4) 住友電工粉末合金事業部：イグタロイ切削工具ガイドンス，1985
- 5) 佐藤素・渡邊忠明：技術シリーズ 切削加工，朝倉書店，1984
- 6) 難削材加工専門委員会：知りたい切削の急所（13版），ジャパンマシニスト社，1984
- 7) 倉田忠雄：ステンレス鋼の切削加工，日刊工業新聞社，1966
- 8) 矢野宏：計測管理工学入門，工業調査会，1984
- 9) 矢野宏：誤差の誤差，菱光技報第17巻198号（1980）

バルブ材料の熱疲労と衝撃強度に関する研究

主 査 樋 口 英 司
主 査 佐 藤 真 知 夫
技 師 酒 井 一 昭

1. は じ め に

バルブ主要材料が各種の使用温度条件下で用いられた場合の材料の靱性変化を知る事は設計上の重要な課題である。例えば、低温域で使用される低温高圧用鋼品（SCPL）は、十分な靱性等を得る必要性から化学成分の調整や熱処理による金属組織の改善が行われるが、材料の強度評価の実際はある特定の材料試験規格に従って実施した試験結果で判断される事が少なくない。この事は他の材料であっても同様で、結局、このような試験によるデータだけでは実際の強度問題を考える上で無理を生じることになる。

既に、昭和59年度に製品の实体強度を推定する時に問題となる材料の組織状態（熱処理）、製品の形状、寸法、さらに環境条件としての加熱・冷却といった温度変化の繰返しが耐衝撃性に与える影響を調べたので、今年度は熱疲労を与えた材料に発生する衝撃荷重を測定し、熱疲労と衝撃強度の関係について検討した。以下にその結果を報告する。

2. 熱疲れと破壊現象^{1) 2)}

熱疲れは温度変化が繰返し起ることにより生じる材料の疲れ現象であるが、急激な加熱、冷却などによって衝撃的な熱応力が作用し少数回の熱負荷で破壊するような現象（熱衝撃）とは区別されている。

一般に、熱膨張係数が大きく熱伝導率が小さい材料ほど熱応力もそれだけ大きくなる。ある種の材料では、微視的な熱応力の発生が問題となるが、普通の鋼材は巨視的な熱応力を生じるので、この種の材料の熱疲れ現象を知るには試験する部材に何らかの外部拘束を施し熱負荷を繰返し与える試験を行う必要がある。

熱疲労を調べるには、イ）Coffin型熱疲労試験機、ロ）電気油圧サーボ方式熱疲労試験機、ハ）ヒートチェック試験機などがある。イ）はL.F.Coffinが単軸応力下の熱疲労試験をはじめて実施した時に開発したもので、その後、日本材料学会の高温強度部門委員会で試験方法の標準化が検討された。

しかし、熱疲労試験機による各種の実験結果からは熱疲労の程度がはっきりしているとは言えず、定量的な把握が困難なのが実状のようである。熱応力の大小を支配する要因は、部材の形状・寸法と材質的な物性である熱伝達係数、熱伝導率、線膨張係数、弾性係数、そして温度変動下の材料の弾塑性挙動、組織の変化が相互に関連していると言われている。また破損繰返しを支配している外的条件にひずみ範囲、応力範囲、温度範囲と平均温度、平均応力、ひずみと温度サイクルの位相関係、繰返し速度などが挙げられ、複雑であることも示されている。

さて、ここで熱疲れによる鋳鉄、鋳鋼の破壊現象を考えてみる。最近、刊行された疲労強度に関する設計資料を見る限り適当な熱疲労強度のデータがないので、熱負荷で問題となる繰返し数が10～

10⁵程度で、熱疲労強度を支配する基本的因子がひずみ範囲であることなどから、塑性疲れにおける低サイクル疲労を考え、検討してみた。

当所に持込まれる依頼試験のうち、機械的強度の試験はFC20、FCD45等の铸铁が圧倒的に多い。そこで、この2種相当品を事例に説明することにし、他の材種については説明を省略する。

1) FC20相当品

各種の低サイクル疲労曲線の表示があるが、材料を使用する場合、あるいは各種部材の応力解析を行う場合には弾性ひずみ範囲を基に、一方、危険な使用条件や塑性変形時の寿命を問題とする時には全ひずみ範囲を基に考えた方が理解し易いと思われる。まず、Basquin則により弾性ひずみ範囲を調べる。Basquin則は弾性ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_e$ と疲労寿命 N_f に次式の関係を当てはめている。

$$\Delta\epsilon_e N_f^{k_e} = C_e \quad (2 \cdot 1)$$

変形すれば、

$$\Delta\epsilon_e = C_e N_f^{-k_e} \quad (2 \cdot 2)$$

$\Delta\epsilon_e$: 弾性ひずみ範囲
 C_e : 疲労強度係数
 N_f : 疲労寿命
 k_e : 疲労強度指数

ここで、ある種の試験で得た $C_e=1$ 、 $k_e=0.1$ の係数を使用し、さらに $N_f=10^4$ を低サイクルの限界として与えれば、

$$\Delta\epsilon_e = 1 \times (10^4)^{-0.1} = 10^{-0.4} \approx 0.4$$

次に全ひずみ範囲を $C_p=1$ 、 $k_p=0.5$ とし、(2・3)式で計算すれば、

$$\Delta\epsilon_t = C_e N_f^{-k_e} + C_p N_f^{-k_p} \quad (2 \cdot 3)$$

$$\Delta\epsilon_t = 0.4 + 1 \times (10^4)^{-0.5} \approx 0.41$$

$\Delta\epsilon_t$: 全ひずみ範囲
 C_p : 疲労延性係数
 k_p : 疲労延性指数

となる。

2) FCD45相当品

FCの場合と同様にして計算すれば、

$$\Delta\epsilon_e \approx 0.4, \Delta\epsilon_t \approx 0.5 \text{ を得る。}$$

以上から、低サイクル疲労は弾性ひずみ範囲ではFC、FCD共に0.4%以上で、全ひずみ範囲ではFCは0.41%、FCDは0.5%以上が重要となることが分る。

3. 熱疲れに関する各種の実験³⁾

熱疲れ現象は各種要因が複雑に絡み、その効果を定量化することは非常に困難である。しかし、熱疲労強度を支配する最も基本的因子はひずみ範囲である事は既に記述した。

次の1)～3)の実験例は、材料にひずみを発生させるための要因効果を検討するために行った

実験である。

1) 試験片が拘束される場合

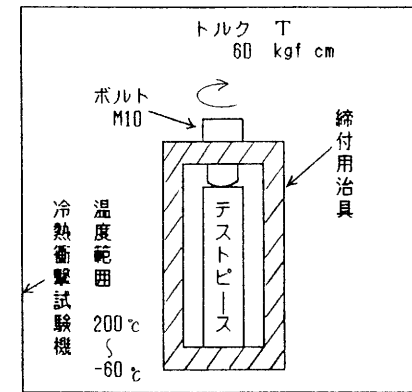


図1 熱疲れ試験

実験に用いた試験片は、FCD45およびSCPL1で、熱疲労を与えた後に衝撃試験が実施できる形状・寸法(JIS Z 2202、3号試験片)である。この試験片を図1のような治具に固定し60kgfcmのトルクをボルトに施し締め付けた。またこの状態で冷熱衝撃試験機の中に設置し、図2で示される-60～200℃の温度範囲の加熱、冷却を交互に施すことにより生じる温度勾配の繰返しを試験機の2ゾーン方式で120サイクル与えた。

熱疲労負荷後、持ち上げ角度140度、試験温度20℃の条件下で衝撃試験を実施したが、FCD45、SCPL1共に熱疲労前後で大差はなかった。

2) 試験片(熱処理、寸法、形状)が異なる場合

SCPL1について、試験

片の拘束はないが、熱処理、冷熱の温度範囲、断熱条件、形状・寸法が異なる表1のような4種類の試験片を用いて衝撃および硬さ試験を行った。表中のデシベル値(db)は冷熱サイクル数と各特性値(振上がり角度、ロックウェル硬さ)との相関性を調べるため、

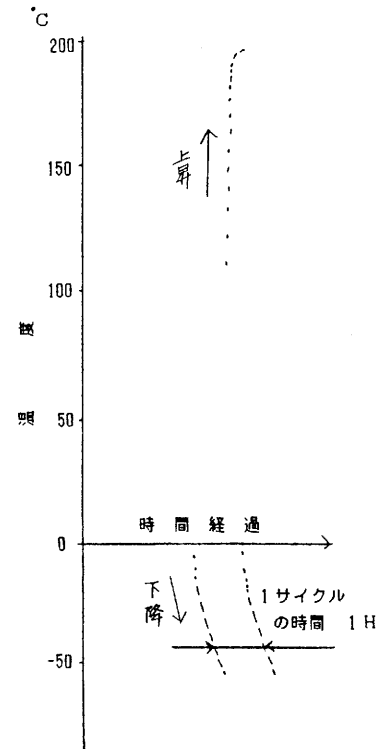


図2 テストエリア内の雰囲気温度

表1 冷熱環境条件の影響
(衝撃及び硬さ試験について)

単位: db

No	熱処理, 温度範囲℃, 断熱条件, 試験片	衝撃試験	硬さ試験
1	徐冷, 20～-20, 全面, 無溝	-2.08	6.17
2	急冷, 110～-40, 裏半分, 無溝	10.85	4.81
3	徐冷, 110～-40, 裏半分, 横溝	0.37	-8.36
4	急冷, 20～-20, 全面, 縦溝	2.94	9.92

各サイクル毎の効果を $\eta = 10 \log \left\{ \frac{1}{r} \frac{(S\beta - V_e)}{V_e} \right\}$ (db) にて変換し解析した一次回帰により求められるSN比を意味する。この数値が大きい程、それだけ冷熱サイクル数の影響を受け易いことになる。図3にその傾向を示した。また図中の曲線は二次回帰式により近似した。

表1、図3で分るように、冷熱の繰返しにより硬さも影響を受けるが、その変化よりも衝撃強度は著しく損なわれる事が認められる。

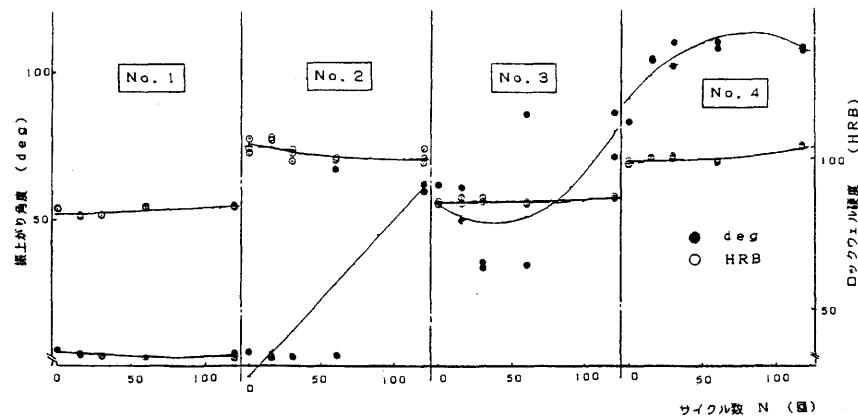


図3 冷熱サイクルの影響

3) 衝撃試験における試験温度が異なる場合

FCD45について、衝撃試験を実施する場合、どの温度で行えば熱処理の違いをうまく検出できるか(精度の高いデータを得ることができるか)を調べるため、20℃、-20℃、-60℃の3段階に試験温度を変え、焼なまし材、鍛造材、焼入れ材の3種類の試験片で衝撃試験を行った。ここでは、検出感度の高い試験温度を熱処理の効果を利用して探ることが重要なポイントである。従って、熱処理効果を

$$\eta = 10 \log \left\{ \frac{1}{r} \frac{(V_H - V_e)}{V_e} \right\} \text{ (db)}$$

の変換式で調べた。図4は、この解析結果を図示したものである。

図では20℃で試験を行う方が低温の場合に比べて熱処理の効果を良く検出することを示している。換言すれば、低温下での試験で、熱処理の違いがなかったものが、常温では明確な違

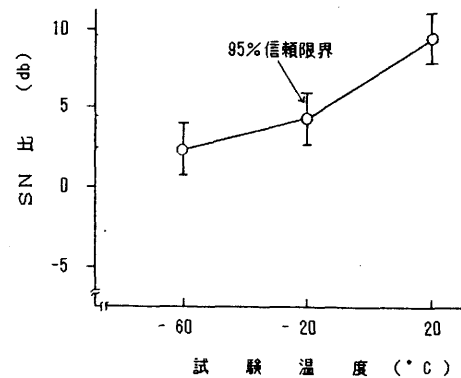


図4 試験温度と熱処理性の検出感度との関係

いが衝撃値に反映してくる。

記注：2)、3) で用いた記号の意味は次のとおりである。

- η : SN比
- r : 有効除数
- $S\beta$: 1次効果の変動
- V_H : 熱処理の分散の大きさ
- V_e : 誤差分散

4. 衝撃荷重の測定

我々は、通常、材料の衝撃に対する抵抗を知るため衝撃試験を実施する。各種の衝撃試験の中でも、シャルピー衝撃試験は最も広く行われている。しかし、試験によって得られるデータは材料が破壊するまでに消費したエネルギー(衝撃値)のみでしか示されない。一方、高靱性材についてJIS、ASTM両タイプの試験機による試験値間には、吸収エネルギーで約10kgf・mもの差があり、試験時の破壊現象において、き裂の発生とその伝播に要するエネルギー以外に打撃刃先の形状がもたらす塑性変形量の差異が吸収エネルギー値に影響すること等が報告されている。

このような理由から、荷重速度が著しく速い場合に生じる破壊である衝撃破壊においても、荷重-時間曲線(変位-荷重曲線)を調べる事が重要になる。

衝撃時の荷重変化を調べるた

め、JIS B 7722で言う衝撃刃の形状をしたロードセルを30kgf・mシャルピー衝撃試験機のハンマ部に取り付け、これを自動平衡式動ひずみ測定器に接続させた。図5が衝撃波形を捉える計測システムである。また表2は測定に使用したロードセルの様式である。

図6はSCPL1、FCD45を持つ上げ角度140degのもとに衝撃試験を行った時の衝撃波形である。なお、試験片はJIS Z 2202の3号試験片とした。理解を容易にするため得られたデータを表3のように整理し

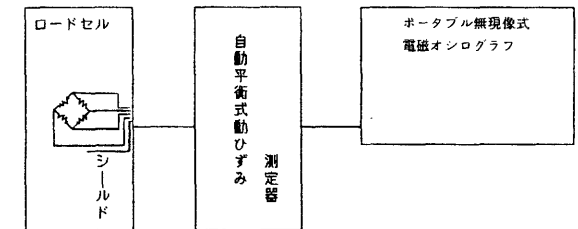


図5 衝撃波形の計測システム

表2 ロードセルの様式

品名	5 Tonf 圧縮型ロードセル
出力歪量	1040 × 10 ⁻⁶
出力電圧	0.520 mV/V
非直線性	%F. S.
ヒステリシス	%F. S.
入力抵抗値	702.3 Ω
出力抵抗値	702.3 Ω
絶縁抵抗	500 MΩ
許容印加電圧	20 V 推奨印加電圧 15V
許容負荷	150 %F. S.
重量	0.52 kgf
校正係数	4.807692 kgf/1×10 ⁻⁶

た。

表のデータは吸収エネルギーで示せば、FCD45、SCPL1、各0.96および8.75kgf・mである。衝撃値では1.20と10.94kgf・m/cm²である。材質による吸収エネルギーの違いは衝撃波形においては最高荷重と荷重の作用する時間の違いとして表現できるが、吸収エネルギーが10倍程度大きいからと言って最高荷重も同程大きくなるとは限らないことが分る。即ち、荷重の作用時間と荷重の時間変化を最高荷重と関連付けて表現する事が衝撃現象を考える上で重要となることが分る。

5. 考 察 4) 5) 6)

まず3項で示した各種の実験結果について順次検討を加え、次に衝撃現象と通常の引張試験のデータとの違いについて検討した。最後に総括として、熱疲労と衝撃強度を関連付ける要因について考察した。

1) 試験片が拘束される条件は非常に多いが、今回の場合は試験片が高温側側にさらされた時に圧縮応力が作用し、低温側では初期に設

定した締め付けトルクが減少する条件下における熱疲労試験であった。しかし、熱疲労前後でFCD45、SCPL1共に衝撃値に大差がない結果を得ているので、この原因を、a. 拘束条件、b. 熱疲労の条件、c. 特性値の種類のいずれかの違い、あるいはa～cの複合的原因によるものという解釈に留める。

2) 1)では鋳造のままの試験片で寸法・形状は限定されていたが、ここでは熱処理条件、寸法・形状の異なる試験片を用いて熱疲労を与え衝撃試験を実施した。

ただし、試験片の拘束条件はなかった。実験結果では試験片形状、熱処理、熱疲労の条件が冷熱サイクル数の影響を受け、その程度に応じて耐衝撃性を損ねる事が明らかになった。特に焼入れ材(加熱温度870℃、保持時間30分、油冷、焼戻温度250℃)にその傾向がある。これは熱処理技術を考える上でも重要な意味を持つ。焼入れは急冷硬化のことで、格子構造にひずみを生じ、こ

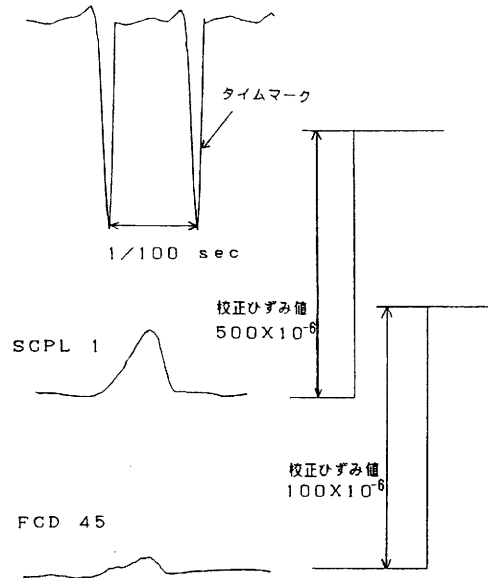


図6 衝撃現象の波形
(自動平衡式動ひずみ測定器 100Hz)

表3 ロードセルにおける測定データ

項目 \ 材質	FCD 45	SCPL 1	
最高荷重 P kgf	24	582	
時間 T sec	.0053	.0089	
出力電圧 mV	.03	.73	

参考図

れが原因して硬くなる現象である。また、焼入れの定義は、オーステナイト固溶体の界域からフェライト、パーライトおよび中間段階の変態を全く抑止するか、大部分阻止するに十分な冷却速度で急冷することであるから、この操作の結果、格子構造にひずみを生じているとも表現できる。言い換えれば、材料内部にこの種のひずみがあるため熱疲労の影響を受け易いとも考えられる。

従って、熱疲労問題は材料のひずみ変化による金属組織の疲労現象として考察できると考えられる。

3) 衝撃試験時の試験温度が異なる場合について検討してみる。この実験の目的は、温度の異なる同種の材料に同一な衝撃が加えられ破壊した時、その破壊の程度を同じような確からしさで表現できるか否かを知るために実施した。当然のことながら、これら同種の材料は同一温度、同一衝撃のもとでは同じエネルギーの吸収能力を持っていることを前提にしている。

FCD45の実験結果では既に記述したように上記のことは言えなかった。熱処理の違いにより衝撃値が異なるが、常温で実施した試験で熱処理性を評価できても低温の試験では評価できないこともある。低温時の試験では低温脆性と熱処理性の問題が主として衝撃値に影響してくる。このため低温時の衝撃値の評価が難しくなっている。逆に衝撃値に影響する要因効果を低温時の試験で低温脆性と熱処理性を分離した評価が必要になる。

4) ロードセルを用いて衝撃時の最高荷重を調べたが、測定結果はFCD45で24kgf、SCPL1では582kgfであった。また荷重の作用時間はそれぞれ 53×10^{-4} secと 89×10^{-4} secであった。ハンマの衝撃速度はJIS B 7722、4・7・2)項の式で 5.1 m/sec として算出できるから、荷重が作用している間にハンマは約2.7～4.5cm変位する。即ち、試験片は破断する直前まで支持台に維持されていることになる。

一方、FCDとSCPLの2種の材料を衝撃時の最高荷重と静的な単純支持梁の曲げ荷重について比較すれば、衝撃時の最高荷重はFCDがSCPLの $1/24$ であるのに対して静的な曲げ試験における最高荷重はFCDで1026kgf、SCPLでは1210kgfを得ているので、FCDはSCPLの $1/1.2$ となる。従って、最高荷重における材質的な違いは、静的な場合より衝撃的な方が著しい。さらにその荷重の大きさも両者の場合により極端に違っている。FCDでは衝撃的な荷重は静的な場合の $1/43$ 、SCPLは $1/2$ である。以上により、FCDはSCPLよりかなり衝撃に対して注意すべきことが理解できる。

さて、上述の1)～4)について総合してみると、熱疲労は塑性疲れ同様に低サイクル疲労として扱えること、そして熱疲労と衝撃強度を関連付ける要因はひずみ量の大きさであると考えられる。

6. ま と め

各種の実験と考察により熱疲労問題と衝撃強度の考え方を検討した。まず、熱疲労現象は非常に難しく各種の要因が複雑に関係しているが、衝撃強度はロードセルを用いて荷重-時間変化を調べることにより容易に材質的な違いを評価できる。次に、熱疲労も衝撃強度もひずみ量(大きさ、またはひずみの吸収能力)で関連付けて考察できることが明らかとなった。

この結果、材料の靱性に影響する温度効果とバルブに作用する実際上の衝撃力の推定に大きく役立てるものと考えられる。

〔参考および引用文献〕

- 1) 金属材料疲労強度の設計資料 (IV), 日本機械学会, 1983
- 2) 平 修二: 理論・設計金属材料の高温強度, 養賢堂, 1986
- 3) 天野 宏: 計測管理工学入門, 工業調査会, 1984
- 4) 岸本 浩: 鉄鋼熱処理の現場指針, 新日本鑄鍛造協会, 1972
- 5) 日本工業規格, J I S B 7 7 2 2
- 6) 鉄と鋼, 第10号, 1985