

## 技 術 報 告

大韓熔接學會  
第4卷第3號, 1986年12月  
Journal of the Korean  
Welding Society  
Vol. 4, No. 3, Dec., 1986.

# Implant試驗에 의한 熔接低溫龜裂의 評價

方 國 守\* · 李 鍾 鳳\*

## 1. 緒 論

최근 熔接構造物의 大型化 및 高性能化의 傾向에 따라 그 施工에 있어서 熔接龜裂 發生의 防止는 대단히 중요한 課題로 되고 있다. 熔接龜裂을 發生시키지 않고 安全하게 施工하기 위해서는 使用材料나 施工條件 등의 適正한 選擇이 매우 중요하며 實際로 施工前에 實 構造物의 熔接이음부와 類似한 形狀으로 熔接龜裂試驗이 많이 행하여 진다. 熔接龜裂을 再現시키기 위한 試驗法으로서는 종래로부터 많은 方法이 提案되어져 있으나 가장 바람직한 試驗法으로서는 試驗結果로부터 實際의 熔接 施工條件이 合理的으로 推定 可能하고, 試驗法 自體가 簡單하며, 短時間 內에 少量의 試驗材로써 試驗이 可能함이 必要하다.

近年 프랑스의 H. Granjon 에 의하여 熔接 低溫龜裂, 특히 高張力鋼에서 많이 나타나는 水素에 의한 遲延龜裂(delayed crack)에 대해서 上述의 要求를 充足시키는 試驗法으로서 “Implant type 熔接龜裂試驗法”이 提案되어<sup>1)</sup> 國際熔接學會(IIW)를 위시하여 各國에서 활발한 研究가 進行되고 있다. 本 研究에서는 이 implant 試驗法의 概要를 紹介함과 함께 實際 熔接 低溫龜裂 評價의 基本的인 實驗結果에 대하여 報告한다.

## 2. Implant 試驗의 特徵과 그 應用

implant 試驗은 최초 熔接에 의하여 생기는 熱 cycle 을 測定하는 手段으로서 開發되어 鋼의 硬化性이나 組織變化등의 研究에 使用되었다. 즉 Fig.1에 나타내는 것처럼 直徑 6~10 mm $\phi$ 의 丸棒狀의 試驗片(이것을 implant 라 부른다)을 適當한 두께의 板

(母板: backing plate)에 뚫린 구멍에 插入하여 試驗片의 端部와 母板의 面을 一致시킨 후 熔接 bead가 試驗片 上端部를 지나가게 熔接을 행하여 implant 에 熔接 熱 cycle 을 附與하는 것이다. 그 후 Granjon은 이것을 再次 改良하여 負荷裝置, 熱電對, 記錄計 등의 機械的, 電氣的 機能을 附加하여 現在 CCT 圖의 作成, 熔接 低溫龜裂의 研究, 應力除去燒鈍龜裂의 研究 등 많은 分野에서 利用되게 되었다.

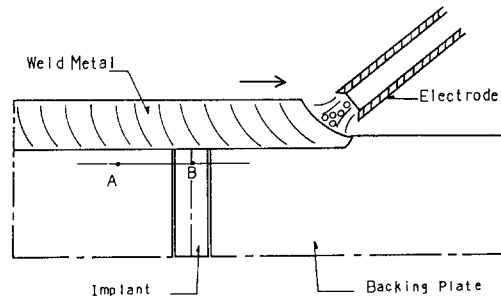


Fig. 1. Schematic illustration of the implant test.

### 2.1. Implant 試驗法의 特徵

implant 試驗法의 特徵의 하나는 熔接에 의해서 母板이 받는 熱cycle과 同一한 熱cycle을 implant가 받는다는 점이다. Granjon은<sup>1)</sup> Fig.1에 나타낸 것과 같이 母板 中の A點과 그것과 相對하는 位置인 implant 中の B點에서의 熱cycle을 各各 測定한 結果 Table 1에 表示한 것 처럼 入熱이나 板두께를 變更시켜 測定을 행하여도 이들의 熱cycle(冷却速度)에는 差가 없음을 確認하였다. 또 母板과 implant가 받는 熱cycle은 Table 2에 表示한 것 처럼 母板이 갖는 特性에 의하여 決定되는 熱cycle과 同一함을 알았다. 이것은 母板에 插入한 implant는 6~10mm $\phi$ 의 小型

\* 浦項綜合製鐵(株) 技術研究所 熔接研究室.

**Table 1. Cooling time between 800 and 500°C in the implant and backing plate<sup>1)</sup>**

Heat Input (kj/cm)	Thickness (mm)	Cooling Time 800-500°C (sec)	
		Implant	Backing plate
7.5	20	2.5	2.4
20	20	8.3	8.3
10	40	3.7	3.6
20	40	6.1	6.4

**Table 2. Cooling time between 800 and 500°C for implants of non-alloyed steel inserted into mild steel and for stainless steel implants inserted into non-alloyed steel 20mm thick.<sup>1)</sup>**

Backing plate	Implant	Time (sec)	Heat Input (kj/cm)
Mild steel	Non-alloyed steel	14.7	32.8
	Stainless steel	14.7	
Stainless steel	Non-alloyed steel	25.7	30.5
	Stainless steel	25.0	

이기 때문에 그 熱容量이 작아서 周邊의 母板의 熱cycle과 거의 同一한 熱cycle을 받기 때문이라고 생각되어 진다.

따라서 implant試驗法은 다음과 같은 特性을 가진다.

(a) implant는 母板과 同一한 熱cycle을 받기 때문에 實際로 熔接에 의해서 생기는 現狀을 그대로 再現시키는 것이 可能하다.

(b) 母板은 試驗材인 implant와 꼭 同一의 鋼材일 必要가 없이 類似의 鋼材이면 利用 可能하다.

(c) 母板의 板厚를 變更시킴에 의해 implant에 容易하게 여러가지 冷却速度를 附與하는 것이 可能하다.

(d) implant試驗片은 6~10mmφ의 小型 丸棒 試驗片이기 때문에 少量의 材料로 많은 data를 얻는 것이 可能하다.

(e) 試驗片이 小型이기 때문에 使用材料로부터 試驗片의 採取位置나 方向의 選擇이 자유롭다.

**2.2. 熔接 低溫龜裂 評價에의 應用**

**2.2.1. 基本原理**

implant試驗의 應用으로서 現在 各國에서 가장 大韓熔接學會, 第4卷 第3號, 1986年 12年

이 實施되고 있는 것은 熔接 低溫龜裂의 研究이다. 一般적으로 低溫龜裂의 發生要因으로서의 아래와 같은 것을 들 수 있다.

(a) 熔接 熱cycle에 의한 龜裂 感受성이 높은 組織의 形成

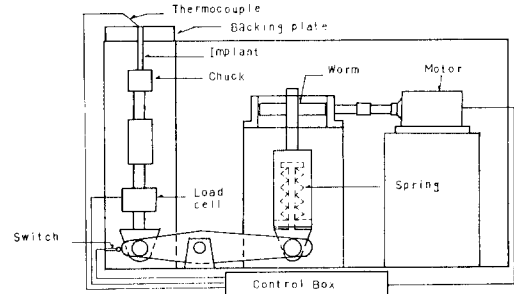
(b) 熔接에 의한 拘束應力의 發生

(c) 熔接에 의한 熔接部에의 水素의 侵入

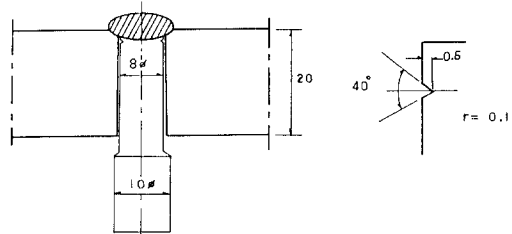
(d) 應力 혹은 水素의 集中이 생기기 쉬운 notch 形狀의 存在

低溫龜裂 感受성의 評價方法으로서의 試驗片이 小型이고 簡便한 Y groove 拘束龜裂試驗, CTS 試驗등과 같은 自拘束型(self-restraint type)試驗이 많이 利用되고 있다. 이들의 試驗法은 實際의 熔接이음부를 model化하고 있어 熔接施工時의 實際 熔接이음部 金屬組織을 再現시킬 수 있다는 잇점은 있으나 拘束狀態를 變化시킬 수 없기 때문에 上述의 低溫龜裂의 發生要因 中 金屬組織과 拘束狀態와의 低溫龜裂 發生에 대한 寄與度의 分離가 어렵다. implant 試驗은 이와같은 發生要因들을 分離하여 變化시키는 것이 可能하기 때문에 便利한 試驗法인 것이다.

implant試驗을 低溫龜裂 研究에 應用할 때의 基本原理를 Fig. 2 및 Fig. 3에 나타낸다. 試驗裝置는 크게 나누어 試驗片(implant) 支持部와 負荷裝置部로 構成되어 있으며 試驗片에는 熔接 熱cycle을 附與하였을 때의 熔接 bond部에 相當하는 位置에 熔接이음부의 root部나 toe部를 假定하여 圓周 notch가 設置되어 있다. 試驗片 上端에 熔接 bead가 지나가게끔



**Fig. 2. Details of implant test machine.**



**Fig. 3. Implant specimen for cold-cracking test.**

熔接을 행한 후 熔接部 溫度가 所定의 溫度(通常 150°C)에 倒達하였을 때 引張荷重을 加하여 一定하게 維持하면 어떤 時間 經過 후에 notch部를 起點으로 하여 試驗片이 破斷한다. 荷重을 여러가지로 變更시켜 實驗을 행하면 破斷이 생기지 않는 限界應力(限界破斷應力,  $\sigma_{cr.}$ )을 求할 수 있다. 이 限界破斷應力은 試驗材의 化學成分, 熔接條件, 母板의 板두께, 豫熱·後熱條件, 熔接材料등에 따라 달라지며 鋼板의 熔接龜裂 感受性의 評價指標로서 또 實際 施工에 있어서 適定 熔接條件을 算定하는 特性值등으로 重要한 意味를 가진다.

2.2.2. IIW 標準 implant熔接龜裂試驗法

implant試驗에 의한 低溫龜裂의 研究가 활발히 進行됨에 따라 各 研究者의 試驗結果의 相互比較등의 必要性에 應하여 IIW에서는 다음과 같은 標準 試驗法을 提案하고 있다.<sup>2)</sup>

(a) 試驗片 形狀: 試驗片 直徑은 6~8mm $\phi$ 로 하며 ( $\delta\phi$ 를 推薦) notch角度는 최대45°(40°를 推薦)의 V notch로 길이가 0.5mm, 先端半徑이0.1mm로 한다. notch 位置는 熔接條件에 따라 決定되는 熔込길이와 一致되게끔 設定한다.

(b) 試驗片 採取位置: 試驗片의 길이 方向을 壓延 方向으로 하고 25mm 두께 以下의 板에서는 板두께 中央에서, 25mm 以上의 板에서는 t/4 位置에서 採取한다.

(c) 母板: 試驗片과 同一하거나 同種의 것을 使用하며 300mm $\times$ 200mm의 크기로 한다. 板두께는 10

~30mm로 하며 1 條件만을 行할 때에는 20mm의 것을 使用한다.

(d) 試驗條件: 熔接은 設定 入熱條件에 따라 1 pass熔接을 行하며 bead길이는 100~150mm로 한다. 熔接部 溫度는 HAZ에 熱電對를 挿入하여 測定한다.

(e) 負荷: 熔接部가 150°C로 冷却되면 負荷를 開始하여 100°C에 達할때 까지 設定值로 되게끔 行한다. 破斷이 되지 않을 境遇의 維持時間은 16時間으로 한다.

3. Implant試驗에 의한 低溫龜裂의 評價

3.1. 試驗材

試驗材는 HT 60 2種, HT 80 1種으로서 Table 3에 化學成分 및 機械의 性質을 나타낸다.

熔接材料는 低水素系 熔接棒으로 軟鋼用 및 高張力鋼用의 것을 使用하였으며 그 化學成分 및 機械的 性質을 Table 4에 나타낸다. Table 中 擴散性水素量(H<sub>D</sub>)은 gas chromatograph法으로 測定한 값이다.

3.2. 試驗方法

試驗은 日本熔接協會 規格(WES 1104)에 準하여 實施하였다. Fig. 4에 나타낸 것과 같은 circular 및 spiral形狀의 notch를 갖는 試驗片을 使用하여 限界破斷應力에 미치는 notch形狀의 影響을 調査하였으며 circular形狀의 試驗片으로 熔接材料와 豫熱溫度에 따른 限界破斷應力의 變化를 아울러 調査하였다.

Table 3. Chemical composition and mechanical properties of material.

Material	Chemical composition (wt %)												Y. P. (kgf/mm <sup>2</sup> )	T. S. (kgf/mm <sup>2</sup> )	E1 (%)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Sol. Al	Ceq.			
P 60	0.12	0.28	1.34	0.016	0.012	—	0.19	0.02	—	0.047	0.041	0.367	53	68	23
K 60	0.13	0.25	1.21	0.016	0.006	—	0.19	0.16	0.10	0.032	—	0.406	59	67	26
K 80	0.11	0.31	0.87	0.012	0.005	0.21	1.25	0.54	0.51	0.04	—	0.537	78	84	34

$$Ceq. = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

Table 4. Chemical composition and mechanical properties of weld metal.

Material	Chemical composition (wt. %)									Y. P (kg/mm <sup>2</sup> )	T. S (kg/mm <sup>2</sup> )	E1 (%)	vE-5 (kg-m)	H <sub>D</sub> (CC/100gr)	Rem-arks
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mn	Cr							
AWS E 7016	0.08	0.93	0.43	0.012	0.010	—	—	—	48	55	33	19.2	6.4	LB26	
AWS E 9016-G	0.08	1.10	0.59	0.010	0.008	0.58	0.25	—	57	66	29	16.2	3.96	LB62	
AWS E11016-G	0.07	1.45	0.63	0.009	0.006	1.81	0.44	0.26	74	85	24	12	3.39	LB116	

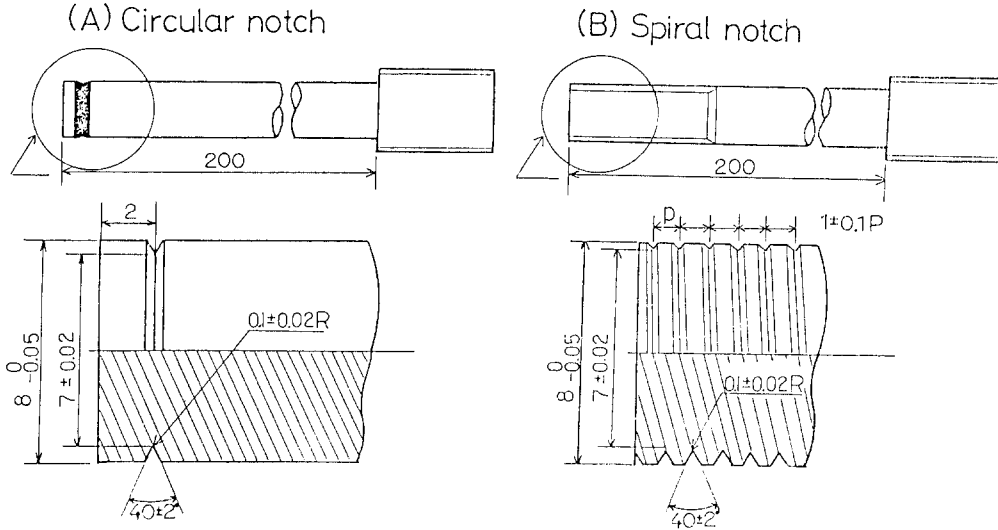


Fig. 4. Configuration of test specimens.

試驗片 破斷面에 대해서는 SEM으로 破面觀察을 行하였다.

### 3.3. 試驗結果 및 考察

implant試驗片의 notch形狀에는 circular 및 spiral 2種類가 있다. spiral形狀의 것은 HAZ 全域을 notch가 cover하기 때문에 熔接 熟練度에 無關하다는 長點이 있으나 加工上의 번거러움으로 circular 形狀의 것이 一般의인 趨勢이다. Fig. 5에 notch形狀에 따른 試驗結果를 나타내는데 notch形狀과 限界破斷應力은 無關함을 알 수 있다. Fig. 6에는 各 試驗材에 대한 限界破斷應力을 나타낸다. P60과 K60은 54Kg/mm<sup>2</sup> 程度로 비슷한 값을 나타내나 K80의 境遇는 32Kg/mm<sup>2</sup>로 熔接部 低溫 龜裂感受性이 높음을 알 수 있다. Fig. 7은 熔接材料에 따른 限界破斷應力의 變化를 나타낸 것으로 軟鋼用인 AWS E7016은 使用한 境遇가 高張力鋼用인 AWS E9016을 使用한 境遇보

다 破斷時間이 短時間임을 알 수 있다. Fig. 8은 豫熱溫度에 따른 破斷應力의 變化를 나타낸 것으로 豫熱溫度가 上昇함에 따라 破斷應力은 增加하여 P60의 境遇 100°C로 豫熱時, 豫熱을 行하지 않은 것에 비하여 破斷應力은 8kg/mm<sup>2</sup> 程度 上昇하고 破斷時間도 長時間임을 알 수 있다. 이러한 試驗結果 低溫 龜裂 感受性은 鋼材의 炭素當量(C<sub>eq</sub>), 熔接部 擴散

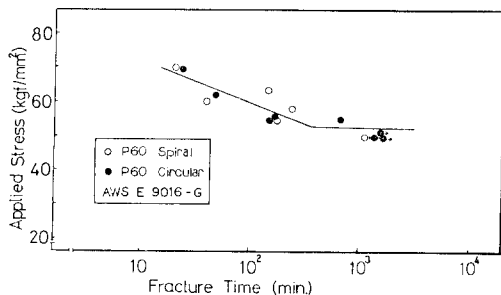


Fig. 5. Effect of notch configuration on critical stress.

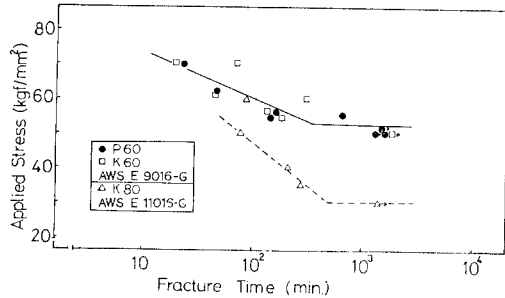


Fig. 6. Relation between applied stress and fracture time.

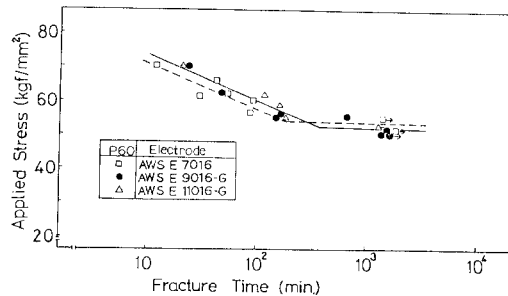


Fig. 7. Effect of electrode on critical stress.

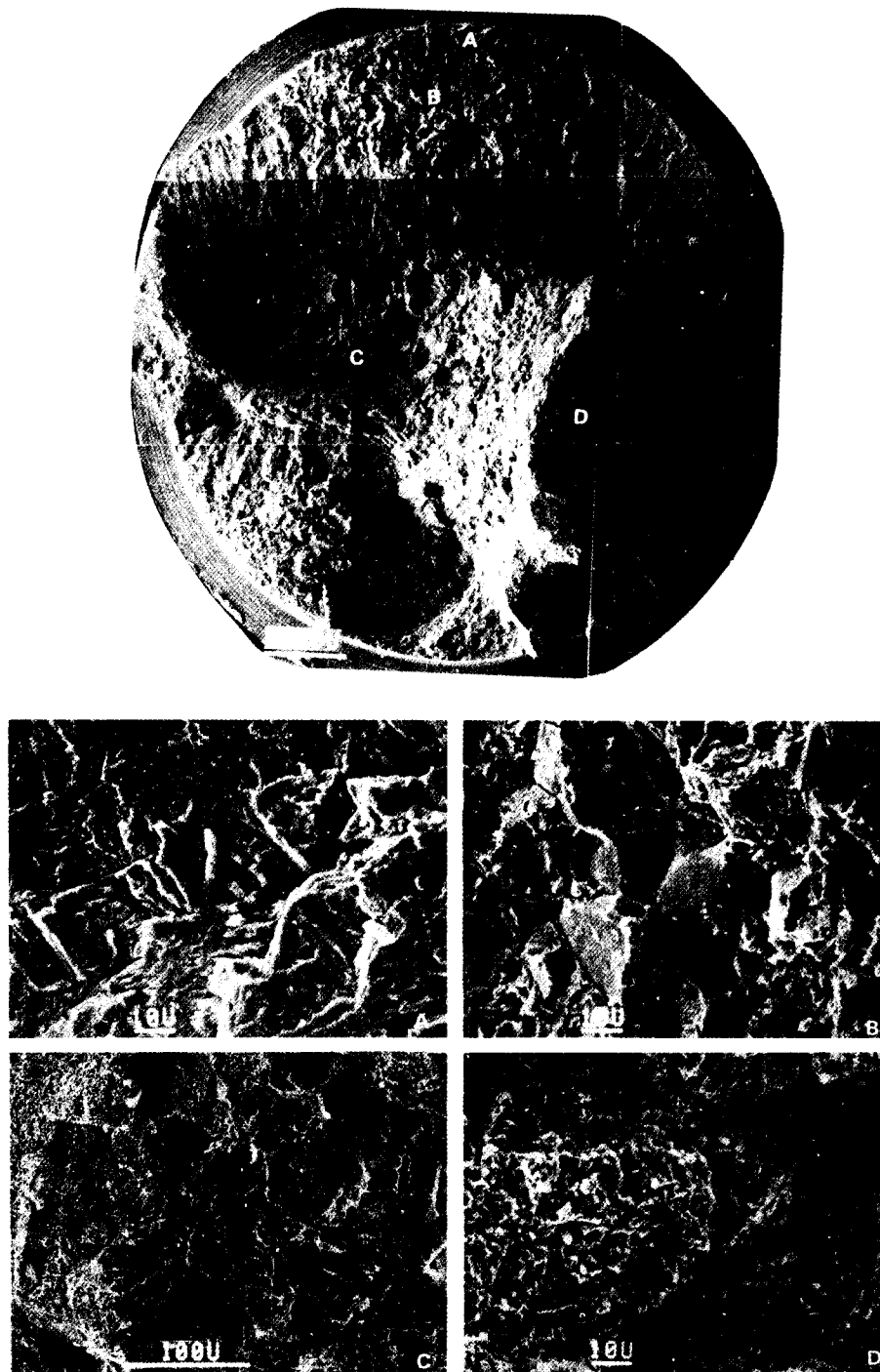


Photo. 1. Fractographs of implant test specimen.

Steel: P60

Applied stress:  $56\text{kg/mm}^2$

Fracture time: 660min.

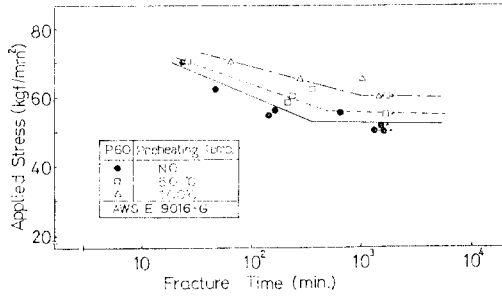


Fig. 8. Effect of preheating temperature on critical stress.

性水素量에 크게 影響을 받음을 確認할 수 있다.

Photo. 1에는 P60 試驗片의 破面을 나타낸다. 龜裂은 圓周 notch로 부터 發生하기 始作하여 그 領域에서는(A部) martensite 및 bainite lath와 關聯한 水素脆化 擬劈開破面을 보이며 lath境界에 2次 龜裂을 同 伴하고 있다. B部에서는 水素脆化 擬劈開破面과 粒 界破面이 混在해 있다. C部는 dimple과 river pattern 이 混在해 있으며 D部는 熔接材料가 包含된 部分으 로 緻密한 擬劈開破面을 보인다. 이들중 A, B部가 典型的인 水素에 의한 低溫龜裂 破面이며 C, D部는 penetration 不足으로 생긴 예외적인 것으로서 C部

中 dimple部는 急速破斷部이며 river pattern部는 最 後로 破斷된 部分으로 생각된다.

#### 4. 結 論

(1) Implant 熔接低溫龜裂試驗은 熔接 熱cycle에 따른 金屬組織의 影響과 拘束狀態의 影響을 分離하 여 評價할 수 있는 便利한 試驗法이다.

(2) 限界破斷應力( $\sigma_{cr}$ )은 材料의 炭素當量( $C_{eq}$ ) 및 熔接部 擴散性水素量( $H_D$ )과 密接한 關聯을 가지 며  $C_{eq}$  및  $H_D$ 가 작을수록  $\sigma_{cr}$ 가 높다.

(3) 試驗片의 notch形狀이 circular이든 spiral이든 限界破斷應力은 同一하다.

(4) 試驗片의 破斷은 notch로 부터 發生하기 始作 하여 그 部分에서는 水素脆化 擬劈開破面을 나타낸 다.

#### 參 考 文 獻

1. H. Granjon, The implants method for studying the weldability of high strength steels, Metal Construction and British Welding Journal, Nov., 1969, pp. 509-515.
2. IIS/IIW Doc. -802-84.