

세미나 : 超大型船建造에 따르는 諸問題點

材料 및 熔接에 對하여

嚴 東 錫*

1. 緒 言

商船建造에 있어 큰特徵으로 되어 있는 巨大化, 專用化 및 自動化는 조금이라도 많은 量의 荷物을 싣 費用으로 運搬하는 것이 商船의 宿命인 以上 船體의 大型化는 偶然한 것이 아니고 必然的인 要求에 依한 것이라 生覺된다.

最近 熔接技術의 發達에 依한 全熔接構造의 採用, block 建造方式의 確立, 造船設備의 擴張, 建造工事의 能率化等의 向上은 超大型船舶의 建造를 더욱 加速化시킨 役割을 하였다. 하여도 過言이 아닐 것이다.

한편 이와같이 船舶의 大型化에 따라 여러가지 많은 問題點들이 제기되었다. 本論에서는 其中 特히 船體를 構成하는 鋼材 및 熔接에 있어서의 問題點들에 關하여 論述코져 하는 바이다.

2. 原板 일 境遇에 있어서의 問題

一般的으로 板厚가 增加하면 切缺底部 근방의 三軸應力의 增加 및 冶金學的 因子에 依하여 脆化한다.

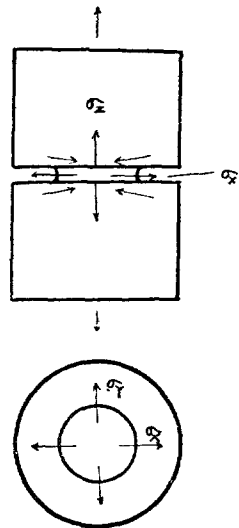


Fig 1. 切缺에 의한 三軸應力의 發生

Fig. 1에서 보는 바와 같이 丸棒에 圓周切缺을 가지고 簡單히 說明해 보자. 이와 같은 試驗片이 引張力을 받으면 切缺의 芯部分은 斷面積이 적어 塑性變形을 일으켜 늘어나고 半徑方向으로는 收縮을 일으키려 한다. 그래서 이 上下端에 있는 斷面積이 큰 部分은 彈性域 그대로이고 變形量이 極히 작으므로 芯部分이 半徑方向으로 收縮하려는 것을 拘束하게 한다. 即 σ_x 와 같은 方向으로 芯部分에서 生진다. 材料의 降伏條件으로서 最大剪斷應力이 一定한 條件을 生覺

하면

$\sigma_x - \sigma_x = Y$ (但 $\sigma_x > \sigma_x, \sigma_x = \sigma_y$)

Y: 切缺이 없을때의 降伏應力

$\therefore \sigma_x = Y - \sigma_x$

即 切缺이 있으면 降伏時(降伏發生時, 塑性流動時)의 軸方向應力은 切缺이 없는 경우에 比하여 σ_x 만큼 높다는 結果가 된다. 여기서 $\sigma_x/Y = q$ 는 塑性拘束係數(plastic constraint factor)라 불려지는 값으로 切缺의 예리한 程度와 깊이 등에 依하여 決定된다. 大端히 切缺效果가 큰 경우 3程度인 값을 가진다.

또 切缺에 依하며 應力集中이 생기는 경우는 이 應力集中이 생기고 있는 狹소한 곳만이 降伏點을 넘어도 周圍가 彈性域인 채로 남아있을 경우는 變形이 拘束됨으로 降伏 및 塑性流動을 이르지 않고 結局 이 部分의 降伏點이 上昇된다. 切缺이 있을 경우는 前記의 多軸應力의 영향과 應力集中에 依한 效果때문에 塑性變形을 일으키는 應力이 上昇하는 한편 脆性破壞應力과 가깝게 되어 脆化의 傾向을 나타내고 遷移溫度가 上昇하게 된다.

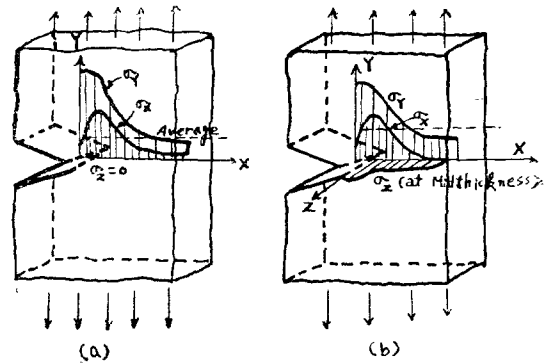


Fig 2. 切缺에 있어 三軸應力發生

Fig. 2는 Fig. 1에서의 原理와 같은 機構로 Fig. 2-b와 σ_2 와 같은 應力이 板厚方向으로 生진다. 이 應力은 板의 表面에서 當然히 zero 이고 板厚中央에서 最大로 된다. 또 이 事實로부터 상상되는 것과 같이 이 σ_2 의 값은 薄板에서는 無視될 수 있는 程度로 작으나 板厚가

* 正會員, 釜山大學校工科大學

增加될수록 큰 값으로 된다. 따라서 應力の 三軸性이 增大하여 脆化의 傾向으로 된다.

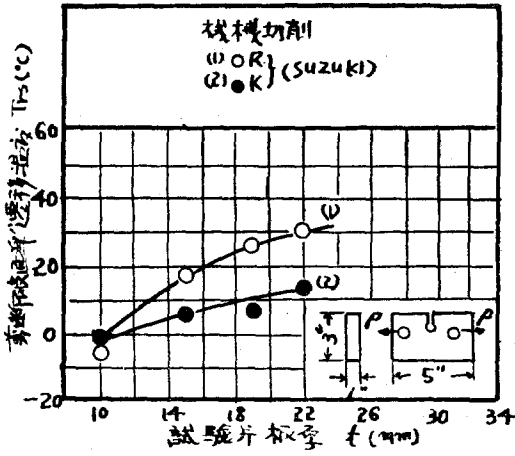


Fig. 3 Kahn 試驗에 의한 板厚 영향

Fig. 3 은 Kahn 試驗에 의한 板厚의 영향[2]을 또 Fig. 4 는 二重 引張試驗에 의하여 龜裂傳播特性에 對한 板厚의 影響을 나타낸 것이다. 이들로부터 切缺形狀이 어느 程度 예리하게 되면, 또 板厚가 어느 限度 以上으로 두껍게 되면 이의 影響은 어떤 飽和值에 達하고 이 以上의 惡影響은 나타나지 않게 됨을 알 수 있다[3], [4].

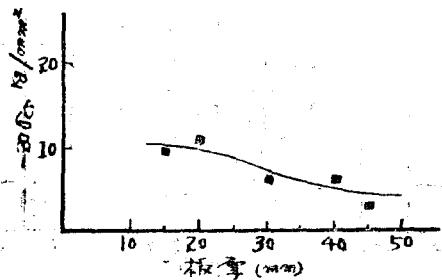
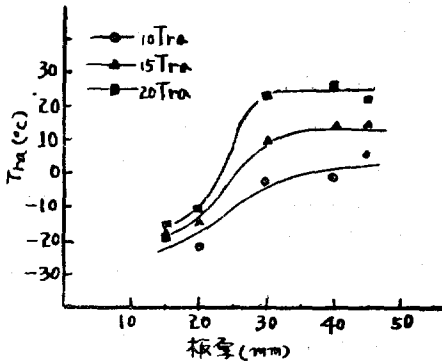


Fig. 4. 二重引張試驗에 의한 傳播特性에 對한 板厚의 影響

Fig. 5 는 切缺衝擊을 加한 경우에 있어 脆性龜裂發生 特性을 나타낸 것으로 非發生溫度($\sigma_{3/2} T_{ni}$)와 板厚와 의 關係이고[5] 또 脆性龜裂의 傳播停止特性을 나타낸 것으로는 溫度勾配型 二重引張試驗을 통해서 알 수 있는 停止溫度($\sigma_{3/2} T_{oc}$)와 板厚와 의 關係를 Fig. 6 에 나타내었다[5].

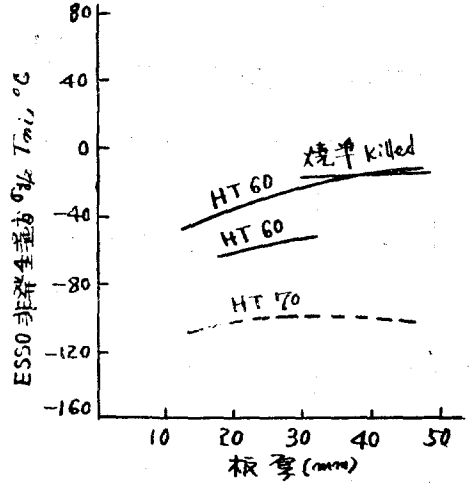


Fig. 5. 均一溫度型 ESSO 非發生溫度와 板厚關係

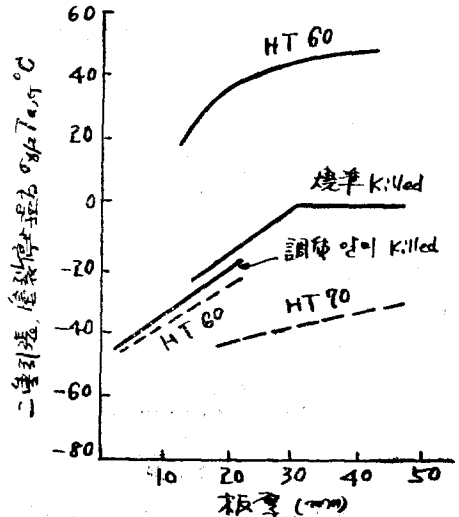


Fig. 6. 溫度勾配型 二重引張停止溫度와 板厚關係

Fig. 5 및 6 으로부터 脆性龜裂의 非發生 및 傳播停止 溫度는 모두 厚板의 增加와 더불어 上昇하나 板厚가 30mm 以上으로 되면 커이 飽和되어 變化가 없게 됨을 알 수 있다. 遷移溫度上昇率은 各各 다음과 같다.

但 板厚 30 mm 以下인 경우에 適用된다.

$\Delta(\sigma_{3/2} T_{ni}) = 1.2^\circ\text{C}/\text{mm}$ 機械切削

$\Delta(\sigma_{3/2} T_{oc}) = 1.5^\circ\text{C}/\text{mm}$ " "

$\Delta(\sigma_{3/2} T_{oc}) = 3^\circ\text{C}/\text{mm}$ 壓延

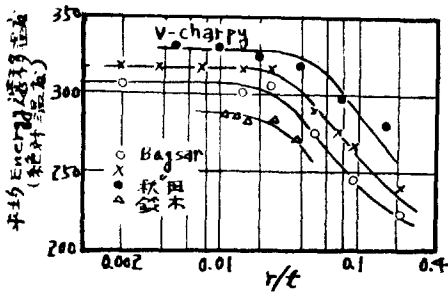


Fig 7. Charpy 試驗에 의한 切缺形狀의 영향

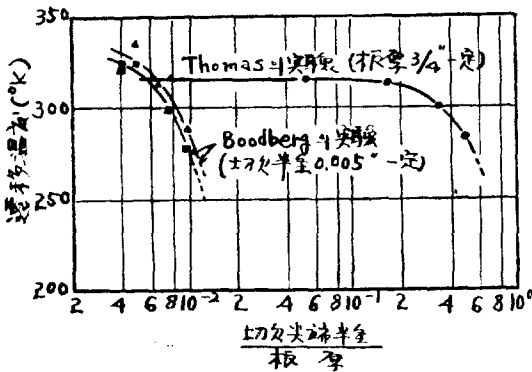


Fig 8. 切缺引張試驗에 있어 切缺과 遷移溫度와의 關係

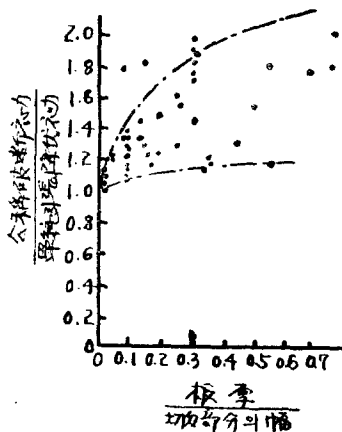


Fig 9. 軟鋼板의 切缺引張試驗에 의한 脆性破壞強度와 板厚

Fig. 7은 V-notch Charpy 試驗에 [6] 있어 切缺形狀의 영향을 나타내었다.

Fig. 8은 延性-脆性의 遷移溫度에 미치는 切缺의 영향을 나타낸 것이다 [7], [8].

切缺半徑이 적고 板厚가 클수록 遷移溫度는 上昇하여 室溫에서도 脆性破壞를 일으킬 수 있음을 알 수 있다. 이 경우 破斷應力은 普通材料의 引張降伏應力보다 높다.

Fig. 9는 軟鋼板의 切缺引張試驗으로서 100% 脆性破面을 나타낸 試驗片의 破斷應力(破斷荷重/切缺部斷面積)과 丸棒引張試驗의 降伏應力과의 比를 plot 한 것이다 [9]. 破斷應力이 引張降伏應力에 가가울 경우도 있으나 대개의 試驗片에서는 引張降伏應力보다 훨씬 높다.

3. 高張力鋼을 船體建造에 利用하였을 때의 問題

船舶의 大型化에 따라 船體를 構成하는 材料로 現在의 軟鋼代身 高張力鋼을 使用하여 船體重量을 輕減기 爲한 必要性의 增大는 불가피하다 하겠다. 前述한 板厚의 增大에 따른 切缺靱性의 低下 및 熔接施工의 難點等을 生覺하면 板厚를 一定한 두께 以下로 하기 爲하여서는 高張力鋼의 使用은 必然的이라 生覺된다.

高張力鋼을 船體構造에 使用할 時 考慮될 問題點으로서는 外力의 種類에 따른 設計應力의 基準으로서 降伏點과 引張強度中 어느 것을 擇할 것인가, 船舶의 斷面二次 moment가 相對的으로 從來보다 작게 되기 때문에 縱 deflection의 增大, 板厚의 減少에 따른 薄肉化에 따른 挫屈問題, 船體固有振動數의 低下, 高張力鋼을 燒入, tempering에 의하여 調質處理된 것으로 熱影響에 敏感하기 때문에 大入熱인 自動熔接의 適用制限, 線狀加熱, 歪取等의 熱間加工의 施行條件의 制限, 硬化性이 높으므로 gas 切斷한 그대로 使用하는 部分에 對한 對策等 여러가지 問題點들을 生覺할 수 있다.

3-1 高張力鋼의 特性

熔接構造用 高張力鋼으로서는 現在使用되고 있는 것으로는 ① 合金元素를 添加함으로써 強度를 높이는 것과 ② 合金元素를 添加하는 外에 quenching, tempering에 의하여 調質處理하여 強度를 높이는 두 種類가 있다. 前者에 屬하는 것으로는 引張強度가 50~60 kg/mm²

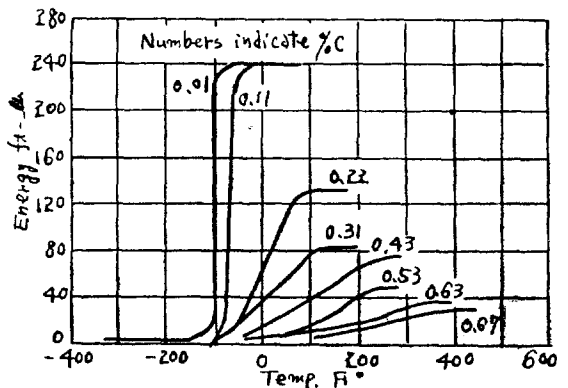


Fig 10. 遷移溫度에 미치는 炭素의 影響(10)

即 HT-50 및 HT-60의 一部이고 다른 HT-60, HT-70, HT-80이 大部分은 後者에 屬한다. 一般의 鐵에 炭素를 첨가하면 C의 添加量에 比例하여 硬(強)하게 되는 잘 알고 있는 事實이다. 그런데 C의 量이 增大하면 硬化되고 同時 急激히 brittle하게 되도 Fig. 10에서 보는바와 같다. 構造物에 使用되는 材料는 當然 充分한 強度가 要求되나 同時에 延性이 있는 길긴 性質이 要求되므로 單純히 C만을 첨가한 硬한 材料는 構造物材料로서는 좋지 않다. 그래서 材料의 길긴性質을 해치지 않고 強度가 높은 材料에 對한 研究가 行하여져서 所謂 構造用高張力鋼이 생겨났다. 炭素代身 다른 元素 例컨대 Mn, Si, Cu, Ni, Cr, Mo, V 等を 適當히 첨가함으로서 여러가지 우수한 材料들이 생기게 되었다. 한편 鋼材의 機械的 性質과 이의 顯微鏡의 組織과의 關聯에 對하여는 鋼材를 構成하고 있는 結晶粒의 크기가 微細한 수록 길기고 강한 材料임을 잘 알고 있다.

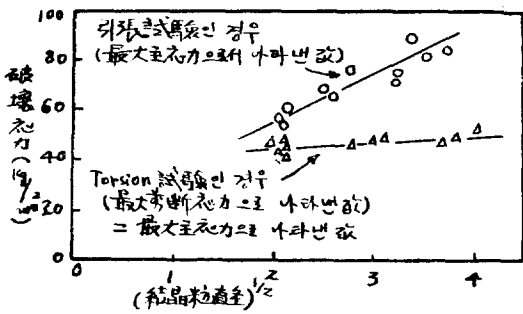


Fig 11. 薄肉中空試驗(-196°C)에 있어서 引張破壞強도와 torsion 破壞強도의 ferrite 粒度 依存性의 比較

例컨대 鐵의 多結晶體에 있어 降伏點 σ_y 와 結晶粒의 平均粒徑 사이에는 다음과 같은 關係가 成立됨을 認定 받고 있다.

$$\sigma_y = \sigma_i + k_y d^{-1/2}$$

但: σ_i 및 k_y : 材料常數

이 式으로 부터 알 수 있는 바와 같이 降伏點은 粒徑이 적을수록 높다. 이 關係는 低炭素低合金鋼에도 어느 程度 適用됨이 밝혀져 있다[11]. 鋼을 高溫度로 부터

quenching 하면 martensite 組織으로 되나 이를 tempering 하면 martensite \rightarrow ferrite + 炭化物의 反應이 생기고 martensite 로부터 새로운 ferrite 粒이 생기게 된다. 이 ferrite 粒은 tempering 溫度가 높을수록 잘 成長되므로 이 反應을 利用하여 微細한 ferrite 粒을 얻을수가 있다. 여기서 quenching tempering 을 행한 鋼材에서는 一般的으로 極히 微細한 組織을 얻게되고 降伏點이 大端히 높다. 이런 點에 着眼하여 調質型高張力鋼이 생기게 되었다. 따라서 調質型 高張力鋼의 特徵으로서는 높은 降伏點을 가진다는 것을 들 수 있다. 이와같이 最近高張力鋼이 傾向으로서 合金成分에 依하여 強度를 增加시키는 以外에 顯微鏡의 組織을 調查하여 強度를 높이는 方法이 행해지고 있으며 이러한 點이 高張力鋼의 特性을 說明하는데 重要하다.

i) 靜的인 強度

高張力鋼은 靜的인 強度에 있어 軟鋼보다 大端히 우수하고 특히 降伏點과 引張強度와의 比(降伏比)가 크고 軟鋼의 55%에 比하여 80 kg/mm² 級高張力鋼에서는 90%를 上廻하는 값을 나타내고 있음을 Fig. 12에서 잘 볼 수 있다. 只今까지 軟鋼構造物의 設計에 있어 許容應力의 基準으로 引張強度를 採用한 경우가 많았으나 最近高張力鋼을 使用한 構造物에서는 이의 降伏比의 크

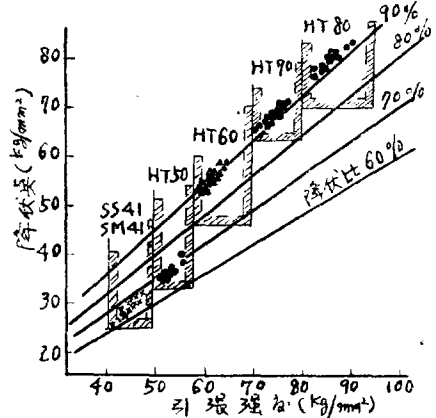


Fig 12. 高張力鋼板降伏比의 比較[12]

Table 1. 供試鋼材 化學成分

鋼 種	化 學 成 分 (%)										
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	V	B
軟 鋼	0.22	0.02	0.36	0.031	0.045	—	—	—	—	—	—
HT-60	0.11	0.35	1.18	0.011	0.012	0.28	0.41	0.42	—	—	—
HT-80	0.14	0.27	0.76	0.008	0.013	1.00	0.53	0.45	0.26	0.06	0.023
HT-10J	0.30	0.26	0.44	0.010	0.015	3.41	1.00	0.30	0.12	0.12	—

Table 2. 供試鋼材의 機械的 性質

鋼 種	σ_y kg/min ²	σ_w kg/min ²	σ_B kg/min ²	σ_T kg/min ²	ϵl %	ϕ %	T.P.
軟 鋼	23.4	44.5	34.6	83.2	31.0	61.0	J.I.S.4
HT-60	59.5	67.7	45.5	139.0	23.7	67.6	"
HT-80	75.6	80.6	47.3	164.2	21.9	70.0	"
HT-100	104.4	110.6	72.9	191.1	19.4	59.0	"

기를 活用하게 되고, 許容應力의 基準에 降伏點을 使用하는 傾向이 짙어가고 있다. 降伏比가 높게 된다는 것은 破壞까지의 安全性에 對하여 반드시 有利하다고 生覺할 수 없으므로 降伏比에 따라 安全率을 바꾸려는 傾向도 있다.

ii) 疲勞強度[12]

Table 1,2 및 Fig.13에서 보는 바와 같이 引張強度가 增加함에 따라 疲勞強度는 增大해 가고 있다. 따라서 高張力鋼인 便이 軟鋼보다 疲勞에 對하여 優秀한 性質을 가짐을 나타내고 있다.

各種 鋼에 있어서의 降伏點 引張強度 및 疲勞限度와 의 關係를 求해보면 Fig.14와 같다.

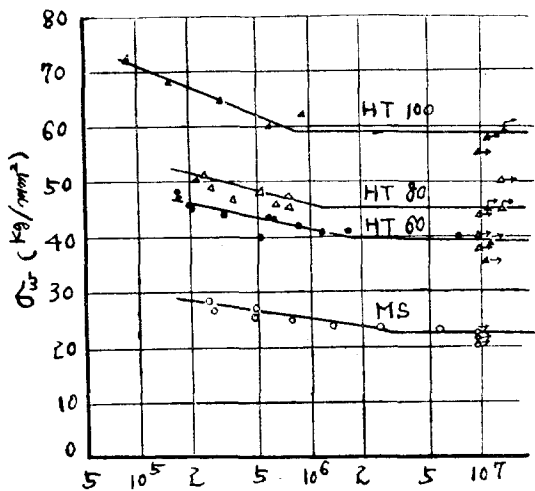


Fig 13. S-N curve

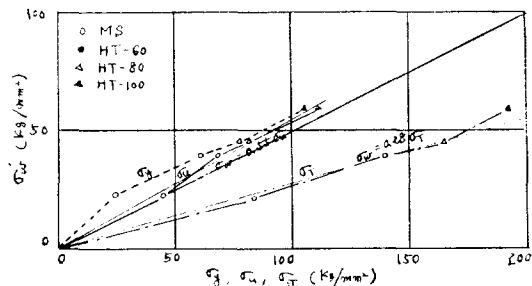


Fig 14. 疲勞限度와 靜的強度와의 關係

이와 같이 高張力鋼의 疲勞限度는 引張強度에 거의 比例하고 있으나 降伏點에 比例하여 上昇하지는 않는다. 高張力鋼의 利點의 하나로서 降伏比가 크다는 것이다. 即 降伏點이 높다는 것이며 이는 構造物의 板厚를 減少할 수 있다는 利點이 될 수 있다. 그러나 疲勞強度를 生覺할 경우, 設計應力은 降伏點을 基準으로 生覺해서는 안되며 引張強度를 基準으로 하여 生覺해야 한다. 即 疲勞를 考慮한 設計에 있어서는 高張力鋼의 降伏比가 높다는 點의 利點은 살릴 수 없게 된다. Fig.13에서 보면 S-N 線圖에서 折點이 引張強度가 높은 鋼材일수록 N(cycle數)가 적은 便으로 移動되고 있음을 알 수 있는데 이의 原因은 成分組成에 영향한다고 生覺되나 現在까지 確實한 結論은 얻지 못하고 있다. 이는 同一한 疲勞限度를 가지고 있으나 時間強度로 低下함을 뜻하고 있다. 疲勞限度와 引張強度 사이에는 比例關係가 成立하나 引張強度가 높은 것은 時間強度와 引張強度와의 比가 적게 되므로 引張強度가 크게 되어도 이에 比例하여 時間強度는 增大한다고 말할 수 없음을 뜻하고 있다. 따라서 時間強度의 增大率을 生覺하면 軟鋼과 比較할 때 高張力鋼인 경우 이의 引張強度의 增加率만큼 增加하지 않는다는 結論을 얻게 된다.

Table 3. 供試鋼材의 靜的強度와 疲勞限度와의 關係

鋼 種	σ_w kg/mm ²	σ_y kg/mm ²	σ_u kg/mm ²	σ_w/σ_y	σ_u/σ_y
MS	22.5	23.4	44.5	0.963	0.506
HT-60	39.0	60.0	67.6	0.650	0.577
HT-80	45.0	75.6	80.6	0.595	0.558
HT-100	59.0	104.4	110.6	0.564	0.533

iii) 熔接된 高張力鋼에 있어 疲勞強度에 미치는 熔接의 影響

熔接이 疲勞強度에 주는 影響因子를 生覺하던 熔接部의 外觀形狀, 內部缺陷, 熔接金屬과 母材와의 強度變化, 金屬組織의 變化等を 列擧할 수 있으나 只今 完全히 熔接되어 內部缺陷이 없게하고 平滑하게 熔着金屬을 finishing 한 경우에 對하여 生覺해 보자. 이 경우 軟鋼과 高張力鋼과의 回轉 屈折 疲勞限度를 求한 한 예

를 Table 4에 나타내었다.

Table 4. 軟鋼 및 高張力鋼의 回轉굽힘 疲勞強度

鋼 種	引張強度 kg/mm ²	疲勞強度 kg/mm ²		σ_{ww}/σ_{wM}
		母 材 (σ_{wM})	熔接接手 (σ_{ww})	
軟 鋼	43.3	26.0	24.0	0.92
高張力鋼 MT-60	61.1	40.0	32.5	0.81

Table 4에서도 熔接接手와 母材와의 疲勞限度比(σ_{ww}/σ_{wM})로서 比較하였다. 軟鋼材 편이 高張力鋼보다 높은 값을 나타내고 있다. 이는 高張力鋼인 변이 熔接의 영향을 크게 받아 疲勞限度의 低下가 큼을 나타내고 있다. 이의 原因은 熱影響部의 硬化로 高張力鋼인 변이 軟鋼보다 큰 事實로서 說明할 수 있다. 이 說明에 立却하면 硬化하기 쉬운 鋼材일수록 熔接에 의하여 疲勞限度의 低下率이 크게 된다고 生覺할 수 있다. 引張強度가 높은 高張力鋼일수록 熔接熱에 의한 硬化는 심하다고 生覺됨으로 引張強度가 높은 高張力鋼일수록 熔接에 의한 疲勞限度의 低下率은 현저함을 알 수 있다. 또 같은 形狀인 notch가 있을 경우, 一般的으로 硬度가 높은 鋼材일수록 切缺係數(平滑材의 疲勞溫度/切缺材의 疲勞限度)가 큰 事實, 即 疲勞限度가 낮아짐은 잘 알고 있는 事實이다. 衝接된 熔接接手인 경우에도 餘盛(reinforcement)을 finishing 하지 않으면 餘盛端部에 形狀의인 不連續을 생기게 하여 應力集中을 일으키게 된다. 뿐만 아니라 餘盛을 finishing 하지 않는 衝合接手に 있어서는 高張力鋼인 경우에는 軟鋼에 比하여 疲勞限度의 低下는 현격하다고 生覺된다.

이 事實은 T型 fillet welding joint인 경우에 더욱 심하다. T型 fillet welding joint인 경우는 構造物의 形狀 그 自體가 相當히 큰 形狀의 不連續을 나타내고 있고 그 위에 under cut도 생기기 쉬우므로 fillet welding joint의 toe部分에서는 큰 應力集中이 생기고 이部分에 疲勞破壞가 일어난다. 이와 같은 形式의 joint에서도 60 kg/mm² 級高張力鋼이나 軟鋼이나 거이 같다.

以上에서 論述한바와 같이 引張強度가 높은 高張力鋼인 경우에도 疲勞特性은 軟鋼보다 떨어져고 특히 熔接接手인 경우도 현저함은 高張力鋼을 構造物로 使用할 경우 注意를 요한다.

3-2 高張力鋼의 各 船級協會에 있어서의 規格과 使用 區分

船體用高張力鋼으로서 널리 使用되고 있는 것은 引張強度 50 kg/mm² 以上, 降伏點 32 kg/mm² 以上인 것으로서 各船級協會의 現行規格은 比較하면 Table 5와 같다.

이 表에 依하면 各級 船級協會 모두 化學成分에는 거이 差가 없으나 引張強度의 範圍, V-Charpy 試驗의 規格值에는 若干의 差가 있음을 알 수 있다. 同一強度의 鋼材에 對하여 大部分의 協會가 切缺靱性에 의하여 A, D(或은 C), E의 세 種類로 나누고 있음은 共通된 特徵이다.

N.V.와 L.R.는 降伏點과 引張強度比(降伏比)를 80% 以下로 規定하고 있는 點이 注目된다. 또 N.K.以外는 熱處理(normalizing)를 規定하고 있는等 같은 船體用 高張力鋼의 規格에서도 若干의 差가 보여진다. 船體用 高張力鋼의 規格이 船級協會에 따라 多少 틀림은 各國 國內事情이라 生覺된다.

Table 5에서 보는 各種高張力鋼을 船體構造에 어떻게 使用되느냐는 船級協會마다 若干의 差異가 있는데 이를 Table 6에 나타내었다. 各船級協會 모두 板厚가 크게 되면 A級相當의 高張力鋼부터 C,D 或은 E級 高張力鋼을 使用하여야 함을 規定하고 있다. 이는 軟鋼材의 경우와 같이 厚板이 되면 前述한바와 같이 三軸應力比가 크게 되어 脆性破壞를 誘起하게 되므로, 現行規格과 같이 板厚에 關係없이 一定치수의 Charpy 試驗片으로서 板의 切缺靱性을 判定할 경우에는, 厚板은 薄板보다 吸收 energy 值가 높은것을 使用하는 것이 必要하기 때문이다. 逆으로 各船級協會 共히 板厚가 얇을 경우에는 切缺靱性에 關한 規定이 緩和된 A級相當의 高張力鋼의 使用를 認定하고 있다.

한편 50 kg/mm² 高張力鋼은 높은 強度를 가지고 있음으로 C, Mn, Si, 其他 合金元素를 軟鋼보다 많이 含有시키고 있다. 이들 元素로 熔接에 의하여 熱影響部를 硬化시켜 熔接部에 龜裂을 發生시키는 傾向이 있고 實地工事에서 低水素系熔接棒의 使用과 50°C 以上의 豫熱이 必要하게 된다. 50°C 以上의 豫熱을 巨大한 船殼工事에서 正確히 행하것끔 管理함은 大端히 어려운 事情이다. 그래서 充分히 豫熱管理를 잘 하것끔 努力함과 同時 多少豫熱溫度가 下廻하여도 龜裂이 발생하지 않는 鋼材使用이 要望된다. C, Mn, Si 等 強度를 높이는 元素의 含有를 最少限으로 하고 要는 Ni, Nb, 其他 硬化性이 적은 元素를 含有케 하며 強度를 確保함이 좋겠다.

3-3 高張力鋼의 熔接

高張力鋼의 熔接에 使用되는 熔接棒, 自動熔接用 材料에 對해서는 N.K.(鋼船規則 第26編 第6章)의 規程뿐으로 이의 機械的性質 等을 Table 7에, 各種 高張力鋼에 對한 熔接材料의 使用區分은 Table 8에 各各 나타내었다.

現在 手熔接으로서 N.K의 認定을 얻은 高張力鋼用

熔接棒은 低水素系棒에 限定되어 있다. 自動熔接材料 또 electro slag 或은 gas 熔接으로서 KMW 53 으로서 認
 로서 二層盛熔接에서 KAW 53에 合格되는 것은 적다. 定된 것도 없다. 그런데 大部分의 船體構造는 K5D 或

Table 5. 各船級協會의 船體用高張力鋼의 規格比較表[13] (1967年 7月 現在)

協會名		N.K.			A.B.				L.R.			N.V.			G.L.				
材料記號		K5A	K5D	K5E	AH	BH	CH	EH	AH	DH	EH	A-33	D-33	E-33	F-32	G-32			
脫酸方式		SK K	K	FK	SK K	K	FK	FK	承認된 maker의 仕樣書에 依함			S	K	FK	FK	FK			
化學成分	C _{max}	0.20		0.18	0.20							0.20			0.20		0.20		0.20
	Mn _{max}	1.50			0.90 1.00 1.10 ~1.50~1.50~1.50							1.60			1.60		1.40		1.40
	Si _{max}	0.55			0.50							0.55			0.15~0.55		0.50		0.50
	P _{max}	0.04			0.05							0.05			0.04		0.04		0.04
	S _{max}	0.04			0.05							0.05			0.04		0.04		0.04
	其他	—			—							—			—		Cr+Mo		≤0.15
	Cec _{max}	—			—				—			0.30 (경우에 따라 0.34)		—		—			
引張試驗	引張強度 kg/mm ²	50~60			50~60				0.80以下			—			45~55				
	降伏點 (kg/mm ²)	33以上			33以上				0.80以下			33以上			32				
	降伏比 (%)	—			—				0.80以下			0.80以下			—				
衝割試驗	吸收 energy (kg.m)	—	0.8	6.2	—	—	—	6.9	2.8	備考欄參考			2.8	2.8	2.8	4.5	4.5		
	試驗溫度(°C)	—	17	-17	—	—	—	-10	0	0	-10	0	-15	-40	0	-20			
熱處理		—			19超 燒準	燒準		承認 maker의 仕樣書에 依함			燒準			燒準					
備考		60HT(降伏點 46 kg/mm ² 以上)에 對해서도 規定이 있다.			Cu : 0.35% 以下 Cr : 0.25% " Ni : 0.25% " Mo : 0.08% "				吸收 energy의 規格值 $K = \frac{70.9}{Y+U}$ Y: 降伏點規格 或은 0.7U 와의 적은 값 U: 引張強度規格의 下限 DH: $4.84 \times \frac{1}{\sqrt{K}}$ EH: $6.22 \times \frac{1}{\sqrt{K}}$			$C_{eq} = C + \frac{Mn}{10}$ A-33의 충격 시험은 鋼板에서는 19mm 以下, 型鋼에서는 25mm 以下로서 어는 경우는 燒準된 規程이 있다. 此外에 降伏點 22.38 4.2kg/mm ² 인 경우에 對하여 規定이 있다.			降伏點 36 및 42. kg/mm ² 에 對해서는 規程이 있다				

Table 6. 各船級協會의 高張力鋼의 使用區分比較[13]

板厚(mm)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	備考
N.K.	←K5A → ←K5D → ←K5E →									強力甲板, 外板의 重要部 Crack arrester
A.B.	←AH → ←BH → ←CH → ←EH →									使用箇所에는 無關係 構造上 特히 揭定하는 곳
L.R.	←AH → ←DH → ←EH → ←EH →									強力甲板, 外板의 重要箇所 Crack arrester
N.V.	←A-33 → ←D-33 → ←E-33 →									強力甲板, 外板의 重要箇所 Crack arrester

Table 7. 高張力鋼用熔接材料(N.K.)

種 類	記 號	引 張 強 度 (kg/mm ²)	衝 擊 試 驗	
			試 驗 溫 度 (°C)	吸 收 Energy(kg/m)
熔 接 棒	KMW 51	50~65	10	4.8以上
	KMW 52		- 7	4.8以上
	KMW 53		-17	6.2以上
自 動 熔 接 材 料	KAW 51		10	3.5以上
	KAW 52		- 7	3.5以上
	KAW 53		-17	3.5以上

Table 8. 高張力鋼用熔接材料의 使用區分[13]

母材	熔 接 棒	自 動 熔 接 材 料
K5A	KMW 51, 52 或은 53	KAW 51, 52 或은 53
K5D	KMW 52 或은 53	KAW 52 或은 53
K5E	KMW 53	KAW 53

備考 : 上級과 下級의 母材를 熔接할때는 下級인 母材에 對한 使用區分에 의해도 좋다.

은 K5A로서 構成되어 있고, K5E는 조금밖에 使用되지 않으므로 實地工事を 進行함에 큰 支障은 없다고 보아진다. 高張力鋼의 低水素系 熔接棒은 使用前에 被覆材를 約 300°C로 加熱乾燥시킴이 必要하며 乾燥된 熔接棒은 數時間內에 吸濕됨으로 午前, 午後, 저녁에 各 使用되는 熔接棒別로 乾燥시킨다든가 하여 特別한 注意가 必要하다. 自動熔接材料의 flux 消耗 nozzle式 electro slag 熔接用 flux와 消耗 nozzle도 使用前에 充分히 乾燥시켜 놓지 않으면 blow hole發生의 原因이 된다. 高張力鋼에서 板厚가 25.4mm를 넘을 경우는 50°C 以上の 豫熱이 必要하고, 實地工事에서 틀림없이 豫熱을 勵行시키도록 해야 한다. 最近에는 block間의 接合은 勿論이고 block相互接合도 自動熔接될 경우가 많다. 自動熔接은 入熱量이 큼으로 熔接部의 結晶粒이 粗大化되고 또 母材를 크게 녹히게 되므로 熔接接手の 切缺靱性が 低下된다. 自動熔接의 入熱量은 能率의 向上 때문에 今後 增大一路에 있어 接手の 切缺靱性を 確保키 爲하여 Mo,의 使用, 鐵粉, cut wire 等の 挿入物의 使用, 鹽基性이 높은 flux의 使用等 自動熔接材料의 改善이 要望되고 한편 熔接部의 切缺靱性を 低下시키는 C, Si 量을 增加시키지 않도록 하는 化學成分이 調整된 高張力鋼母材를 使用할 수 있겠음 配應되어져야 하겠다.

3-4 挫屈問題

比例限度 以下の 應力에서 挫屈이 생기며 이를 所謂 彈性挫屈의 挫屈應力 (σ_{st})는

$$\sigma_{st} = n\pi^2 E \left(\frac{k}{l} \right)^2 \dots\dots\dots \textcircled{1} : \text{柱인 경우}$$

$$\sigma_{st} = KE \frac{m^2}{12(m^2 - 1)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \dots\dots\dots \textcircled{2} : \text{板인 경우}$$

로 表現한다.

但, n =柱의 端部條件에 따라 定해지는 定數

E =彈性係數

k =斷面二次半徑

l =柱의 길이

K =周邊條件 및 板의 길이 a 와 폭 b 의 比

에 의하여 定해지는 定數

m =Poisson's number

t =板厚

위의 ①②式에서 명확한 바와 같이 形狀이 一定하던 挫屈應力은 彈性係數와 Poisson's number에 의하여 決定된다. 高張力鋼과 軟鋼을 比較하면 彈性係數 및 Poisson's No.는 거의 같으므로 同一形式일 것 같으면 彈性挫屈應力에 關한 限 高張力鋼과 軟鋼과는 差가 없음을 말해주고 있다. 이러한 點에서 生覺할 때 壓縮應力을 받아 比例限度內에서 挫屈이 生길 것은 高張力鋼을 使用할 必要가 없음을 말해주고 있다.

때문에 bending을 받는 梁에서는 引張力을 받는 部分은 高張力鋼을 使用하고 壓縮力을 받는 部分에는 軟鋼을 使用하여 兩者를 熔接한 接合組立하는 方式이 좋다. 다음으로 高張力鋼을 構造物에 利用할 경우 deflection 問題를 生覺해보자(挫屈에 의한 deflection은 위生 生覺치 않음) 梁의 deflection에 對하여 例를 들면 最大 deflection(i_{max})는

$$i_{(max)} = C \frac{M_{max} l}{EI} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

로 表現한다.

但, C =荷重條件, 梁의 固定條件 등에서 決定되

는 定數

M_{max} =梁에 生기는 最大 moment

l =梁의 길이

E = 彈性係數

I = 慣性 moment

이다.

彈性係數로 高張力鋼과 軟鋼과는 큰 差가 없으므로 梁의 deflection 은 高張力鋼과 軟鋼과의 差는 없으나 高張力鋼을 使用할 때로 이의 強度가 높은 特性을 利用하여 一般적으로 板厚는 얇게 하는 것이 普通이다.

高張力鋼을 使用할 경우 보의 높이는 軟鋼과 同一하고 板厚만을 얇게하면 當然 慣性 moment가 減少되어 deflection이 增加한다. 故로 deflection에 對하여 制限을 두고 構造物을 設計할 경우에는 단지 強度를 같게 하겠끔 板厚를 얇게한다는 生覺뿐만 아니라 板厚를 減少시켜도 慣性 moment는 같아 지겠끔한 形狀으로 設計됨이 要求된다.

<參 考 文 獻>

- [1] E. Orowan; "Fundamentals of Brittle Behavior in Metals, in Fatigue and Fracture of Metal's," John Wiley & sons(1952).
- [2] 日本造船學會編: 鋼船工作法(VI) p.123(昭 35年)
- [3] M. Yoshiki & T. Kanajawa; "Effect of notch Geometry on the Notch sensitivity of Mild steel, Brittle Fracture in Mild steel and their Welded Joint." *Weld. Res. Comm. Soci.Nav. Arc. Japan* Oct.(1953)
- [4] N.A. Kahn & E.M. Imbemb; "Notch sensitivity of steel Evaluated by Tear Test, *Weld. Jour.* April. 1949.
- [5] 日本熔接協會, 鐵鋼委員會: "熔接構造物의 脆性破壞의 ための 鋼材의 材質判定基準의 確立に 關する 研究," 1962.
- [6] 秋田好雄: "脆性破壞傳播に 關する 研究," 日本造船論集(105號) 昭和 34.
- [7] 渡邊正紀 外 1: "熔接力學と その應用", 朝倉書店 昭40.
- [8] H.R. Thomas & D.F. Windenburg; "A study of slotted Tensile specimens for Evaluating the Toughness of Structural steel," *Welding Jour.*, Vol. (1948) No. 4 pp.209S-215S
- [9] A.A. Wells; "The Mechanics of Notch Brittle Fracture," *Welding Res.*, April(1953) pp. 34r-56r
- [10] 嚴東錫: "鋼材의 脆性破壞에 對하여," 大韓造船學會誌 Vol. 6. No. 2 p. 82.
- [11] 安藤: "大型鑄鋼의 熔接脆化域に 關する 研究," 昭和 39 熔接學會にて報告.
- [12] 峰久: "高張力鋼의 病れ強さに 對する 實驗," 昭和 38 FS 資料 17-78(日本熔接學會).
- [13] 賀來信一: "新しい船體用 鋼材とその熔接," 日本造船學會誌 Vol. 460 p. 408.