

討11

溶接用高張力鋼板のラメラテア感受性について

住友金属工業(株)中央技術研究所

伊藤慶典 ○大森靖也

中西睦夫 小溝裕一

1. 緒言

鋼板中に含まれる MnS など圧延方向に伸ばされた介在物は、鋼板諸特性の異方性を生ずる原因となり、数多くの問題を発生させる。海洋構造物などに多く見られる、T溶接継手やかど溶接継手など、鋼板の板厚方向に大きな拘束応力が作用する溶接継手部では、ラメラテアと呼ばれる介在物に沿った階段状の割れが発生することがある。ラメラテアは、しばしば、鋼板中に内在し、脆性破壊の起点となるなど、有害な欠陥として作用する。このラメラテアの発生には、従来より、圧延によって伸ばされた非金属介在物が大きな影響を与えることが知られている^{1), 2)}。

本報告では、このようなラメラテアの発生要因、評価方法ならびに、その発生防止方法について検討した。

2. ラメラテアの発生原因とその評価方法

ラメラテアの代表例を Photo. 1 に示すが、ラメラテアは、主として溶接熱影響部に発生し、介在物に沿ってステップ状に伝播した割れである³⁾。

このような割れの発生には、次の要因が大きな影響を与えることが明らかになった。

- (1) 鋼板中の、圧延によって伸長したり、点列でならんだ A系・B系介在物の量ならびに分布。
また、これに関係する S 含有量^{1) 2)}。
- (2) 溶接部の板厚方向拘束力の大きさ⁴⁾。
- (3) 鋼板の化学組成と溶接熱影響部の変態組織。
- (4) 溶接部に残存した水素量や、予熱、溶接入熱量などの溶接施工条件。

以上のラメラテア発生要因の相互関係を明確にするため、板厚方向 (Z 方向) より試験片を採取した場合のインプラント試験ならびに、圧延方向 (L 方向) のインプラント試験を実施した。

Fig. 1 に S 含有量の異なる二種の調質型 Mn-V 系 HT60 の L, Z 方向インプラント試験結果を示した。鋼板中の S 含有量の増加に伴って、L・Z 方向の溶接割れ発生限界応力の差 ($\Delta\sigma_{cr imp}$) は、大きくなる。破面の走査型電子顕微鏡写真の一例を Photo. 2 に示す。L 方向試験片では、全面、いわゆる擬劈開破面と呼ばれている水素脆化破面を示すのに対し、Z 方向試験片では、圧延により伸ばされた介在物と母相の界面の剥離と水素脆化破面とが交互にならぶ典型的なラメラテアの様相を示している。また、Z 方向試験においては、高応力破壊から低応力破壊に移るにつれて、介在物領域と同時に混在する破面は、ディンプル破面から水素脆化破面に移っており、破壊の発生点には、介在物が存在することが明らかとなった。このような、破面形態および、その応力依存性と、ラメラテアのそれとの類似性から、Z 方向のインプラント試験によってラメラテア感受性を評価することが可能と考えられる。

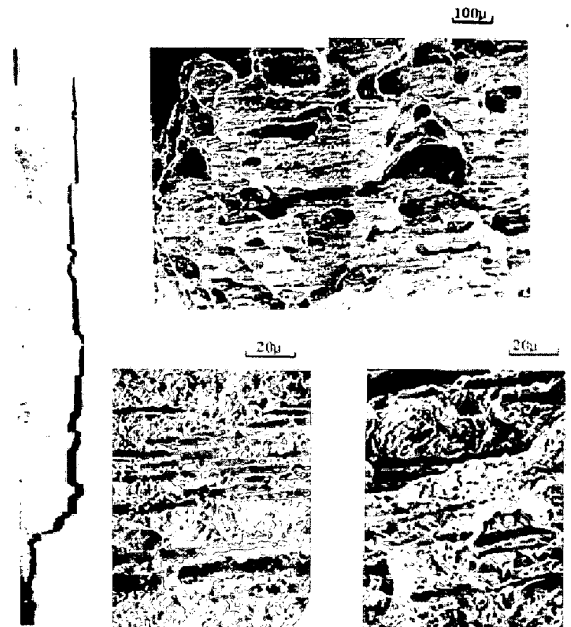


Photo. 1 Scanning electron micro-fractographs of lamellar tearing by inserted window type restraint specimen

Photo. 3 は、インプラント試験途中で除荷して、割れの伝播経路を調査した一例であるが、圧延によって伸びた介在物より割れが発生し、それが伝播する様子を良く示している。したがって、ラメラテアは、Z方向に大きな拘束が生じている場合に、介在物などを起点として発生する割れであり、水素による遅れ破壊であると考えられる。そこで、水素割れの重要因子である鋼板の化学組成、拡散性水素量ならびに介在物量とラメラテア感受性との関係を検討した。

ここでは、Z方向インプラント試験ならびに窓型拘束溶接割れ試験の結果を、同じく水素による遅れ破壊と考えられる低温割れ感受性指数 P_{CM} ⁵⁾ で整理し、次の関係が成立することを見出した。

ラメラテア感受性指数：

$$P_L = P_{CM} + \frac{H}{60} + \frac{L}{7000} \quad (1)$$

ここで、

P_{CM} : 鋼板の溶接割れ感受性組成 (%)

$$P_{CM} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

H : 拡散性水素量

(JIS 法, CC/100g)

L : 単位面積当りの (A系 + B系) 介在物総長さ (μ/m^2)

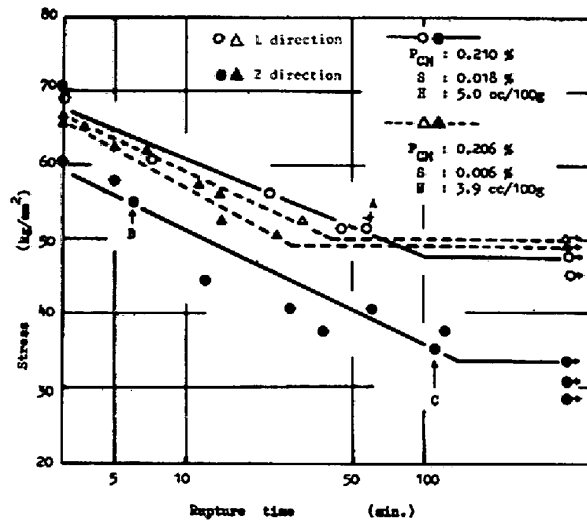
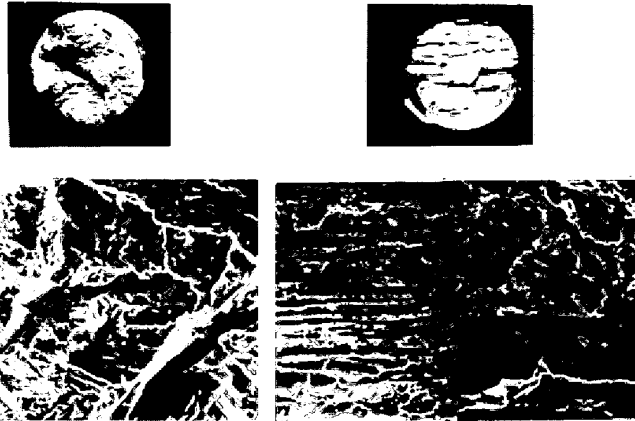


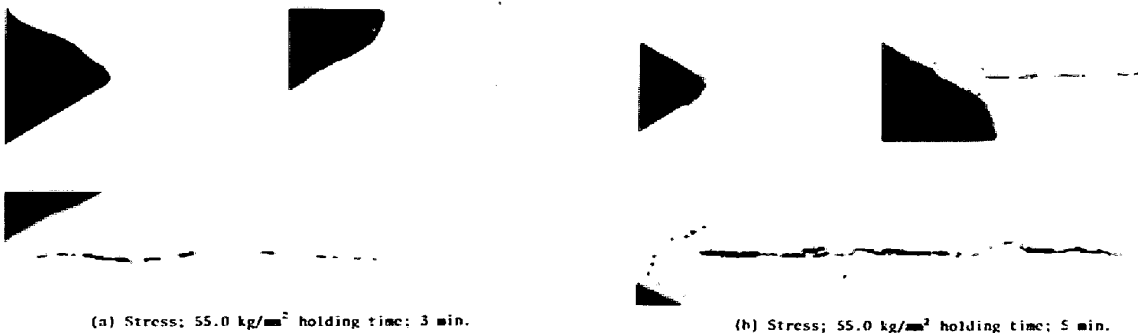
Fig. 1 Example of L and Z-direction implant test results



(a) L direction

(b) Z direction

Photo. 2 Scanning electron micro-fractographs of L direction and Z direction implant test specimens



(a) Stress; 55.0 kg/cm² holding time; 3 min.

(b) Stress; 55.0 kg/cm² holding time; 5 min.

Photo. 3 Cracks associated with inclusions tested by Z-direction implant test

また、介在物の総長さ L は、Ca, La-Ce 添加などの介在物の形状制御処理をほどこさない場合、S 含有量とほぼ良好な直線関係を有し、(1)式は(2)式で表わされる。

$$P_L = P_{CM} + \frac{H}{60} + 6S \quad (2)$$

ここで、 S : 鋼板中の S 含有量 (%)

P_L 値と窓型拘束溶接割れ試験結果ならびに Z 方向インプラント試験結果との関係を Fig. 2 および Fig. 3 に示すが、ラメラテア感受性は、 P_L 値でよく表わされることがわかる。

3. ラメラテア感受性の改善

ラメラテア感受性が(1)式のように示されることから、その感受性改善には、鋼板の化学組成ならびに介在物のコントロールが、きわめて重要である。

Fig. 5 に鋼板中の S 含有量、ならびに Ca 処理による介在物形状変化と介在物総長さ (L) との関係を示す。これより、介在物の総長さは、S 含有量の減少および Ca 処理により、大巾に減少することがわかる。

鋼板中の S 含有量と、 $L \cdot Z$ 方向のインプラント試験による溶接割れ発生限界応力の差 ($\Delta \sigma_{cr imp}$) との関係を Fig. 5 に示す。これより、ラメラテア感受性は、S 含有量の低減により著しく改善される一方、多少 S 含有量が多く、0.010% S 程度であっても、Ca 処理により安定して改善できることがわかる。このように、ラメラテア感受性は、鋼板中の S 含有量の低減および、Ca 処理による介在物の形態制御を組合せることにより、きわめて経済的に安定した改善がはかれる。

このような処理は、ラメラテア感受性ばかりでなく、鋼板の諸特性も著しく改善し、とくに、 L 方

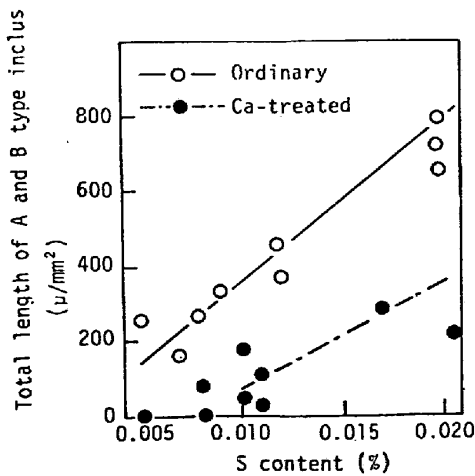


Fig. 4 Effect of S content on the total length of A and B type inclusions

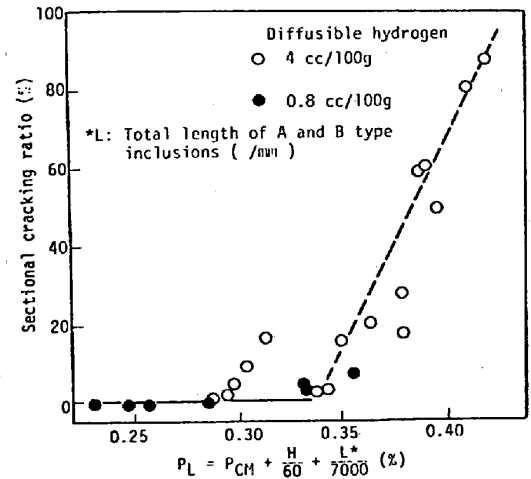


Fig. 2 Relationship between lamellar tearing and the formula for lamellar tearing susceptibility (P_L)

(Inserted window type weld cracking test ; 17000 J/cm Ni preheating)

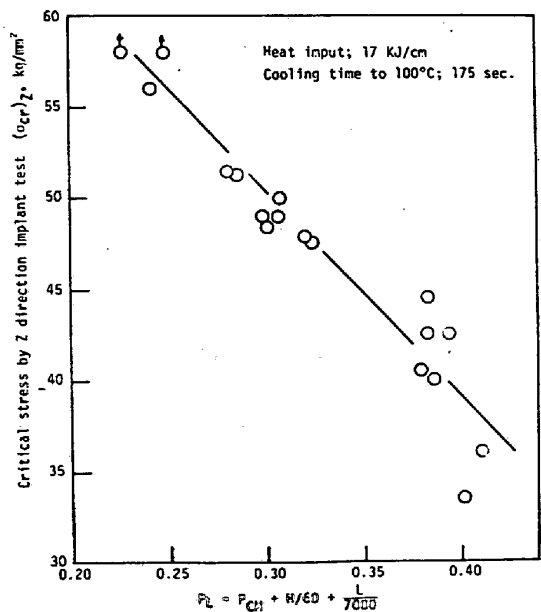


Fig. 3 Relationship between P_L value and critical stress for weld cracking by the through-thickness direction implant test

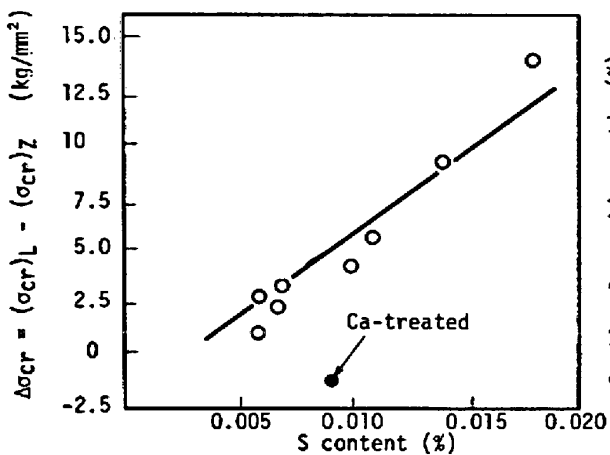


Fig. 5 Effect of S content on the difference between rolling direction crack initiation critical stress and through-thickness one

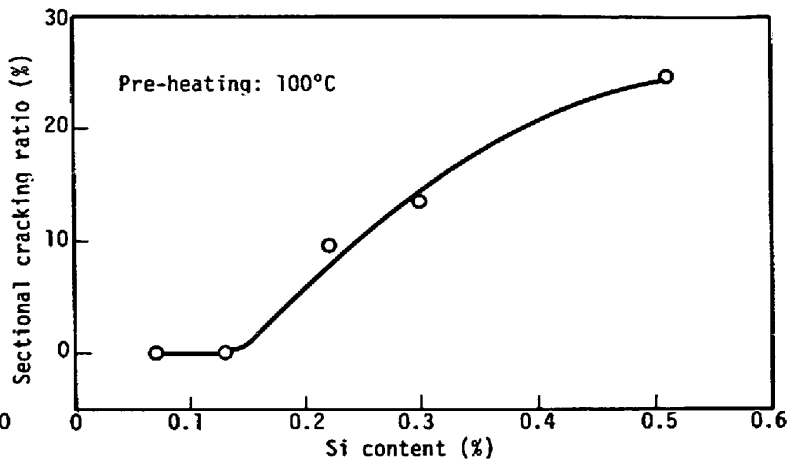


Fig. 6 Effect of Si content on the lamellar tearing susceptibility of inserted window type restraint weld cracking test

向特性に比べて、比較的特性が劣る T 方向・Z 方向引張特性、衝撃特性も改善するので、諸特性の異方性は、著しく軽減される^{6) 7)}。

また、ラメラテアは、介在物を起点とする水素による遅れ破壊であることから、介在物の分布や形態と同時に、鋼中の水素量に依存する。すなわち、マルテンサイト変態しやすい焼入性の大きな鋼板では、水素溶解度の大きなオーステナイトが、低温まで未変態で持ちこたされた最後にマルテンサイト変態するため、内部に多量の水素がトラップされる。そのため、ラメラテア感受性も増大するであろう。事実、Fig. 6 に示すように、Si は溶接ボンド近傍で、島状マルテンサイトを生成しやすいので、ラメラテア感受性が大きくなっている。

なお、前述したごとく、ラメラテア防止には、鋼板の感受性改善と同時に、溶接法、溶接施工条件が大きな影響を与えるため、完全な防止対策としては、ラメラテア感受性の低い鋼板の使用と同時に、溶接法、溶接施工条件の検討ならびに、溶接時の拘束条件の低減が同時に必要であることは、云うまでもない。

参考文献

- 1) Farrar, J.C.M; Weld. J., August (1974), 321-S
- 2) 金沢, 山戸ら; 溶接学会誌, 45 (1976)2, 40
- 3) Nichols, D.M; Brit. Weld., vol. 15 (1968), 103
- 4) 永尾, 原沢; 溶接学会誌, 45 (1976)2, 31
- 5) 伊藤, 別所; 溶接学会誌, 37 (1968)9, 983
- 6) 梨和, 高橋ら; 鉄と鋼, 第90回講演概要集 (1975), S 788
- 7) 小指, 清水ら; 鉄と鋼, 57 (1971), 13 2029