

亜鉛めっき鋼板の抵抗スポット溶接部 LME 割れ感受性評価 技術—LM-CAST 試験[®]—

Evaluation Technique of LME Cracking Susceptibility in Resistance Spot Welding of Zinc Coated Steel Sheet

1. はじめに

自動車の軽量化、衝突安全性向上、および、防錆性の確保を目的に高強度亜鉛めっき鋼板の自動車への適用が増加している。組立工程に主として用いられる抵抗スポット溶接性が重要である。高強度亜鉛めっき鋼板の抵抗スポット溶接時には、溶融した亜鉛が溶接部に液体金属脆化割れ (Liquid Metal Embrittlement Cracking) を発生させる場合がある。このため、その発生機構の解明や抑制する溶接プロセスの検討¹⁾が進められている。加えて、LME 割れ感受性を考慮した高強度鋼板 (ハイテン) の開発が求められている。

上記の開発をより確実に進めるため、JFE スチールと JFE テクノリサーチは、鋼板の抵抗スポット溶接部 LME 割れ感受性を定量的に評価する「LM-CAST 試験[®]」(LME-Cracking by Applied Strain Test) を開発した^{2,3)}。本稿では、その試験技術の概要と評価結果例について紹介する。

2. LM-CAST 試験[®]の概要

抵抗スポット溶接における LME 割れは、溶接の熱によって溶融した鋼板表面の亜鉛が、何らかの引張の外力が負荷されることにより熱影響部の粗大オーステナイト粒界に侵入開口する割れである。したがって、溶接プロセス中の温度と引張ひずみ (曲げひずみ) が大きな影響因子である。LM-CAST 試験は、抵抗スポット溶接中の任意のタイミングで任意の曲げひずみを付与することが可能な試験装置を用い、材料の LME 割れが発生する温度と公称ひずみの範囲を定量的に評価する技術である。

図 1 に開発した LM-CAST 試験装置の概略図を示す。本試験機は抵抗スポット溶接機と、下電極側に設置された曲げブロックおよび試験片を押し曲げるためのヨークで構成される。曲げブロックは交換可能であり、曲げブロック半径により任意の曲げひずみを付与できる。また、本装置は抵抗スポット溶接機の動作をモニタリングしており、溶接 (通電) 終了からの任意の経過時間でヨークを降下させることができ、曲げブロックの曲率半径に応じた曲げひずみを下板上面

に付与できる。写真 1 に本試験機を用いて抵抗スポット溶接部に曲げひずみを付与して得られた抵抗スポット溶接部の上板を剥がし、LME 割れの発生を確認できるようにした試料の外観写真および溶接部断面組織を示す。ナゲット (抵抗スポット溶接で形成された溶融部) の外側のめっき層が溶融した領域に LME 割れが同心円状に発生している。このとき、ヨークによるひずみ付与のタイミングと LME 割れ

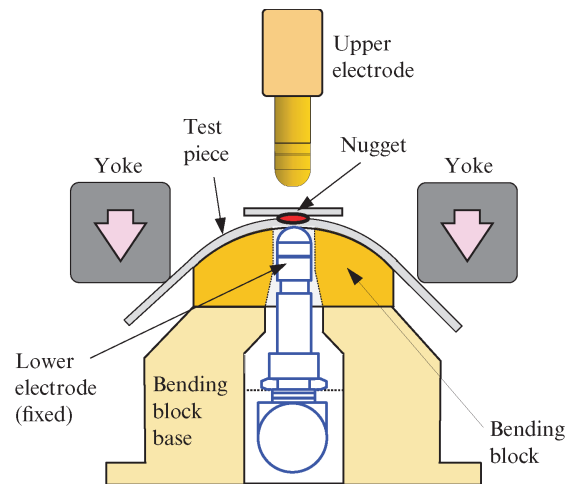


図 1 LM-CAST 試験[®]装置の模式図²⁾

Fig. 1 Schematic image of testing equipment²⁾

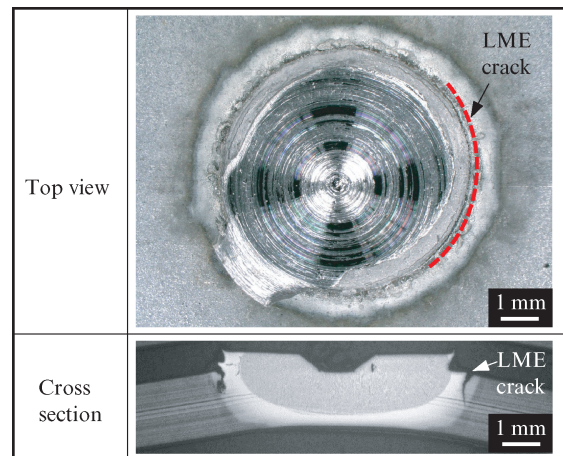


写真 1 LM-CAST 試験[®]で形成された LME 割れ

Photo 1 LME crack appearance of LM-CAST test specimen

2025年10月16日受付

発生位置における熱履歴から、溶接プロセス中の温度と設定された曲げひずみにおける LME 割れ発生の有無を明確にできる。なお、LME 割れ発生位置における熱履歴は、抵抗スポット溶接部周辺の温度分布が急峻であるため実測は困難であることから、熱伝導解析により算出する。上記を曲げひずみ付与のタイミングおよび曲げひずみを変えて試験することにより、LME 割れ発生の温度と公称ひずみの範囲を明確にできる。

3. LM-CAST 試験®による評価結果例

化学組成の異なる 2 種類のラボ試作鋼板 (Steel A: 980 MPa 級と Steel B: 1180 MPa 級, 板厚 1.6 mm) を準備し、LM-CAST 試験による LME 割れ感受性評価を実施した。事前に、合わせ材に 980 MPa 級 GA 鋼板を用いた外乱付き 2 枚重ねの抵抗スポット溶接でこれらの鋼板に対して抵抗スポット溶接した場合の LME 割れを評価した。外乱として打角 5°, クリアランス 2 mm を設定し、ホールド時間 120 msec, ナゲット径 $4.0 \sim 4.5\sqrt{t}$ (t: 板厚) となる溶接条件で行った。写真 2 に得られたナゲット端部の断面組織を示す。Steel A では熱影響部に LME 割れが生じたのに対し、Steel B では LME 割れは生じていない。

次にこれらの鋼板を LM-CAST 試験にて評価した結果を図 2 に示す。各公称曲げひずみレベルで Steel A よりも Steel B の方が、LME 割れが発生する温度範囲が狭く (下限温度が高く)、LME 割れ感受性の低い材料であることがわかる。この結果は、外乱付き抵抗スポット溶接による耐 LME 割れ性評価と一致しており、LM-CAST 試験により異なる鋼板の LME 割れ感受性を比較判断でき、その温度とひずみの領域を解析できることを示している。

4. おわりに

本稿では、自動車向けハイテンにおける抵抗スポット溶接時の耐 LME 割れ性という課題に対し、LME 割れ感受性を定量的に評価することを可能にした LM-CAST 試験を紹介した。今後は本評価技術を積極的に活用し、安全性と信頼性の高い自動車用ハイテンの開発に一層貢献していく所存である。なお、本技術は JFE スチールが展開する製造業向けソリューションビジネスブランド「JFE Resolus®」のラインナップの一つとして、JFE テクノリサーチを通じて提供されている。

参考文献

- 1) 高島克利. 高強度薄鋼板の抵抗スポット溶接時における LME 割れ抑制技術. 溶接学会誌. 2021, Vol. 90, no. 7, p. 492-496.

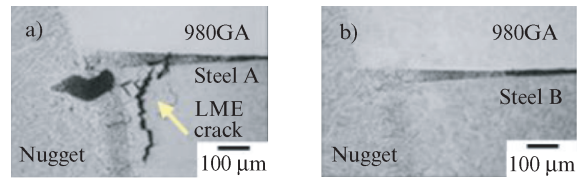


写真 2 外乱付き抵抗スポット溶接ナゲット端部断面³⁾

Photo 2 Cross-section of the nugget edge in resistance spot welding with disturbances³⁾ ((a) Steel A, (b) Steel B)

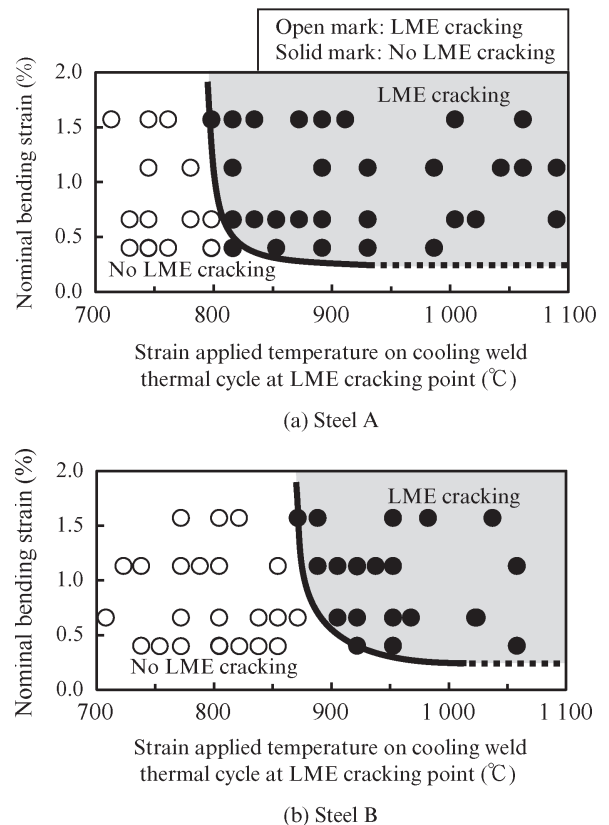


図 2 LM-CAST 試験®で形成された LME 割れ³⁾

Fig. 2 Evaluation results of LME cracking susceptibility by LM-CAST test³⁾

- 2) 三宅彩香, 安田功一, 池田倫正, 沖田泰明, 川邊直雄, 高島克利. 曲げひずみ付与による Zn めっき鋼板の抵抗スポット溶接部 LME 割れ感受性評価方法 (第 1 報). 溶接学会全国大会講演概要集. 2023, no. 113, p. 10-11.
- 3) 三宅彩香, 安田功一, 池田倫正, 沖田泰明, 川邊直雄, 高島克利. 曲げひずみ付与による Zn めっき鋼板の抵抗スポット溶接部 LME 割れ感受性評価方法 (第 2 報). 溶接学会全国大会講演概要集. 2023, no. 113, p. 12-13.

〈問い合わせ先〉

JFE テクノリサーチ
 マテリアル評価・解析 Division 接合評価・解析センター
 TEL: 043-262-2676 FAX: 043-262-4249