溶接部高疲労強度鋼板の開発

田 邊 弘 人^{*1)} 穴 井 功^{*2)}
山 崎 一 正^{*3)} 友 清 寿 雅^{*4)}

1. 開発の背景

自動車メーカーでは、環境問題の対応および経済性の観点から、これまでの自動車の基本性能向上を目的とした開発に加え、車両質量軽量化による燃費向上を狙った開発が行われている。

これまで、車両質量の約30%を占めるボディの軽量化が検討され、その対策として高強度鋼板の適用による素材の薄肉化が進められた。そして、ボディ質量の約30%に高強度鋼板が適用されるまでに至った⁽¹⁾。

しかし、自動車足回り部品に代表されるようなアーク溶接等の接合が施される部材に対しては、溶接継手部の疲労強度の問題から高強度鋼板の適用がなされず、車両質量軽量化の阻害要因の一つとなっている。

溶接継手部の疲労強度の問題は、鋼板の高強度化に伴って鋼板そのものの疲労強度は向上するが、溶接部の疲労強度は鋼板の引張強度が440~540 N/mm²以上では容易に向上しない⁽²⁾という従来からの課題でもある。

このような状況から、自動車のさらなる軽量化を推進するために、溶接部の疲労強度が低下しない高強度鋼板の開発が望まれていた。

著者らは、従来の高強度鋼板で認められる疲労強度低下の原因が溶接熱影響部の強度低下であることに着目して検討を行った結果、Nb および Mo を複合添加した溶接部高疲労強

度鋼板を開発した。

2. 溶接部高疲労強度鋼板開発の考え方

高強度鋼板の溶接部疲労強度が母材並みに向上しないのは、以下のように考えられる。

従来の高強度鋼板にアーク溶接が行われた場合、溶接熱影響部(HAZ 部)の強度が母材強度よりも低下する現象が生じる。

図1⁽³⁾に引張強度が531および705 N/mm²の高強度鋼板のアーク溶接法による突合わせ溶接後の断面硬さ分布を示した。両鋼板とも、HAZ 部において硬さが母材部(BM)よりも低くなり、軟化しているのが認められる。そして、HAZ 部硬さの軟化代は、引張強度の高いもの程大きくなっている。このような溶接構造物に荷重が負荷された場合、母材部よりも軟化した HAZ 部に応力集中が生じるため、溶接部の疲労強度は母材部よりも小さくなる。

このため、高強度鋼板の溶接部の疲労強度を向上させるには、HAZ 部の軟化を防止する技術が必要である。

図1 従来型高強度鋼板のアーク溶接後の断面硬さ。

* 新日本製鐵株式会社

名古屋支店：1)マネージャー、

名古屋製鐵所鋼管工場：2)マネージャー

名古屋技術研究部：3)部長 4)主任研究員

Development of High Strength Steel with High Fatigue Strength at Welded Zone; Hiroto Tanabe, Isao Anai, Kazumasa Yamazaki, Toshimasa Tomokiyo (Nippon Steel Corporation)

1998年12月8日受理

3. 溶接部高疲労強度鋼板の特性

HAZ部の軟化を防止するため、筆者らは、(1)母材のフェライト組織の微細化、および(2)アーク溶接時の熔融冷却過程で生じる析出物によってHAZ部を強化する鋼成分の検討を行い、Nb, Moの複合添加が溶接後のHAZ部の軟化防止に有効である知見を得た。

以下に440 N/mm²級の溶接部高疲労強度鋼板(以下、開発材)のNb, Mo添加の効果について説明する。

表1に用いた高强度鋼板の諸特性を示した。溶接はMAG溶接によって行い、溶接条件は、 $E: 20\text{ V}$, $I: 100\text{ A}$, $v: 500\text{ mm/min}$ とした。

図2に溶接後の溶接部の断面硬さ分布を示した。従来材(Nb, Mo無添加)では、HAZ部において母材部よりもHvで15程度の軟化が認められるが、開発材(Nb, Mo添加)では、HAZ部の軟化は認められず母材部以上の硬さが得られていることがわかる。

HAZ部の軟化防止による溶接部の疲労強度向上の効果を確認するために平面曲げ疲労試験を行った。図3にその結果を示した。従来材に比べて、開発材は母材疲労強度に対する

溶接部の疲労強度の低下が少なくなっており、Nb, Moの添加によって、溶接部の疲労強度の向上が図れることが明らかになった。

図4に溶接部の断面組織写真を示した。平面曲げ疲労試験において亀裂が発生した溶接金属と母材との境界近傍では、開発材は比較材に比べて細粒組織であり、また、パーライト組織が少ないことが観察される。そして、両者のフェライト粒の硬さを調査した結果、開発材の方がフェライト粒の硬さ

図3 開発材の平面曲げ疲労試験結果。

表1 化学成分および機械特性。

	化学成分 (mass%)					機械特性	
	C	Si	Mn	Nb	Mo	TS/MPa	El%
開発材	0.01	0.01	0.60	0.03	0.20	470	34
従来材	0.14	0.01	0.50	—	—	475	34

図2 溶接部の断面硬さ分布。

(a) 開発材

(b) 従来材

図4 溶接部断面組織写真。

(a) 溶接部断面

(b) ビード止端部近傍の TEM 像(①部)

(c) 母材部の TEM 像(③部)

(d) ビード止端部近傍の X 線回折像

図5 開発材の析出物観察結果.

が高いことが判明した。これらの結果が、疲労強度向上に寄与したものと考えられる。

この理由を明らかにするために、開発材の溶接部近傍の析

図6 開発材を使用した部材(プロペラシャフト)。

出物の観察を電子顕微鏡により行った。図5(b), (c)は、それぞれ HAZ 部および母材部(図5(a)の①および③部に相当)の析出物である。ビード始端部近傍の HAZ 部では、母材部に比べて多数の析出物が観察され、溶接時の入熱によって析出が生じることがわかる。この析出物は図5(d)に示した回折像から、(Nb, Mo)C の複合炭化物であることが確認された。この析出物が短時間に析出する理由として、溶接時の昇温過程において、Mo が加工の際に導入された転位の消滅を抑えるため高温域まで転位が存在し、この転位を通して短時間での析出が起こったものと考えられる。

以上の結果から、本開発鋼である溶接部高疲労強度鋼板の溶接部疲労強度向上は、溶接時に(Nb, Mo)C が HAZ 部に析出することにより、フェライト粒が強化されて HAZ 部の強度低下を防止するためであると考えられる。

4. 開発材の適用事例

溶接部高疲労強度鋼板を使用した自動車部材の一例を以下に示す。図6は、溶接部高疲労強度鋼板を素材とした電縫鋼管(耐 HAZ 軟化ハイテン鋼管)を用いたプロペラシャフトであり、溶接ままの継ぎ手部の疲労特性の改善効果が得られ、約14%の軽量化が図られた。

5. 特 許

特公平7-42499他12件

文 献

- (1) 高橋 朗：塑性と加工，35-404(1994)，1021.
- (2) 鉄鋼便覧Ⅵ．第3版，東京，丸善，(1982)，p. 703.
- (3) 田邊弘人ら：新日鐵技報，354(1994)，54.