

STX-21 ニュース



独立行政法人 物質・材料研究機構 超鉄鋼研究センター
(<http://www.nims.go.jp/stx-21/>)

発行 独立行政法人
物質・材料研究機構
超鉄鋼研究センター
平成 16 年 12 月 1 日発行
〒305-0047
茨城県つくば市千現 1-2-1
TEL: 029-859-2102
FAX: 029-859-2101

04 年 12 月号 (通巻第 88 号)

目 次

1. New ultra high-strength steels for industry
Dr. Lubos Mraz, Welding Research Institute - Industrial Institute of Slovak Republic 1
2. TOPICS レーザ溶接におけるキーホールのスパイク現象
溶接グループ 本田 博史 2
3. TOPICS 世界最強レベルの650 級フェライト耐熱鋼をめざして
耐熱グループ 戸田 佳明
材料基盤情報ステーション クリープ研究グループ 木村 一弘 3
4. センター便り 技術開発チーム紹介 Part.2
技術開発チーム 岩崎 智 4

1. New ultra high-strength steels for industry

Dr. Lubos Mraz, Welding Research Institute - Industrial Institute of Slovak Republic

I would like to thank NIMS for the opportunity to join the research programme STX-21, to visit the institute and also to attend the 8th Ultra-Steel workshop devoted to this very progressive and specific topic. I am also thankful for the opportunity to be in contact with this new and most recent programme based on theoretical knowledge concerning the influence of grain size on mechanical properties of structural materials. Such programme requires a deep knowledge, highly qualified specialists, and a research environment consisting of testing facilities and technology. All of these are available at NIMS and also at other Japanese research institutes. I have also noticed that great support must be available for such research not only from the industry but from the Japanese government as well.

Personally, I was deeply impressed by the research programme which is performed at NIMS and also by the high concentration of physical metallurgists dealing with all kinds of steel production technology as well as the application of subsequent metal processing operations such as welding. Different research approaches such as numerical modelling and testing on precise and sophisticated testing equipment make it possible to obtain excellent research results.

Most of the presentations at the workshop showed the original research approach that is oriented

to the definition of specific properties and characterized the behaviour of newly developed ultra-high strength steels. Many posters confirmed the high standard of research and also the trends for achieving the best properties of ultra-high strength structural materials. The results have shown that there is still space, both for improving the properties of existing steels and also for the development of new structural steels.

I have got many valuable technical information concerning the concepts and also for the possible use of ultra high strength steels. Thanks to my colleagues from NIMS, I was able to perform a specific weldability test in our laboratories under MOU, using the newly developed filler wire with a specific low martensitic transformation temperature, developed especially for the welding of ultra high-strength steels.

I also hope that these results will extend the knowledge related to stress built up and also the final distribution of residual stresses in the vicinity of welds in ultra high-strength steels.



2. TOPICS

レーザー溶接におけるキーホールのスパイク現象

- 透過X線像およびプラズマブルーム像からの現象解析 -

溶接グループ 本田 博史



背景と目的

超鉄鋼材料の特性を活かし、HAZ軟化を抑えた高効率・高品質溶接として、大出力レーザーを用いた深溶込み溶接が期待されている。深溶込み溶接において解決すべき問題点のひとつに、溶込み深さの増大に伴って発生するポロシティなどの溶接欠陥がある。このような欠陥の発生は、レーザー照射部で形成されるキーホールと呼ばれる細長い空洞の挙動と密接に関連する。

これまでの研究により、ポロシティの発生はスパイク現象と呼ばれるキーホール深さの急激な変動により引き起こされていることが明らかとなっている。その様子を捉えたキーホール先端部付近の透過X線像を図1に示す。キーホールを溶接方向に対して横から透視している。不安定なキーホールが先端部付近でくびれて崩壊し、急激にその深さを低下させるときに、キーホール先端に気泡が形成され、その気泡が後方に流れて溶融金属中に取り込まれている。その気泡のいくつかは溶接金属中に残存し、ポロシティを生じさせる。

しかしながら、スパイク現象の発生原因についてはよく分かっていない。その発生原因について明らかにすべく、X線透過装置によるキーホール像、および、試験片表面のキーホール開口上に発生するブルームと呼ばれるプラズマの発光像を取得し、キーホールの動的な挙動について調べた。

キーホール上部の変動とスパイク現象

ここでは20kWの一定出力で発振させたCO₂レーザーを用い、溶接速度2m/minで溶接を行った。その結果、**キーホール上部の変動がプラズマブルーム生成およびスパイク現象に影響していることが判明した。**

観察結果を図2に示す。一連の透過X線像を見るとキーホールがその上部で激しく変動していることが分かる。最初、細長かったキーホール(図2(a))が時間とともに上部後方に膨らみを生じるようになり(図2(b))、それに伴って持ち上げられた溶融金属(黄色い円で囲った部分)がキーホール上部の更なる膨張によりキーホール開口を塞ぎかかるところにまで至る(図2(c))。試験片上に生じているプラズマブルームを見ると、このときに大きく立ち上がっており、透過X線像か

ら判断して、**持ち上げられた溶融金属が入射レーザー光に直接照射されるまでに近づいて、このような大きなプラズマブルームを生じたと考えられる。**その後、キーホール開口が大きく広がっているが(図2(d))、これは図2(c)で**大きなプラズマブルームが生じたときに発生した蒸発反跳力により、持ち上げられた溶融金属が後方に押し戻されたため**と推定される。またキーホール深さは、このキーホール開口が大きくなったときに増大し、その後、図2(e)でキーホールが元の細長い形状に戻るにつれて減少しており、**キーホール開口の変動がスパイク現象と関係していることが分かった。**キーホール上部が大きく開いたときにキーホール深さが増大した理由としては、その部分でのプラズマやキーホール内壁によるレーザー光の吸収量が緩和され、キーホール先端までより多くのレーザー光が届くようになったためと考えられる。

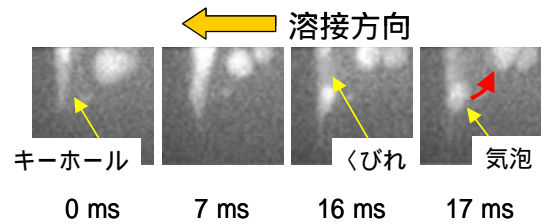


図1 キーホール先端部付近での気泡形成過程の透過X線像

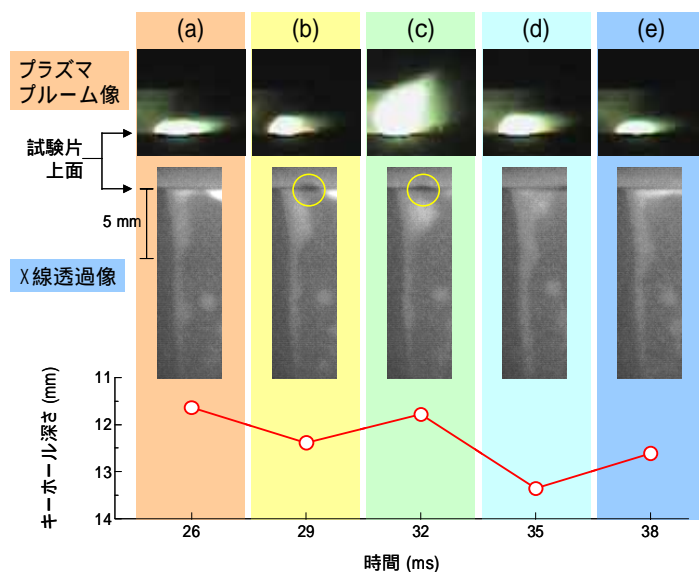


図2 各時刻におけるプラズマブルームの発光像とキーホールの透過X線像、および、透過X線像から求めたキーホール深さ

3. TOPICS

世界最強レベルの650 級フェライト耐熱鋼をめざして

- フェライト母相を用いた析出強化型15Crフェライト鋼の高強度化 -



耐熱グループ 戸田 佳明

材料基盤情報ステーション クリープ研究グループ 木村 一弘

背景と目的

既存のフェライト耐熱鋼に代わる新しい高強度耐熱鋼として、フェライト相を母相とした15Crフェライト鋼を提案し、金属間化合物による析出強化を有効に活用することでクリープ強度が向上すること、化学組成の最適化や溶体化熱処理によりフェライト母相の欠点であった衝撃特性を飛躍的に改善できることを明らかにした(STX-21ニュース 03年4月号)。その後、衝撃特性を改善した上記開発鋼の650 におけるクリープ強度を、さらに高めることに成功したので報告する。

強度2倍・寿命1000倍

0.05C-15Cr-1Mo-6W-3Co-V-Nb-0.04N(mass%)鋼にNiを添加した溶体化熱処理材(WQ)のクリープ試験結果を図1に示す。同組成の開発鋼の炉冷材(FC)と、既存鋼で最も高いクリープ強度を有するASME T92鋼のクリープ強度も同時に示した。WQ材のクリープ強度はFC材のそれよりもさらに向上し、**最も優れた材料は200MPaでの破断寿命が約1万時間に達した。これは、1万時間破断応力が既存鋼の2倍、200MPaでの破断寿命が既存鋼の1000倍であり、著者らが知る限り、バルク材から作成した650 級フェライト耐熱鋼としては世界最強レベルである。**しかし、衝撃特性の向上に有効なNiを多量に添加した材料ほど、長時間域でクリープ強度が大きく低下する傾向を示す。

均一微細分散析出による高強度化

図2は、(a)0.4%Ni添加鋼と(b)2.0%Ni添加鋼の、650 /200MPaクリープ破断材の走査型電子顕微鏡(SEM)写真であり、写真中のtrは破断時間を示す。既

存鋼の焼もどしマルテンサイト組織は923Kの高温では不安定で、組織変化に起因した材質劣化によりクリープ強度は大きく低下することが知られている。しかし、**そのような高温で数千時間のクリープ試験後にもかかわらず、破断時間の長い0.4%Ni鋼では、フェライト母相中に数百nm程度の第二相が均一微細な状態で存在し、組織の高温安定性が非常に高い。**FC材では徐冷中に粗大な塊状の第二相や無析出帯が形成され、それが析出強化の効果を低下させるのに対し、急冷による溶体化熱処理を行うことで有害な組織因子の形成が抑制され、析出物を形成する固溶元素の過飽和度が高まったため、微細な第二相が均一に析出したと考えられる。一方、**2.0%Ni鋼では多くのマルテンサイト相が観察され(図2(b)の中央から右半分)、その内部には様々な大きさの粗大な析出物がまばらに存在し、組織の不均一性が大きい。**衝撃特性の向上に有効なNiの添加量が増加すると、溶体化温度においてフェライト相中にオーステナイト相が形成され、冷却中にマルテンサイト相に変態したためである。

今後は、Niを添加して衝撃特性を維持しながら、熱処理法や化学組成を最適化してマルテンサイト相を抑制し、高温強度とのバランスを図って、火力発電プラント等の大型高温構造部材への応用をめざす。

本研究は平成15年度NEDO産業技術研究助成事業に採択された。

本研究成果の一部は、(社)日本機械学会動力エネルギーシステム部門より優秀講演表彰を戴いた。

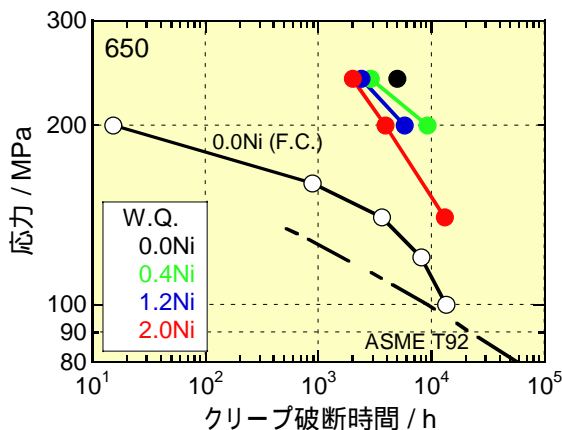


図1 650 における各鋼種の応力-破断時間曲線を示す。溶体化熱処理材(WQ)は既存のT92鋼のクリープ強度を大きく上回り、200MPaでの破断寿命が約1万時間に達した。

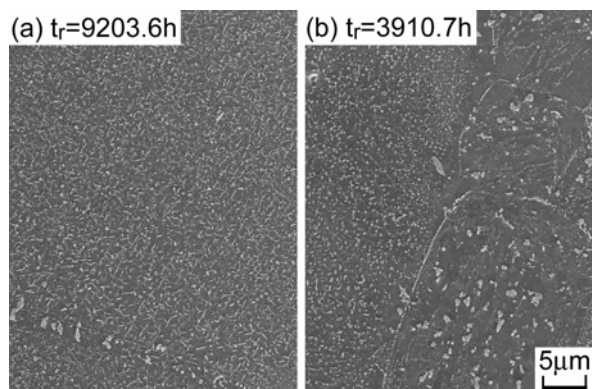


図2 (a)0.4%Ni添加鋼と(b)2.0%Ni添加鋼の、650 /200MPaクリープ破断材のSEM写真を示す。0.4%Ni鋼では、第二相の微細分散析出が観察されたのに対し、2.0%Ni鋼では、マルテンサイト相の形成による組織の不均一性が高い。

4. センター便り

技術開発チーム紹介 Part.2

9月号技術開発チーム紹介Part.1より続いて、今回は機構内や(契約に基づき)他機関からの依頼業務を受け付ける装置を紹介致します。

【溶解作業】

<高周波真空溶解炉 鉄換算3kg、20kg用2台>

真空または不活性ガス雰囲気中において、各種金属元素を溶解合成し、各種形状の試験片及びインゴットを作製するための設備。

(3kg): 最大出力: 20kW、排気系: R.P-M.B.P-D.P

(20kg): 最大出力: 50kW、排気系: R.P-M.B.P-D.P

<コールドクルーシブル浮揚溶解装置>

不活性ガス雰囲気中において、高純度金属や活性金属などを溶解合成し、高純度試料作製や各種試験片を溶製するための設備。

溶解量: 鉄換算2.3kg、最大出力: 150kW+100kW
排気系: R.P-M.B.P-D.P ガス置換。

【圧延加工作業】

<300tf 油圧鍛造装置>

金属材料の一部または全部の高さを上下方向から圧縮し、横方向に広げることによって成形加工を行い、あるいは素材の組織を改善するための鍛錬を行う設備。出力: 300tf、ストローク: 700mm最大材料加熱温度: 1250

<熱間2段圧延機>

冷間又は加熱した金属材料を回転するロールの間を通して塑性変形させ、厚さを減ずる設備。板幅: 250mm以下、板圧: 2~30mm、最大圧延荷重: 150ton、リバース圧延可能。

<角溝ロール圧延機>

金属材料等を熱間または温間で棒状に圧延加工し、材料の内部歪みや結晶粒、さらには棒断面形状を高精度に制御する装置。

溝寸法: 40mm 7.9mm 24本溝、最大圧延荷重: 150ton、最高圧延温度: 1000

<冷間4段圧延機>

板状の各種金属材料を常温のまま、回転す

るロールの間を通して塑性変形させ、厚さを減ずる設備。最大板圧: 5mm、最大板幅: 180mm、最大圧延荷重: 150ton、冷間一方向圧延。

<スエーピングマシーン 大小2台>

各種金属材料の管または棒を常温または加熱して縮径させるための連続圧延成形装置。

(大): 最大加工寸法: 30mm、最小: 6mm、最大加圧力70ton

(小): 最大加工寸法: 10mm、最小: 0.35mm、最大加圧力18ton

【熱処理作業】

<鍛圧用加熱炉>

最高使用温度: 1250、炉内有効寸法: 440 × 1200 × 470mm

<カンタル炉>

最高使用温度: 1200、炉内有効寸法: 150 × 250 × 150mm

<大型熱処理炉>

最高使用温度: 1350、炉内有効寸法: 600 × 1200 × 400mm

<焼鈍用熱処理炉>

最高使用温度: 850、炉内有効寸法: 300 × 800 × 200mm

その他、作業に伴う機械加工用設備、溶接設備などの機器類も取りそろえております。

下記4枚の写真は、設備の一例を示します。

[広報室経由で施設見学も受け付けております。](#)

最後に、外部機関より依頼を行うにあたっての手続きを簡単に紹介致します。

依頼内容により契約形態が分かりますので、技術的内容の問い合わせは当チームまで、契約に関しましては知的財産室まで問い合わせの程お願い致します。

上記、知的財産室を始めとし、機構内他部署と技術開発チームとの関わり合いをチーム紹介のまとめとして、Part.3(号未定)で紹介致します。

(技術開発チーム 岩崎 智)



受賞報告

戸田 佳明(耐熱グループ)は、“Improvement in Creep Strength of Precipitation Strengthened 15Cr Ferritic Steel by Controlling of Carbon and Nitrogen Contents” に対して、平成16年10月22日、社団法人日本機械学会 動力エネルギーシステム部門より優秀講演表彰を戴きました。

11月の出来事		今後の予定	
H16.11.2-5	PRICM5 (Beijing, China)	H16.12.23-24	第15回日本MRS学術シンポジウム (日本大学 駿河台校舎)
H16.11.19	NIMSフォーラム (東京ビッグサイト)		