

## 「二相ステンレス鋼の溶接—溶接施工のかんどころー」書籍発刊記念シンポジウム 当日質疑応答一覧

整理No.	質 問	回 答
01	ステンレス鋼の溶接において、パス間温度は150°Cと聞きますが、何かの指針などがありますでしょうか。	本件は、国内で指針が無いから、今回ガイドラインを作成したとの認識です。 参考としてですが、日本海事協会殿のガイドラインも150°Cに規定しています。
03	二相系ステンレス鋼を溶接すると比較的プローホールが多くなる印象です。安定化のために含有される窒素が多いことが一因だと考えていますが、認識は正しいでしょうか。 教科書的にはArガス比率を下げることが対策の一つになると思いますが姿勢溶接ではビード形状が悪くなる方向になるため、その他有効な対策があれば教えていただきたいです。	MAG(100%CO <sub>2</sub> ~Ar+数%O <sub>2</sub> ガス)溶接でのプローホール(以下BH)のご質問として回答いたします。 ご指摘の通り、二相ステンレス鋼は窒素含有量が高いため、一般的なステンレス鋼の溶接よりもBH発生リスクが高い傾向にあります。特にFCWやソリッドワイヤを用いたMAG溶接では、酸化介在物を核に溶融金属中のNがN <sub>2</sub> ガスとしてトラップされるため、TIGやMIGなどシールドガスにO <sub>2</sub> やCO <sub>2</sub> を含まない溶接法よりもBHは多くなります。 溶接材料メーカー各社はBH対策として、溶融金属中のN溶解度を確保する、発生したN <sub>2</sub> の気泡を凝固前に溶融池から放出しやすくする、等を狙った溶接材料の改良を続けていますが、完全に解決できているわけではありません。 溶接姿勢によっても発生傾向は異なります。下向や立向上進姿勢よりも、横向や上向姿勢はN <sub>2</sub> ガスが溶融池から抜けにくい溶接姿勢であるため、BH発生リスクは高まります。 溶接条件でのプローホール低減策としては以下のようなことが考えられますが、他の欠陥発生や脆化などに影響しないよう注意して施工ください。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・横向、上向でのMAG溶接を避ける(下向やTIG等で代替する)</li> <li>・溶融池の凝固速度を遅らせる(気泡が放出される時間を稼ぐ)</li> <li>・1層あたりの積層厚を薄くする(気泡が移動する距離を減らす)</li> <li>・高N母材の過剰希釈を避ける。(溶融金属中N量を増やさない)</li> </ul>
04	・補修を含む溶接において溶金のフェライト量を測定する時はビードカットすることが前提になるでしょうか。 ・供用中の機器の健全性評価に非破壊検査を利用する必要がありますが、二相鋼の母材に割れ有無を調べる時はオーステナイト系ステンレス鋼と同様に超音波探傷検査を利用できるでしょうか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フェライト量測定する場合は、ビード表面を平滑に仕上げる必要があります。理由は測定値のばらつきを少なくするためです。12の推奨にもその旨記載しております。</li> <li>・母材は全く問題なく超音波探傷検査可能です。溶接部はオーステナイト系ステンレス鋼のような林状エコーは出にくい傾向がありますが、超音波の散乱が大きい場合は、適切な探傷条件の設定や他手法との併用を検討してください。</li> </ul>
06	入熱管理に関して。MAGの立向上進のウイーピングするため計算では入熱が高くなります。上限値の35kJ/cmを超えて問題はなさそうですが、どうにか規制値の方を変更できませんか。入熱量は板厚に応じて決めた方が良いという案もあります	35kJ/cmは日本海事協会殿のガイドラインとして規定があります。本規定の変更で、溶接協会からのアプローチは不可能に近いと思います。 推奨されたら、規制値を超える大入熱で試験を行って、機械的性能等が規定値以内での溶接条件での継ぎ手に比較して、劣化していないことを示すようなことが考えられると思います。 ご指摘の様に、フェライト量、σ相等の析出量は冷却速度によります。一律に入熱量を規定せずに、板厚に応じた規定が必要とも思いますが、細かくなりすぎるので、現状の冊子では一律の規定にしております。
07	冊子P42、43において、母材ではフェライト相へのCr、Mo濃化によりオーステナイト相のPREWが低いとありますが、Nはオーステナイト相に濃化するかと思いますがNを加味してもオーステナイトのPREWが低くなるということでしょうか。	冊子P43のスライドNo66に示されているとおりSUS329J3Lの例ではPREWは母材の方が相対的には低くなります。これはフェライト相へのCr,Moの分配の効果がより大きいためです。ただし原理原則論としてはP19のスライドNo18の左図の通り、母材組成とフェライト量によってオーステナイト相のPREWが高くなるケースもあり得ます。
08	CもNと同じと考えられるのでしょうか?(P46) SCCについて、316の限界値は確かでしょうか?(P22)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CもNと同じ侵入型元素ですので、オーステナイト相生成機能としては同じと考えてよいですがCは固溶限がNよりも小さいためCr炭化物が析出しやすいことから通常はCではなくNを活用します</li> <li>・SCCについて、316の限界値は元文献で使用された実験条件での結果です (定性的には耐食性: 329J3L&gt;316Lと認識されていますので、ここでは定量的な差異の例として提示)</li> </ul>

## 「二相ステンレス鋼の溶接—溶接施工のかんどころー」書籍発刊記念シンポジウム 当日質疑応答一覧

整理No.	質問	回答
09	レーザー溶接（例えば、ハンディのファイバーレーザー溶接、溶加材あり）のような、低入熱な溶接法を使って、2相ステンレスの相性を適切に保つにはどのような方法があるでしょうか？	レーザー溶接の際には、通常のアーチ溶接に比べて冷却速度が大きくなります。よって、フェライト相過多になることが危惧されます。この対策としては、溶接金属部では、①溶接材料を極力添加する、②窒素の含有量の多いシールドガスを使う、③多層盛り溶接することにより、後続バスの熱影響で先行溶接金属部のフェライト量を増加させる（最終層はAs Weldなのでフェライト量の改善効果は認められないと思われますが）等が挙げられます。一方のHAZ部に関しては、溶接中に組成の変化はありませんので、挙げられる対策としては、母材の窒素含有量が多いものを使用することしか挙げられません。冊子の第III部第2章「管と管板の溶接」が産駒になるかもしれません。
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>母材の製造法（冷間、熱間）で、粒径が異なることによる溶接への影響はあるのでしょうか？</li> <li>実用上、溶加材なしのなめ付け溶接をせざるを得ない場合もあるかと思いますが、注意点について</li> <li>溶接の前加工が、硬くて難しい、とのことで、前処理加工で熱間加工を行うことの悪影響、注意点あれば知りたいです。</li> <li>高効率（入熱を大きく？）するためのポイントについて</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>母材の粒径が異なることの溶接作業性への影響はないと考えております。しかし、結晶粒径が小さくなると、析出が促進される傾向にありますので、あまり小さな結晶粒径の素材を溶接する際には注意が必要かもしれません。いずれにしてもデータが少ないので、今後の研究を待ちたいと思います。</li> <li>なめつけ要接（ノンフィラー溶接）に関しては、本文44Pにも、フェライト量が適正になることが確認されれば適用可能となっております。具体的には、シールドガスに窒素を混入させることにより、適正なフェライト量を得られる場合があると思います。社内の試験等で確認されては如何でしょうか？</li> <li>熱間加工は温度を上げる方が加工は容易になりますが、有害析出物の問題がありますので、300°Cを超えるような温度は推奨できません。</li> <li>最大入熱は、本来ならば板厚に応じて決まるのを除くから、厚板の場合は大きな入熱での施工が可能かと判断します。どこまでの大入熱が可能かは、何らかのデータを作成して、発注者との協議が必要と思われます。こんかいの「かんどころ」はあくまで、一般的な注意事項ですので、溶接技術者の判断で逸脱することは可能と考えます。</li> </ul>
13	<p>Nの増加による<math>\gamma</math>相安定化とCr窒化物の析出はどちらが優先的に生じるのでしょうか</p> <p>Mnで劣化した不動態皮膜をCuで補うことはできるのでしょうか</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nの増加による<math>\gamma</math>相析出とCr窒化物の析出は競合関係にありますが先に<math>\gamma</math>相析出が生じれば、Nの過飽和度が大幅に低下し結果としてCr窒化物の析出は抑えられます</li> <li>Mnで劣化した不動態皮膜をCuで補うことはできませんが、P131のスライドNo49に示されているとおり溶接後に表面酸化膜を適切に除去すれば耐食性は向上します</li> </ul>
14	Mnは不動態皮膜に影響（劣化）することですが、耐食性にどの程度影響するのでしょうか？（特にリーン二相ステンレス鋼SUS821LIの場合）	原理的にはP131のスライドNo49に示されている程度もしくはそれ以上に耐食性が劣化する可能性が考えられますが、溶接後に表面酸化膜を適切に除去すれば劣化は回避されます