

討32 使用者側から見た制御圧延材・制御冷却材の評価

石川島播磨重工業(株) 技術研究所 深川宗光, ○河野武亮, 村山武弘

1.はじめに 最初に、われわれが制御圧延材・制御冷却材をどのように理解しているか、明らかにしておく必要がある。制御圧延材・制御冷却材とは、結晶粒を微細化して、機械的性質を改善するために、化学成分、スラブ加熱温度、圧延温度と圧下量さらには圧延終了後の冷却条件をそれぞれ最適範囲から選び、技術の総合効果を結集して作られる鋼材である。ラインパイプ素材としては、既に相当量の実績があるのに対し、構造用鋼板としては、実用に移されてからの日が浅い。

結晶粒の微細化が図られているため、じん性が優れており、従来の焼ならし材に比べ炭素当量(Ceq)や溶接割れ感受性組成(P_{CM})を低くでき、したがって溶接性が良好で、割れ感受性が低く、さらに制御冷却材の場合一段と微細化が進むため、Ceqが低くても高い強度を期待できるなどの特徴が挙げられている。すなわち、鋼種としては、引張強さが40~50 kgf/mm²級のSPV材、SLA材や衝撃値規定が設けられているSM材あるいは造船用鋼板(D級鋼、E級鋼)に相当するもので、ラインパイプのほか船舶、海洋構造物、橋梁、鉄骨、貯蔵タンクなどが主な用途と言える。また、これらのいずれに用いるとしても、特別な制限を加えることなく、溶接可能であることが、大前提になっている。ここで、溶接可能と言うのは、母材と同等の性能を有する溶接継手が、欠陥を作らずにしかも許される範囲で能率的に溶接できることを指している。これは、正にわれわれ溶接技術者が常日頃取り組むべき課題そのものであり、何も制御圧延材・制御冷却材に限った問題ではない。しかし、実用に供されているものであっても解決すべき問題を抱えていることが多い。見方によっては、どこまでも終りのない問題とも言えようが、制御圧延材・制御冷却材もその例に漏れる訳ではない。

やぶにらみのそしりは免れ得ないと思うが、問題提起の意味で、われわれが制御圧延材・制御冷却材に対して現在感じている事柄とか疑問を述べることにする。

2.溶接施工上の諸問題 実用上の問題の中には、鋼材自体の一般的な問題と溶接施工上の問題とが考えられるが、われわれにとって最も切実な溶接施工に絡まる幾つかの問題を先ず取り上げることにする。

実用化の検討を進めている過程で、われわれが直面した問題を整理して見ると表1のごとくなる。ここには、従来のものと比較するこ

Table 1. Some examples of welding constructions used controlled rolling plates

Type of constructions	Construction stages	Welding ^(*) process	Welding position	Heat input (KJ/cm)	Grade of heat input	Problems
Ship and offshore structures	Assembly and sub-assembly	FCB	Flat	200~220	Large	A
		FAB	Flat	70~90		
	Erection	EG	Vert.	130~170		
CES		Vert.	650~750			
LPG storage tank	Erection	EG	Vert.	70~90	Small	B
Ship and offshore structures	Assembly and sub-assembly	Gravity	Horiz.	20~30		
		SMAW	Vert.Down	10~15		
LPG storage tank	Erection	SMAW	Over-head	12~17		
		SAW	Horiz.	15~25		

A : Notch toughness of weld metal and heat-affected zone

B : Hydrogen-induced cracking at weld metal and heat-affected zone

(*) FCB : Flux copper backing
 FAB : Flux asbestos backing
 CES : Consumable electro slag
 EG : Electro gas
 SMAW : Shielded metal arc
 SAW : Submerged arc

とのできる船殻部材やLPG貯蔵タンクとこれからさらに開発が進められると予想される氷海向け海洋構造物の代表的な溶接継手における問題が示してある。その問題は、大入熱溶接部におけるじん性の

確保と小入熱溶接部における溶接割れ防止の2つに集約できる。なお、各種の構造物で溶接施工の合理化に関する検討は進められてはいるが、少くとも表-1に掲げた構造物の溶接施工が、ここ当分の間、大幅に変更されるようなことはないと思える。

(2-1) 大入熱溶接部の性質：制御圧延材・制御冷却材は元元結晶粒が細いため、溶接入熱を絞った溶接を行っている限り、じん性に関する問題は出て来ない。しかし、溶接入熱を絞ることは、直接能率を低下せしめるこ

とになるため、大入熱溶接を指向する訳である。用途によって要求じん性値が異なるため、一概には言えないが 70~80 KJ/cm を越える溶接を大入熱溶接と呼んでいる。因みに板厚 3.5 mm のものを FCB 溶接するとすれば 200 KJ/cm をやや上回る程度の入熱になる。大入熱溶接部の衝撃試験の一例を図-1 に示した。じん性が最も低くなるのは、溶接金属またはそれに隣接するボンドと呼んでいる溶融線部分である。しかも、溶接金属のじん性が良ければ、ボンドも良いと言う一般的な傾向が認められる。

(i)微量添加元素の影響：析出硬化を助け、強度、じん性を向上させる目的で Nb や V が微量添加されることがある。大入熱溶接の場合一般に溶込みが大きく、母材の希釈を受けることになる。Nb の添加量は 0.02% 前後と言われているが、従来の経験によると、図-2 に示すごとく溶接金属の衝撃値は著しく低下する傾向が見られている。0.02% 程度の添加では、じん性に及ぼす影響は僅少との声も聞かれるが、明確化が望まれる。さらに、未確認であるが、制御冷却材のように低 Ceq 化が進むと溶接金属の強度とじん性、ひいては継手性能に多大の影響を及ぼす懸念があり、専用の溶接材料を開発することに傾注する必要が出て来る。

(ii)大入熱溶接対策：熱影響部のじん性を確保するために、特殊な手段が講じられており、それは大入熱溶接対策と呼ばれている。その手段には、Ti または REM を微量添加し、遊離窒素を固定するとともに、結晶粒の微細化と粗大化防止を図るものと、結晶粒の粗大化防止には積極的でなく、鋼中の窒素を徹底して低減し、それに過剰な Al を添加し、遊離窒素の固定を図るものがある。これらは、制御圧延材・制御冷却材だけに適用されている訳ではないが、いずれも既に実用に移されており、有効な手段と言える。しかし、仕上げパスの熱影響部の粗粒化部には、高いじん性を期待するのはむずかしいようである。

(iii)ぜい性破壊特性：ぜい性破壊の発生特性や伝播停止特性を調べた試験データは、鋼材については比較的豊富であるが、溶接部に関するものが非常に少ない。溶接部の特性は、施工条件によっても影響されることが多いので、実用の際は十分に検討を行い、少なくとも安全性評価を行うのに必要なデータは取り揃えておくべきである。われわれも、データ蓄積中であり、はっきりしたことが言えない段階である。

(2-2)溶接割れ感受性：先にも述べたとおり、制御圧延材や制御冷却材は、焼ならし材に比べて Ceq や P_{CM} が低く、低温割れ感受性が低いと言われている。確かに、斜め Y 形溶接割れ試験の結果を見る限りルート割れ阻止温度は 25℃ 以下であることが多く、それを裏付けている。しかしながら、実験を行っている過程でそれを行うのみにできない事実遭遇した。ここに、その事例を、2~3 紹介する。

(事例1)試験材 KD36 (3.5 mm, C: 0.08, Ceq: 0.36, P_{CM}: 0.18) を使用した上向きすみ肉溶接試験において、パス間温度を 3℃ にしたもので、止端部に割れが発生した(図-3 参照)。また、割れ近傍の硬さも 338 Hv を記録しており、Ceq から予測したものより硬い(入熱は、16 KJ/cm 前後)。

(事例2)事例1と同じ鋼板を用いグラビティ溶接割れ試験を行った結果、3℃でクレータの熱影響部に割れが

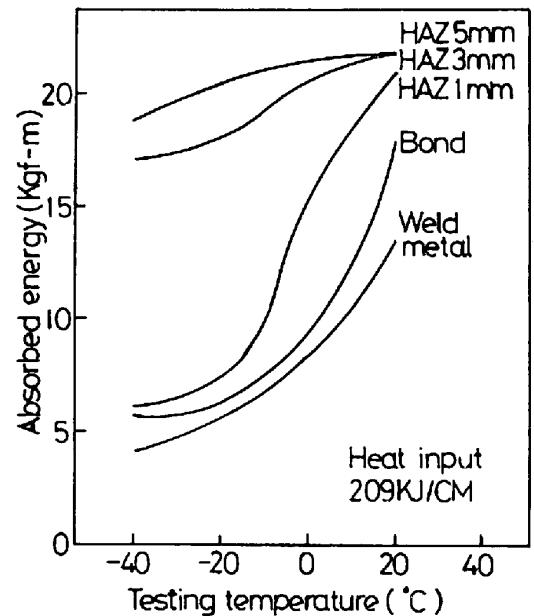


Fig.1. Charpy transition curves of weld joint used SAW process

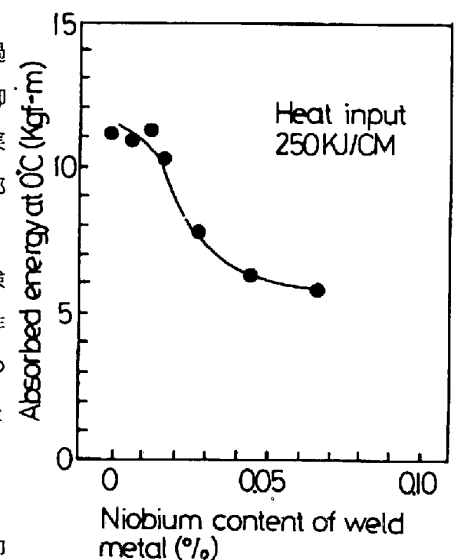


Fig.2. Effect of niobium on notch toughness of weld metal

発生した。(入熱は、 27 KJ/cm)。溶接入熱によって限界温度は変わるが、 24 KJ/cm だと 10°C 以上に成り、 32 KJ/cm だと 5°C であった。これも予想を上回り、やや高いと言える。

(事例3)試験材KE36(32 mm , C: 0.10, C_{eq} : 0.40, P_{CM} : 0.21)を使用したタンデム両面一層溶接(入熱は、 112 KJ/cm)を行ったところ、板厚中央の熱影響部に図-4に示すような割れが発生した。割れの周囲には、硬化組織が見られるほか、実際に硬さは、 412 Hv を記録している。

事例1は、溶接入熱が低い場合の例である。この場合の限界温度は、 10°C であって P_{CM} を使い P_c あるいは P_H から推定したものより、 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 高い温度となっている。これは、従来鋼に当てはまる推定式が制御圧延材に適用できないことを示唆しており、 C_{eq} や P_{CM} が低くても、予熱は、従来鋼と同等に取り扱う必要がある。

事例2でも、割れない安全施工を行うとすれば、入熱を上げるか予熱または後熱が必要と言うことになり、やはり従来鋼と同じ施工を行うことが必要になって来る。

事例3は、やや事情が異なる。この例は、青天のへきれきとでも言うべきものであって、思いもよらないところに来た割れである。先にも述べたように、硬化組織があり、しかも図-4に見られるように水素割れの形態を示しているが、これは結果を見ているのであって、原因は今のところ分っていない。

原因として予想されることは、①制御圧延により伸長したMnSに水素が集積した。②連鑄の中央偏析帯で①と同じことが起きた。③それらとは全く別の現象である等々のことが考えられる。原因がどれであるか、また制御圧延か連鑄かのいずれにしても、鋼板製造上の何かが原因になっていることだけは確かであり、究明の上、対策が講じられてしかるべきである。

これから少くとも言えることは、制御冷却材は確認していないためさておくとして、制御圧延材は C_{eq} なり P_{CM} でその割れ感受性を判断しない方が無難と言える。また、通常の割れ試験方法とは別に、安全施工を保証し得る手軽な割れ試験方法の開発が必要であり、目下それに取り組んでいるところである。

(2-3)その他の問題点：細い問題になるが、構造物によっては、溶接後熱処理を課せられる個所が出て来る。その場合、制御圧延材や制御冷却材の引張強さに余裕が少く、取り分け制御冷却材は C_{eq} が低くなるため、強度およびじん性の低下が懸念される。

3.一般的な問題 われわれが、現在一番戸惑っているのは、制御圧延材・制御冷却材が、複雑多岐にわたることである。これは、化学成分、圧延条件とその後の冷却条件のさじ加減ひとつで性質の違う鋼材を作り出せるためと思うが、使う側にとって望ましいことではない。使う側としては、用途別、鋼種別に決定版が欲しい、言葉を変えると、JIS化を急いで欲しいと言うことになる。鋼材の特性を生かすためには、鋼材別にある程度溶材、溶接方法、施工条件を選んでいるのが現状である。例えば、造船用鋼材のA級鋼を対象に、制御冷却材が造船研究協会の共同研究として取り上げられている。A級鋼は、船殻に最も多量に使われる鋼材であり、このような形で、決定版が作られるとすれば、われわれにとって好ましいことである。

次に、制御圧延材ではセパレーションが出やすいと言われている。これを抑えるための工夫もいろいろと行われ、全体としてバランスのとれた制御圧延材が手に入るようになってきている。しかし、先ほど紹介したように、板厚中

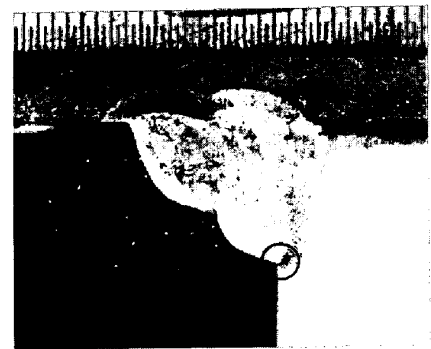


Fig3. Toe crack at fillet welded joint

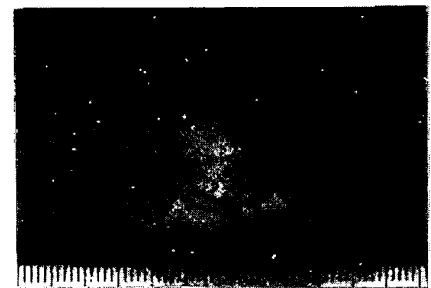


Fig4. Cracks at heat-affected zone in plate center

央で板面に平行な割れの例もある。これは、鋼材だけではなく、入熱だとか水素量だとか溶接施工が関係するものかも知れないが、このような所に力が働くと問題である。設計上十分配慮したとしても、板厚方向に全く力が働かないようにすることは、不可能に近い。制御圧延材の板厚方向特性については可成りの試験が行われているが、それで十分であろうかとの疑念が残る。今後あまり検討が行われていない疲労を含めて、板厚方向特性のデータ補強が望まれるところである。

4.まとめ 大雑把ではあるが、制御圧延材・制御冷却材に対する現時点での評価と問題点をまとめると次のとおりである。

(i)今後、さらに検討を必要とするが、溶接部を含めじん性についてはほぼ満足できるものと思える。しかし、可能な限り、大入熱溶接化が望まれるところであり、そのためには溶材の開発が必要となろう。

(ii) C_{eq} や P_{cm} からの推定に比べ、溶接割れ感受性で優れているとは言えない。改善が望まれるところであるが、大入熱溶接化と相いれない面もあり、慎重な検討が必要と思われる。

(iii)板厚方向特性について、必らずしも十分に解明されているとは思えない。今後とも、検討を積み重ねて行く必要があると思われる。

(iv)溶接施工の安定化を図るには、溶材の開発もさることながら、用途別、鋼種別の整理が必要であり、早急に J I S 化が望まれるゆえんである。