

特集：圧力容器の溶接

石油精製プラント向け圧力容器用 Cr-Mo 鋼の変遷・動向と溶接技術

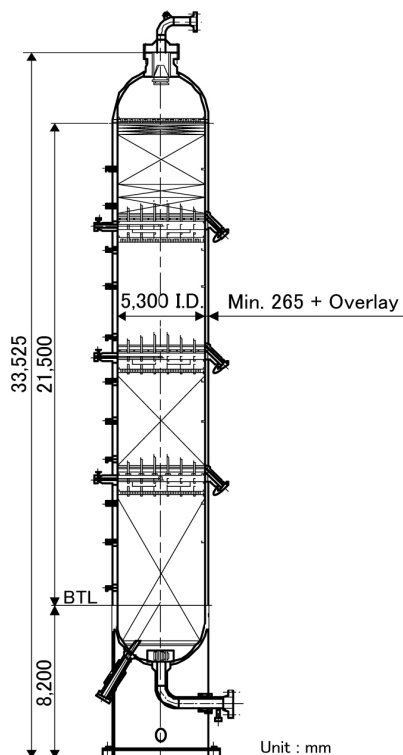
株式会社 神戸製鋼所
機器事業部門 機器本部 技術部
中西 智明

1. はじめに

石油精製用の大型反応器（以下、リアクター）は、その高温・高圧の運転条件から耐熱鋼である Cr-Mo 鋼を用いて溶接接合により製作される圧力容器である。ここではリアクターに用いられる材料の変遷と技術開発動向、リアクター製造技術の概要を紹介する。

2. リアクターの概要¹⁾

ここでいうリアクターとは、高温・高圧下で原油の重質分に水素を添加して分解や脱硫処理を行う装置であり、重質油から、より付加価値の高いガソリンや軽油などの軽質油を生産するのに用いられる。これらのリアクターは、およそ 400~450°C、15~20 MPa という高温・高圧条件で使用され、リアクターの材料にはこの条件下で水素侵食に耐える材料として 2.25Cr-1Mo 鋼などの低合金鋼が用いられる。また、リアクターの内面には、腐食防止のため、Type 347 などのステンレス鋼による肉盛溶接（オーバーレイ）が施工される。リアクターの肉厚は最大で 300 mm を超え、重量 2000 トン近くのものまでが製作されている。実際のリアクターの概形と仕様の一例を図 1 に示す。



設計温度	454°C
設計圧力	18.8 MPaG
本体材質	2.25Cr-1Mo-0.25V
ライニング材	Type 347 Weld Overlay
重量	1,280 ton

図 1 リアクターの概形と仕様の一例

3. 圧力容器材料の選定

一般に圧力容器材料を選定する場合、高温の水素環境での使用限界を表したネルソン線図と呼ばれる指標が用いられる。これは米国の石油協会 API(American Petroleum Institute)が各材料の使用実績に基づいて整理したもので、API RP 941²⁾としてまとめられている。

図 2 に示すように、ネルソン線図は横軸が水素分圧、縦軸が温度を表しており、約 250°C までの条件では炭素鋼が使用可能であるが、温度や水素分圧が高くなると Cr-Mo 鋼を使用する必要があり、使用環境が厳しくなるにつれて、1%Cr から 1.25%、2.25%、3%、6%と、より Cr 含有量の高い材料が必要となる。リアクターの使用環境である 400~450°C、15~20 MPa の範囲では、Cr 含有量 2.25% 以上の材料が必要とされる。

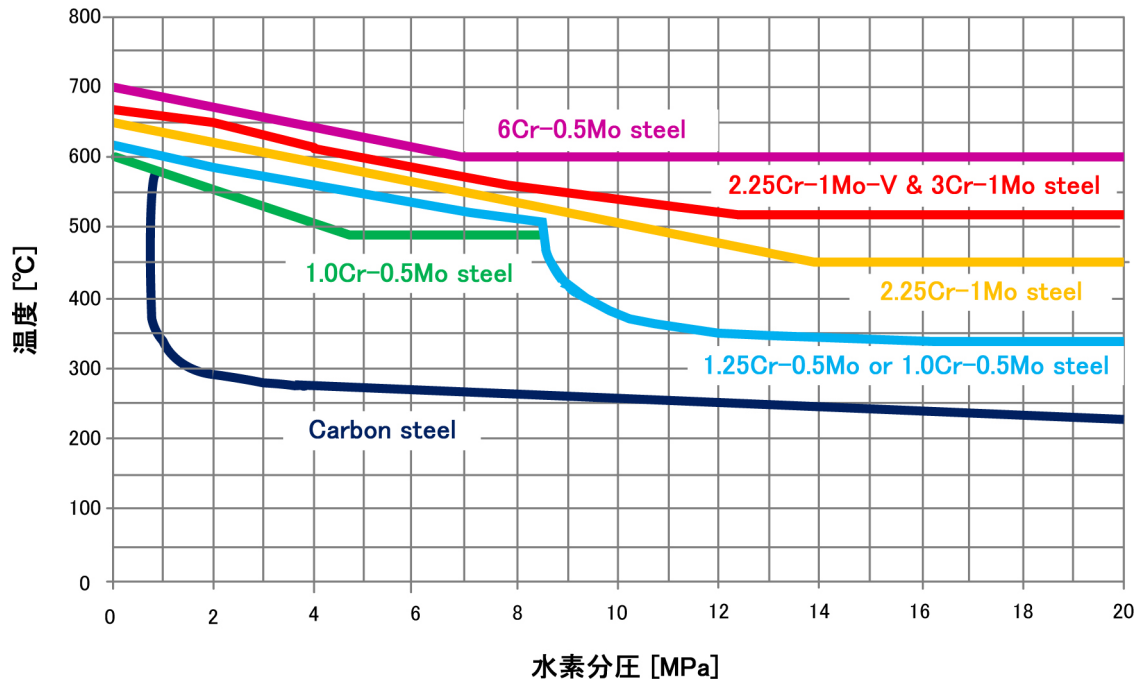


図 2 ネルソン線図²⁾

4. リアクター材料の変遷

4.1 2.25Cr-1Mo 鋼

米国では 1950 年代からリアクター材料として 2.25Cr-1Mo 鋼が使用されはじめた。当初は低強度の焼きなまし材が使用されたが、リアクターの大型化に伴い、1966 年にはより高強度の焼き入れ・焼き戻し処理された 2.25Cr-1Mo 鋼が初めて使用された。その後、この 2.25Cr-1Mo 鋼は 1990 年代まで広くリアクター材料として使用された。

4.2 高強度 2.25Cr-1Mo 鋼と 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼

1980 年代に入るとリアクターの大型化とより高温での原油処理のため、材料の高強度化と運転温度の高温化のニーズが高まった。これを受けて米国で API と MPC (Material Properties Council) が中心となって発足した新材料開発プロジェクトにより、2.25Cr-1Mo 鋼の熱処理条件の改良による高強度 (Enhanced) 2.25Cr-1Mo 鋼とバナジウムを添加した 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼の二つの新しい鋼種が開発、規格化された³⁾。

1990 年から 2000 年にかけて欧州、アジアの数箇所の製油所で高強度 2.25Cr-1Mo 鋼を使用したり

アクターが設置されたが、その後、より高性能な 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼や 3Cr-1Mo-0.25V 鋼が採用されたことで多くは普及しなかった。

一方の 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼はバナジウムにより炭素が安定化されることで、耐水素侵食性に優れ、かつ、バナジウム炭化物の析出強化により高強度化を実現した材料である。さらにバナジウムの添加に加えて、ニオブ、チタン、ボロン、カルシウムなどの添加を行うことで強度、じん性、焼き入れ性および溶接性の改善を図っている。この材料の開発に際しては、日本の鉄鋼各社が API/MPC の新材料開発プロジェクトに試験材料を提供し、大きな貢献を果たした。また、2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼はより Cr 含有量の高い 3Cr-1Mo 鋼と同程度の耐水素侵食性を有しており、図 2 のネルソン線図でも水素侵食の限界温度が 510°C の材料として追加されている。バナジウム添加のもう一つの利点は水素ぜい化に対しても従来の 2.25Cr-1Mo 鋼より耐性が高いことであり、リアクターの内面に耐食材として肉盛溶接される Type 347 などのステンレスオーバーレイの耐剥離割れ性も大幅に向上した⁴⁾。2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼製のリアクターは 1998 年に初めて北米の製油所に納入され(図 3)、同年に運転が開始された⁵⁾。その後 600 基以上のリアクターが同鋼種で製作され、現在に至っている。図 4 に示すように、近年では石油精製用としては世界最大となる 1,900 トンの 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼製リアクターが製作されている。



図 3 世界初の 2.25Cr-1Mo-V 鋼製リアクター（米国製油所向け）



図 4 1,900 ton リアクターの出荷の様子

4.3 3Cr-1Mo-0.25V-Ti-B 鋼と 3Cr-1Mo-0.25V-Nb-Ca 鋼

上記の API/MPC が中心となった高強度 2.25Cr-1Mo 鋼、2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼の開発と並行して、日本では 3Cr-1Mo-0.25V 鋼の開発が進められた。はじめに、通産省工業技術院のサンシャイン計画において石炭液化装置用の材料として、3Cr-1Mo-0.25V-Ti-B 鋼が開発され、その後 3Cr-1Mo-0.25V-Nb-Ca 鋼が開発された^{3),4)}。3Cr-1Mo-0.25V 鋼は 1990 年に初めて北米の製油所で採用され、その後、国内の製油所でも採用された。本鋼種は耐水素侵食性には優れているが、425°C 以上の温度域では 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼に比べてクリープ強度が劣るため、2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼製リアクターの製造技術が確立、認知されて以降は経済性の観点から適用されることはほとんどなくなった。

4.4 新たなリアクター材料の開発

近年、超重質油の効率的な改質を目的としたより高温（500°C 程度）で運転されるプロセスが実用化されているが、上述の鋼種では高温強度が低いため経済的な大型リアクターの製作が難しい。そこで、このような高温域でもリアクターに適用可能な鋼種として 9Cr-1Mo-0.25V-Nb 鋼の適用が検討されている。9Cr-1Mo-0.25V-Nb 鋼は 1950 年代にオークリッジ国立研究所（ORNL）で開発された材料で、1980 年代から火力発電所用のボイラなどの材料としてはすでに実用化されているが、石油精製の大型リアクターとしての使用実績はない。API では 2008 年に石油精製用リアクターへの 9Cr-1Mo-0.25V-Nb 鋼適用に関するテクニカルレポートが発行され、国内外の各社でもリアクターへの適用に関する研究が行われている⁶⁾⁻¹⁰⁾。

上記の各材料の化学成分規定、機械的性質などを表 1 に示す。

材種		Standard 2 1/4Cr-1Mo	Standard 3Cr-1Mo	2 1/4Cr-1Mo- 1/4V	3Cr-1Mo-1/4V- Ti-B	3Cr-1Mo-1/4V- Nb-Ca	9Cr-1Mo-1/4V- Nb
ASME 材料規格	板材 鍛造材	SA-387-22-2 SA-336-F22-3	SA-387-21-2 SA-336-F21-3	SA-542-D-4a SA-336-F22V	SA-542-C-4 SA-336-F3V	SA-542-E-4 SA-336-F3VCb	SA-387-91 SA-336-F91
化学成分 (%)	C	0.05-0.15	0.05-0.15	0.11-0.15	0.10-0.15	0.10-0.15	0.08-0.12
	Mn	0.30-0.60	0.30-0.60	0.30-0.60	0.30-0.60	0.30-0.60	0.30-0.60
	P max	0.025	0.025	0.015	0.020	0.020	0.025
	S max	0.025	0.025	0.010	0.020	0.010	0.025
	Si	0.50 max	0.50 max	0.10 max	0.10 max	0.10 max	0.20-0.50
	Ni			0.25 max		0.25 max	0.40 max
	Cr	2.00-2.50	2.7-3.3	2.00-2.50	2.7-3.3	2.7-3.3	8.0-9.5
	Mo	0.90-1.10	0.80-1.06	0.90-1.10	0.90-1.10	0.90-1.10	0.85-1.05
	V			0.25-0.35	0.20-0.30	0.20-0.30	0.18-0.25
	Nb			0.07 max		0.015-0.070	0.06-0.10
	N						0.03-0.07
	Al						0.02 max
	B			0.0020 max	0.001-0.003		
	Ta						
	Ti			0.030 max	0.015-0.035	0.015 max	0.01 max
Cu			0.20 max		0.25 max		
Ca			0.015 max		0.0005-0.0150		
Zr						0.01 max	
引張強度	MPa	515-690	515-690	585-760	585-760	585-760	585-760
降伏強度	MPa	310	310	415	415	415	415

表 1 リアクター用材料の化学成分と機械的性質(ASME Section II, Part A)

4.5 2.25Cr-1Mo 鋼と 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼の特性

2.25Cr-1Mo 鋼と 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼の特性を表 2 に比較整理した。ASME 規格での最高設計温度は同じ 482°C であるが、2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼は水素侵食の限界温度が高く、耐水素ぜい化性やオーバーレイの耐剥離割れ性などでも優れた性質を示す。また、強度の点では、例えば、454°C での許容応力はそれぞれ 150 MPa と 200 MPa で 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼が 30%以上高い。表 2 の欄外に示した試算モデルに示す条件でリアクターを設計した場合、2.25Cr-1Mo 鋼の肉厚が 309 mm となるのに対し、

2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼の肉厚は 228 mm となる。容器重量に換算すると、2.25Cr-1Mo 鋼の 1,000 トンに対し、2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼は 742 トンとなり重量を 25%も軽減することが可能である。

	2.25Cr-1Mo従来鋼	2.25Cr-1Mo-V改良鋼
最高設計温度	482°C (900°F)	482°C (900°F)
水素侵食	454°C (850°F)	510°C (950°F)
耐水素ぜい化性	---	高耐性
オーバーレイ耐剥離性	20 MPa at 454°C	30 MPa at 600°C
許容応力 (454°C)	150 MPa	200 MPa
リアクタ肉厚	309 mm	228 mm
リアクタ重量	1,000トン(100%)	742トン(75%)

【リアクタ試算モデル】 設計規格: ASME Sec. VIII, Div.2
 設計圧力: 19.6 MPa
 内径: 4.4 m
 シェル長: 22.0 m

表 2 2.25Cr-1Mo 鋼と 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼の比較

4.6 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼の課題

前述のように、従来の 2.25Cr-1Mo 鋼に比べて 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼は強度や耐水素侵食性などの優れた特性を有する一方で、課題とされる点もある。

(1) 低温割れ

2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼はバナジウムの添加により強度を高めていることから、2.25Cr-1Mo 鋼に比べて溶接部のじん性が低く低温割れ感受性が高い。そのため溶接施工管理には特別の配慮が必要となる。溶接後熱処理 (PWHT) 前の溶接部は非常に脆く、溶接欠陥を起点に低温割れを生じやすいことから、低水素系溶接材料の使用と施工管理、溶接後の適切な熱処理が必要である。特にノズルの取り付け溶接などの拘束力の高い溶接継手には 600°C 以上の中間 PWHT によるじん性の回復が必須とされる^{11),12)}。

(2) 再熱割れ

2008 年初めに、主に欧州のリアクター製造メーカーで製作中の 2.25Cr-1Mo-0.25V 製リアクターにおいて、シェルの溶接に用いられるサブマージアーク (SAW) 溶接部で再熱割れが発見され、最終的には 30 基以上の同種の機器で再熱割れが発生して大きな問題となった。再熱割れが発生した溶接材料は欧州の溶接材料メーカー 2 社の製品であり、日本製の溶接材料を使用するリアクター製造メーカーではこの問題は発生していない。この問題に対しては欧州の素材メーカーが中心となって原因調査と対策検討が実施された¹³⁾。Gleeble[®]テストと呼ばれる高温引張試験の結果、問題発生時期以前に使用された溶接材料の 620~650°C の温度域での絞り値が 20%以上であったのに対して、問題発生時期に使用された溶接材料の絞り値は 10~15%程度であり溶接後の熱処理温度域でのぜい化が著しいことが報告されている。この Gleeble[®]テストは特殊な試験装置を必要とし汎用性に欠けることから、2010 年に試験方法の標準化プロジェクトが進められた¹⁴⁾。その結果、汎用の高温引張試験装置で実施可能

な新たな評価方法が確立され、API RP 934-A の付録-B として正式採用されている。

再熱割れの大きさは3~10 mm 程度と非常に小さく、溶接線に垂直方向に生じた横割れであるため、従来の超音波探傷試験では検出が難しい。そこで、新たな探傷方法の確立が必要となり、TOFD (Time of Flight Diffraction)法と呼ばれる超音波探傷法と従来型で高感度の超音波探傷法を組み合わせた検査手法が提案された¹⁵⁾。その後、この検査手法は2010年2月よりAPI RP 934-A の付録-A として正式採用されている。このため、近年製作されるリアクターには従来の非破壊検査に加えて再熱割れの確認のために新たな検査が要求されるようになり、製作中の検査費用の増加につながっている。

5. リアクターの製作

5.1 リアクターの構造と構成部品

リアクターは縦型の円筒容器であり、円筒胴（シェル）と上下端の鏡板、配管が接続されるノズルおよび設置時の支持部材であるスカートなどの部品から構成される（図5）。シェルの製造方法としては板材を成形し溶接により円筒胴とする場合と鍛造により一体で製造する場合がある。鏡板は比較的小さい場合には厚板をプレスして一体で成形されるが、大型のリアクターの場合には2分割かそれ以上の成形部品を溶接で接合して製造されることが多い。

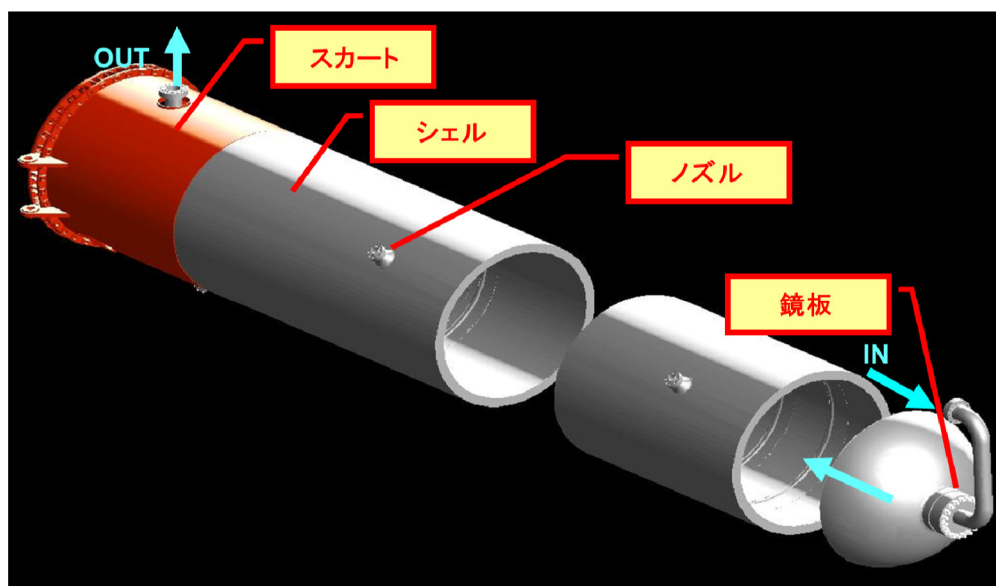


図5 リアクターの主要部品構成

5.2 リアクターの製作手順¹⁶⁾

次にリアクターの製作手順の概要を図6に示す。シェルは単体または2本接合された状態で内面のオーバーレイが施工され、ノズルの溶接実施後、周溶接により接合され組み立てられる。鏡板は半球形状で内面のオーバーレイを行い、ノズルを溶接した後、シェルとの周溶接が行われる。これらの溶接部は中間PWHTや脱水素直後熱（DHT）の後、非破壊検査が実施される。

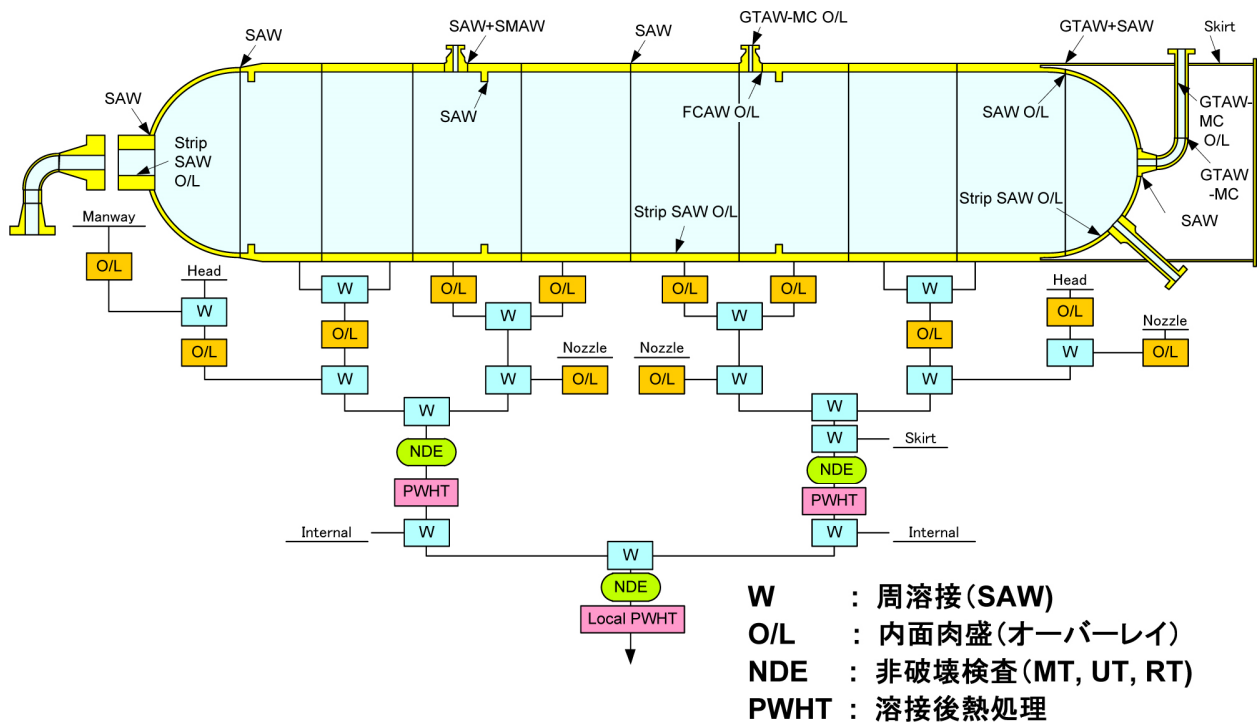


図 6 リアクターの製作手順

5.3 シェルの周溶接

(1) 開先形状と溶接条件

厚肉シェルの周溶接は狭開先の2電極SAWで行われ、最初の1、2層以外は2パス/1層の連続溶接で最終層まで施工される。開先形状と溶接条件の一例を表3に示す。一方、この外側からの溶接中に内側からルート部の裏はつり、温間磁粉探傷試験、SAWが同時並行で行われる。図7にシェル周溶接施工の様子を示す。

表3 シェル周溶接の開先形状と溶接条件の例

	溶接法	2電極SAW
	ワイヤ径 (mm)	4.0
	極性	AC
	電流 (A)	L: 500-600 T: 500-600
	電圧 (V)	L: 29-31 T: 30-32
	溶接速度 (cm/min)	60-70
	予熱温度 (°C)	Min. 200
	パス間温度 (°C)	Max. 300



図7 シェル周溶接施工の様子

(2) 予熱

Cr-Mo 鋼の溶接部は硬化組織となるため、低温割れ感受性が高く、確実な予熱が必要である。予熱はシェルを回転しながら複数のバーナで行い、開先部が規定の温度以上になるように加熱する。温度の管理は表面温度計で行い、溶接開始から脱水素直後熱（DHT）または中間 PWHT まで規定の予熱温度以上、パス間温度以下に維持する。

(3) 直後熱

Cr-Mo 鋼の厚肉溶接部の低温割れを防止するためには、その原因である拡散性水素濃度を低下させる必要がある。そのため従来は熱処理炉内で 600°C 以上の中間 PWHT が行われていたが、現在では低水素系溶接材料と組み合わせることでバーナ加熱による 300~400°C での脱水素直後熱（DHT）によっても低温割れの防止が可能であることが知られており¹⁷⁾、簡便な熱処理として一般に行われている。ただし、前述の通り、低温割れ感受性の高い 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼の場合、ノズルの取り付け溶接などの拘束力の高い溶接継手に対しては、600°C 以上の中間 PWHT が必要である。

5.4 内面肉盛溶接

リアクター内面には腐食防止のためステンレス鋼の肉盛溶接（オーバーレイ）が施されるが、硫化鉄と水分によって生じるポリチオン酸による応力腐食割れを防止するために Type 347 が用いられることが多い。シェルや鏡板については帯状電極溶接が用いられ、希釈後の組成が Type 347 となる溶接材料を用いた一層盛溶接か、あるいは、下盛 Type 309L+上盛 Type 347 の二層盛溶接が行われる。溶接後のフェライト量が高い場合、最終 PWHT によりシグマ相ぜい化が生じオーバーレイ層の延性が低下する。そのため、フェライト量が 8~10%以下、また、高温割れ防止の観点から 3%以上になるよう成分調整した溶接材料が用いられる。図8にシェル内面オーバーレイ施工の様子を示す。

ノズルの内面やフランジのガスケットシート面へのオーバーレイ溶接は自動ティグ溶接にて行われる。自動ティグ溶接は、マグ溶接やミグ溶接に比べて単位時間当たりの溶着量は少ないが、完全に自動に近いので、一人のオペレータで複数のノズルの同時施工が可能である。また、水平姿勢でも低周

波パルスアークにより良好な溶接が可能で、外観・品質が安定しており、溶接後の手入れが要らないなど、利点が多い。



図 8 内面オーバーレイ施工の様子

5.5 溶接後熱処理 (PWHT)

Cr-Mo 鋼製のリアクターは、溶接後の残留応力除去のため PWHT が必須であり、最終溶接後に熱処理炉内にて PWHT が行われる。なお、大型のリアクターで熱処理炉に入りきらない場合には、二分割状態でそれぞれ PWHT を行った後に接合し、最終継手を局部 PWHT するという方法がとられる。

5.6 非破壊検査

Cr-Mo 鋼溶接部とステンレス鋼オーバーレイ部に対しては、以下の非破壊試験が実施され、その健全性が担保される。検査は、各種容器規格や法規の要求に従い、溶接後、PWHT 後、耐圧試験後に行われる。

(1) Cr-Mo 鋼溶接部

- ・放射線透過試験 (RT)
- ・飛行時間差超音波探傷法 (TOFD-UT)
- ・超音波探傷試験 (UT)
- ・磁粉探傷試験 (MT)
- ・浸透探傷試験 (PT)

(2) オーバーレイ部

- ・超音波探傷試験 (UT)
- ・浸透探傷試験 (PT)

6. まとめ

石油精製用リアクターに用いられる Cr-Mo 鋼の開発経緯と各材料の特性、また、リアクターの構造や製造技術の概要を紹介した。材料としては、現在は主として 2.25Cr-1Mo-0.25V 鋼が使用されて

いる一方で、将来の高温プロセス用の材料として 9Cr-1Mo-0.25V-Nb 鋼の適用が検討されており、実用化と市場の拡大が期待される。

これまでに確立された製造技術により、リアクターは厳しい運転条件にも耐える高品質を保っているが、さらなる自動化や IT（情報技術）の活用などによる生産性の向上が今後の課題である。

参考文献

- 1) 山田雅人, 八木裕, 中西智明, 原田福三: 重油水素化分解・脱硫リアクターの最近の動向, R&D 神戸製鋼技報 Vol.63 No.2 (2013), 40-43.
- 2) API recommended practice 941, Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants, 7th edition, Aug. 2008.
- 3) 稲垣道夫, 田原隆康: 高温圧力容器用高強度 Cr-Mo 鋼の技術基準と諸特性 (第一報), 圧力技術 JHPI Vol.31 No.5 (1993), 29-35.
- 4) Masato Yamada, Tadamichi Sakai, Shiro Nose: Development of Cr-Mo-V-Cb-Ca steel for high pressure and high temperature hydrogenation reactors, Proceeding of ASME 1995 Pressure Vessels & Piping Division Vol. 315 (1995)
- 5) Shiro Nose, Masato Yamada, Toshiaki Fukada, Tadamichi Sakai, E.H. Niccolls, A.J. Bagdasarian, A.G. Imgram: Fabrication of a hydroprocessing reactor applying 2.25Cr-1Mo-V-Cb-Ca steel, Proceeding of ASME 1998 Pressure Vessels & Piping Division PVP-Vol. 380 Book No.H01161-1998 (1998), 301-314
- 6) API Technical report 938-B, First edition: Use of 9Cr-1Mo-V(Grade 91) steel in the oil refining industry (2008)
- 7) Sylvain Pillot, Zhao Zhao, Stephanie Corre, Cedric Chauvy, Lionel Coudreuse: Hydrogen and high temperature resistant V-mod. 9Cr-1Mo heavy plates devoted to new generation high performance petrochemical reactors, Proceeding of ASME 2011 Pressure Vessels & Piping conference, PVP2011-57092 (2011)
- 8) Tomoaki Nakanishi, Tadashi Ikeuchi, Susumu Terada, Masato Yamada, Takeo Miyamura, Shigenobu Nanba, Tomoya Shinozaki, Hiroki Nakashima: Development of pressure vessels made of 9Cr-1Mo-V steels for high temperature process in refining industries, Proceeding of ASME 2014 Pressure Vessels & Piping conference, PVP2014-28364 (2014)
- 9) Takeo Miyamura, Shigenobu Nanba, Tomoaki Nakanishi, Masato Yamada, Fracture toughness after long-term aging in 9Cr-1Mo-V steel for pressure vessels, Proceeding of ASME 2014 Pressure Vessels & Piping conference, PVP2014-28578 (2014)
- 10) 安部正光, 篠田薫, 楠和憲, 合田明人, 長尾圭一郎, 竹中俊哉: 9Cr-1Mo-V 鋼製プロセス機器の製造技術確立 Hitz 技報 Vol.75 No.2 (2014)
- 11) API recommended practice 934-A, Second edition: Material and fabrication of 2 1/4Cr-1Mo, 2 1/4Cr-1Mo-1/4V, 3Cr-1Mo and 3Cr-1Mo-1/4V steel heavy wall pressure vessels for high temperature hydrogen service (2010)
- 12) API technical report 934-B, First edition: Fabrication consideration for vanadium-modified Cr-Mo steel heavy wall pressure vessels (2011)
- 13) Cedric Chauvy, Sylvain Pillot: Prevention of weld metal reheat cracking during Cr-Mo-V heavy reactors fabrication, Proceeding of ASME 2009 Pressure Vessels & Piping conference PVP2009-78144 (2009)

- 14) Sylvain Pillot, Sédric Chauvy: Standard procedure to test 2 1/4Cr-1Mo-V SAW filler material reheat cracking susceptibility, Proceeding of ASME 2012 Pressure Vessels & Piping conference PVP2012-78030 (2012)
- 15) Les Antalffy, Cathleen Shargay, Dennis Smythe, Karly Moore: Reheat cracking in 2 1/4Cr-1Mo-1/4V reactor welds and the development of ultrasonic techniques for their discovery, Proceedings of 12th International Conference of Pressure Vessel Technology (2009), 52-64
- 16) 深田 利明, 重油脱硫・分解リアクターの溶接施工, 溶接技術, Vol. 47 (1999), 116-122.
- 17) Tadamichi Sakai, Masato Yamada, Koichi Akasaka, Toshiaki Fukada, Shiro Nose: Application of Low Temperature PWHT to Advanced Cr-Mo Steel, 2nd MPC International Conference, Vienna (1994).

<略歴>

中西 智明 (なかにし ともあき)

1993年 東京工業大学 工学部 生産機械工学科 卒業

1995年 東京工業大学 大学院 生産機械工学専攻 修了

1995年 株式会社神戸製鋼所 入社 海外エンジニアリング本部 技術部 配属

2007年 同社 機器本部 技術部

現在に至る