

超々臨界圧ボイラー用次世代材質鍛鋼品の製造条件確立<sup>†</sup>木原 雅充<sup>\*</sup>, 上谷 昌史<sup>\*\*</sup>

## 1. 緒言

当社が、現在、製造している発電ボイラー用鍛鋼部品のなかで、高温高圧下で使用されるものとしては、主蒸気管用Yピース、ラテラル、Tピース、および、特殊フランジ等の継手類がある。これらの部品の従来の設計温度範囲は、概ね、500℃～600℃であり、比較的低温側には2.25%Cr-1%Mo系の材料、高温側には9%Cr-1%Mo系の材料が使用されている。

しかしながら、欧州では、上記の2種類の材料に対して、更に高温高圧の超々臨界圧ボイラーに適用が可能な改良材が開発されており、ボイラー用高圧パイプ材用規格であるEN10216-2<sup>1)</sup>に規格化されている。したがって、これらの鋼種が、いずれ、鍛鋼品規格としてEN規格化されることは間違いないと考えられる。そこで、来るべき鍛鋼品の規格化を視野に入れて、超々臨界圧ボイラー用次世代材質鍛鋼品の製造条件の確立に取り組んだので、以下に報告する。

## 2. 対象材の選定と調達

## 2.1 対象鋼種

EN10216-2には、2.25%Cr-1%Mo系の改良材として「7Cr MoVTiB10-10」が、9%Cr-1%Mo系の改良材として「X10Cr WMoVNb9-2」が登録されており、この2鋼種を対象材として選択した。

なお、以降の記述の煩雑を避けるため本稿の本文に限り、前者を「7Cr材」、後者を「X10材」と仮称する。

## 2.2 鋼材の調達

鋼材は、7Cr材は国産材を、X10材については、国産と欧州製を比較するため、ドイツ製と国産材の2鋼種を用いた。調達した素材の化学成分の規定値と実績値を第1表に示す。素材は、いずれも、インゴット造塊後、φ500に鍛伸したものである。

第1表 調達材料の化学成分と形状

	7CrMoVTiB10-10			X10CrWMoVNb9-2			
	規格値		国産材	規格値		欧州材	国産材
	Min.	Max.		Min.	Max.		
C	0.05	0.10	0.10	0.07	0.13	0.11	0.11
Si	0.15	0.45	0.34	-	0.50	0.34	0.26
Mn	0.30	0.70	0.49	0.30	0.60	0.50	0.50
P	-	0.020	0.015	-	0.020	0.019	0.009
S	-	0.010	0.004	-	0.010	0.001	0.001
Cr	2.20	2.60	2.43	8.50	9.50	8.90	8.90
Mo	0.90	1.10	1.02	0.30	0.60	0.51	0.38
Ni	-	-	-	-	0.40	0.32	0.17
Al	-	0.020	0.010	-	0.040	0.005	0.010
Ti	0.05	0.10	0.10	-	-	-	-
Nb	-	-	-	0.04	0.09	0.080	0.060
V	0.20	0.30	0.28	0.15	0.25	0.19	0.19
N	-	0.010	0.0084	0.030	0.070	0.055	0.051
B	0.0015	0.0070	0.0046	0.0010	0.0060	0.0030	0.0030
W	-	-	-	1.50	2.00	1.685	1.850

-----  
<sup>†</sup>原稿受付 2010年3月

<sup>\*</sup>取締役 品質保証部長

<sup>\*\*</sup>品質保証部 生産技術課

### 3. 鍛鋼品試作の目的とプロセス

#### 3.1 目的

鍛鋼品の製造条件確立のため、下記の観点から検討を行った。

- (1) 鍛造難易度の評価と鍛造方法の確立
- (2) 熱処理条件の確立
- (3) 切削性の評価と切削方法の確立

#### 3.2 試作プロセス

7Cr 国産材, X10 国産材と輸入材のそれぞれの鋼材から、 $\phi 500 \times 935L$  (1,450kg) の素材を各 2 個切断して試作に供した。

実製品を想定してブロック形状に鍛造し、鍛造の難易度を評価したのち、熱処理を施工し、各 2 個のうち、1 個は性状調査用に、1 個は切削試験に供した。

### 4. 試作工程

#### 4.1 鍛造

鍛造は、加熱鋼片を一旦据え込んだのち、再加熱後、鍛伸する方法で施工した。第 2 表に鍛造設備と鍛造条件を、第 3 表に鍛練比等の条件を示しており、合計鍛練比が、通常、鍛造品として必要最小限とされる 3S 相当になるように据え込み量を設定した。第 1 図に鍛造終了時の外観を示す。

第 2 表 鍛造条件等

項目	内容
鍛造実施場所	㈱山下鍛造所
使用設備	同社保有 川崎油工㈱製 1500T油圧プレス
鍛造方法	自由鍛造
加熱温度	1,200°C~1250°C (実績値 1230°C)
鍛造終了温度	850°C以上 (実績値 870°C)
鍛造後の処置	7CrMoVTiB10-10 : 放冷 X10CrWMoVNB9-2 : 炉冷

#### 4.2 熱処理

7Cr 材には水焼き入れ焼き戻し処理を、X10 材には油焼き入れ焼き戻し処理を施工した。熱処理条件は下記である。

- (1) 7Cr 材 : 1,040°C×3hr→水冷→730°C×4hr→空冷
- (2) X10 材 : 1,040°C×3hr→油冷→730°C×4hr→空冷

#### 4.3 切削試験

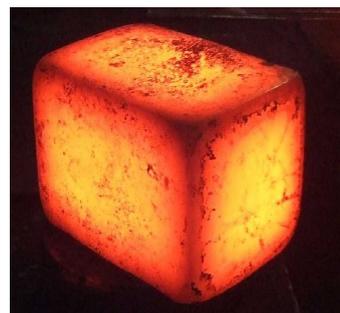
熱処理後、機械加工試験を行い、被削性などを調査した。加工形状は、過去に当社で製作実績のある「主蒸気リード管用 Y ピース」を選択した。当該品の加工には、フライス加工、旋盤加工、ミーリング加工、穴明け加工等の機械加工要素がすべて含まれるためである。

### 5. 評価結果

#### 5.1 鍛造難易度の評価

##### 5.1.1 7Cr 材

500 角×700L のブロック形状の鍛造までに要したヒート回数は 4 回であり、量産鍛造実績のある 2.25%Cr-1%Mo 材と同等であった。鍛造割れなどを生ずることもなく、鍛造性は特に問題ない結果が得られた。



第 1 図 鍛造終了品の外観

第 3 表 鍛造プロセスと鍛造数

対象材	鋼片	鍛造成形						鍛造数	
		据え込み		鍛伸		合計鍛練比	欧州材	国内材	
		寸法	鍛練比	寸法	鍛練比				
7CrMoVTiB10-10	$\phi 500 \times 935L$ 1,450kg	$\phi 705 \times 470h$	1/2.0U	500角×700L	1.6S	3S相当	—	2	
2							2		

5.1.2 X10 材

ヒート回数は、7Cr 材と同じく 4 回であった。7Cr 材と比較すると、やや変形抵抗が大きく所要加圧力が増加するため、若干の鍛造所要時間増が認められたが、鍛造割れなどの欠陥を生ずることもなく、鍛造作業性上、特に問題はないとの結論を得た。

5.2 熱処理後特性調査

ブロック素材から試験片を採取して、下記の調査を実施した。これらの項目のうち、EN 規格で規定値があるものは、引張試験での耐力、引張強さ、伸びのみである。

- (1) 引張試験
- (2) シャルピー衝撃試験 (0°C)
- (3) 内部のビッカース硬さ試験
- (4) ミクロ組織観察

5.2.1 引張試験とシャルピー試験

ブロック素材の第 2 図に示す位置から、L, W, T の 3 方向に引張試験片とシャルピー試験片を採取した。試験の全結果を第 4 表に示す。

7Cr 材の結果は、すべて規定値に対し、余裕をもって合格しており問題ないレベルである。

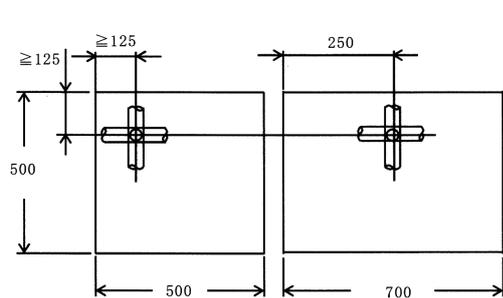
X10 材については、すべて合格してはいるものの、伸びが下限値近傍である。逆に、引張強さは規格の上限側にあるため、焼き戻し温度を上げて、靱性の向上を図ることが望ましい

シャルピー吸収エネルギーに関しては、X10 材の調達先で明らかに差が認められ、国産材の方が、欧州材よりも大幅に高い値となっている。

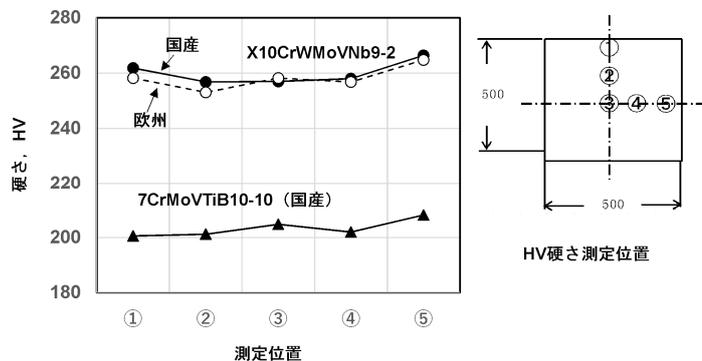
5.2.3 内部硬さ

内部硬さ分布を調査するため、上述のミクロ組織観察部位近傍で、ビッカース硬さを測定した。

第 3 図は、各々の内部硬さの測定結果を示しており、いずれにおいても表面と内部の硬さはほぼ同等であり、全断面にわたって均一な硬さである。



第 2 図 試験片採取位置



第 3 図 内部硬さ分布

第 4 表 機械的性質調査結果

対象材	調達先	区分	採取方向	耐力 MPa	引張強さ MPa	伸び		絞り %	硬さ HB	シャルピー吸収エネルギー J (0°C)			
						L	W,T			1	2	3	平均
						%	%						
7CrMoVTiB10-10	—	規定値	—	≥430	565-840	≥17	≥15	—	—	—	—	—	—
		国産	試験結果	L	508	645	26.4	—	75.6	192	14.2	15.0	17.3
	W		504	642	—	24.3	70.3	189	13.4	11.2	12.7	12.4	
	T	507	643	—	24.5	72.3	191	11.5	13.4	10.4	11.8		
X10CrWMoVNb9-2	—	規定値	—	≥440	620-850	≥19	≥17	—	—	—	—	—	—
		国産	試験結果	L	673	812	19.6	—	54.5	251	22.4	30.9	28.4
	W			680	819	—	19.6	56.7	243	23.6	27.2	25.2	25.3
	T			688	827	—	19.7	57.8	251	24.0	22.0	22.4	22.8
	L			665	800	19.0	—	51.4	246	10.4	10.0	7.4	9.3
	欧州	W	667	801	—	18.9	52.9	241	7.0	5.5	12.3	8.3	
T		681	814	—	17.6	51.2	246	8.5	9.3	9.3	9.0		

5.2.4 ミクロ組織

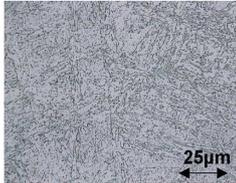
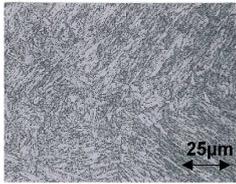
ブロック形状の、表面部、1/4T部（表面と中心の間）、中心部において、ミクロ組織を観察した。第4図に、それぞれの組織を示す。

一般的には、表面部はマルテンサイト組織、中心部はベーナイト、フェライト、パーライトの混合組織であり、1/4T部は、その中間的組織である。X10材の国産材、欧州材での有意差は認められない。いずれの組織も、当該成分系のものである。正常な組織である。

5.3 切削試験

機械加工は、3機種を用いて、3段階で施工した。第5表に、加工の手順と使用した機種を示している。切削条件を、過去に製造実績のある2.25Cr-1Mo系材料の切削条件などと同等に設定して試験加工を行った結果、両材ともに、チップの早期摩耗や欠損などのトラブルは生じず、良好に加工を終えることができた。したがって、被削性については、特に問題はないとの結論を得た。

第5図のa)からc)に加工中の状況を、同図d)に完成品の外観を示す。

材質	表面部	1/4T部	中心部
7CrMoVTiB10-10 (国産材)	 マルテンサイト	 ベイナイト+パーライト	 ベイナイト+フェライト +パーライト
X10CrWMoVNb9-2 (国産材)	 マルテンサイト	 ベイナイト	 ベイナイト+パーライト
X10CrWMoVNb9-2 (欧州材)	 マルテンサイト	 ベイナイト	 ベイナイト+パーライト

第4図 ミクロ組織

第5表 機械加工手順と使用機種

加工順	1	2	3
加工内容	・鍛造肌除去のための フライス加工 ・母管部下穴加工	・母管部外径及び内径部 仕上加工	・分岐用枝管部外内径部 荒加工及び仕上加工
使用機種名	MPC-4150B	TM-12M	e-1850V
機種分類	マシニングセンター	堅型旋盤	5軸複合マシニング センター
製造メーカー	東芝機械	オーエム製作所	ヤマザキマザック製
加工可能サイズ(mm)	4000W×5000L×2400H	φ1500×1540H	φ2300×1800H



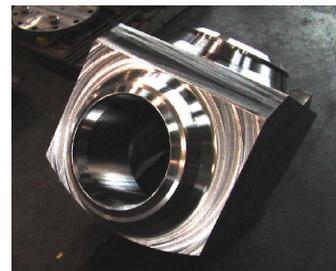
a) 荒加工



b) 穴加工



c) 枝管内面加工



d) 完成品

第5図 機械加工の状況と完成品の外観

## 6. 結言

欧州規格において、既に、超々臨界圧ボイラー用パイプ材料として規格化されている 7CrMoV TIB10-10 材と X10CrWMoVNb9-2 材を用いて鍛造品を製造する場合の問題点を把握するため、一連の試作評価を行った結果、下記の知見を得た。

(1) 両材ともに、鍛造性に基本的な問題はなく、既存設備と技術での鍛造が可能である。鍛練比は、3S 相当を確保すれば問題ない。

(2) 熱処理後の機械的性質は、両材ともに、規格要求を全て満足できた。ただし、X10 材については、伸びが下限近傍である一方、強度には余裕があるため、量産の熱処理では、焼き戻し温度を上げて靱性の向上を図りたい。

(3) 被削性については特に問題は認められず、良好な加工品質を得ることができた。

(4) 以上の結果、両材質の鍛鋼品の製造は、従来プロセスで十分可能であるとの見通しを得ることができた。

## 参 考 文 献

- (1) EN 10216-2:2013 Seamless steel tubes for pressure purpose - Technical delivery conditions - Non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties, Dec. 2013