

極厚熱延コイルの製造

On Manufacturing of Heavy Gauge Hot Rolled Coils

浦山 登(Noboru Urayama) 岡本 昇(Noboru Okamoto) 東野 建夫(Tateo Higashino) 伊藤 庸(Yo Ito) 島崎 昌恭(Masayoshi Simazaki)

要旨：

水島製鉄所ホットストリップミルに強力な巻取機を設置し、極厚熱延コイルの製造技術の開発を進めた結果、構造用は板厚 25mm まで、ラインパイプ用は板厚 16mm までの製造技術確立した。これまでに得られた結果は次のとおりである。(1)実際に製造した板厚 25mm の構造用 (DIN RST37-2) および板厚 16mm のラインパイプ用 (API-X60, X-65, X70) ホットコイルの品質はいずれも均一であり規格値を十分満足した。(2)制御圧延によって高靱性の極厚コイルを製造する場合、未再結晶オーステナイト領域での合計圧下率を 66% と高めると、API-X70 で BDWTT の 50% SATT が -40℃ 以下の良好な成績が得られた。(3)厚さ 16mm の低 C-Nb-V 鋼ホットコイル素材を使って製造したスパイラル鋼管 API 5LS-X60 の品質特性は良好であった。

Synopsis：

The installation of a powerful down-coiler on the hot strip mill at Mizushima Works has proved to be contributable to the development of rolling technique for heavy gauge hot rolled coils. A summary of the results is as follows: (1) 25mm thick hot rolled coils for structural use (DIN RST37-2) and 16mm thick hot rolled coils for line pipe (API-X60, X65, X70) sufficiently satisfy specifications, with their quality very uniform. (2) In rolling heavy gauge coils of high toughness by controlled rolling, an increase in a total reduction rate to 66% in austenitic non-recrystallizing range results in a good performance of a 50% SATT in BDWTT (less than -40℃) in API-X70. (3) Good quality is obtained of spiral-welded pipe (API 5LS-X60) manufactured with low-C, Nb-V steel, 16mm thick hot rolled coil.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

極厚熱延コイルの製造

On Manufacturing of Heavy Gauge Hot Rolled Coils

浦 山 登*

Noboru Urayama

岡 本 昇**

Noboru Okamoto

東 野 建 夫***

Tateo Higashino

伊 藤 庸****

Yo Ito

島 崎 昌 恭*****

Masayoshi Shimazaki

Synopsis :

The installation of a powerful down-coiler on the hot strip mill at Mizushima Works has proved to be contributable to the development of rolling technique for heavy gauge hot rolled coils. A summary of the results is as follows :

- (1) 25mm thick hot rolled coils for structural use (DIN RST37-2) and 16mm thick hot rolled coils for line pipe (API-X60, X65, X70) sufficiently satisfy specifications, with their quality very uniform.
- (2) In rolling heavy gauge coils of high toughness by controlled rolling, an increase in a total reduction rate to 66% in austenitic non-recrystallizing range results in a good performance of a 50% SATT in BDWTT (less than -40°C) in API-X70.
- (3) Good quality is obtained of spiral-welded pipe (API 5LS-X60) manufactured with low C, Nb-V steel, 16mm thick hot rolled coil.

1. 緒 言

近年、国内外の需要家から極厚熱延コイルへの要求が強くなり、一般構造用として板厚25mm、油井管のケーシング用として16mm、およびラインパイプ用コイルとして16mm、あるいはそれ以上の厚物の要求がある。なかでもラインパイプ用熱延コイルは、極厚化の傾向¹⁾が強くなり、材質上も高強度、すぐれた低温靱性、加えて良好な溶接性に対する要求が一段と強まってきている。これらの要求の背景には、ホットストリップミルが厚板ミル

に比較して高能率であること、制御圧延技術の発展²⁻⁶⁾により高強度、高靱性のコイルが開発され、コイルを用いて高級ラインパイプの製造が可能になったこと、またスパイラル鋼管には素材としてコイルが用いられることなどがあげられる。

当社においては、各方面からの極厚熱延コイルの要求に応えるため、昭和48年、水島製鉄所ホットストリップミル⁷⁾に強力な巻取機を設置し、品質の均一な高靱性コイルを開発すること、溶接鋼管に適した溶接性を得ること、できるだけ低C当量で材質設計をおこなうこと、などを主眼として実験を進めてきた⁸⁾。現在、なお開発実験は進行

* 水島製鉄所管理部薄板管理課課長

*** 水島製鉄所第2圧延部

***** 川鉄鋼管(株)製造部部長

** 水島製鉄所管理部薄板管理課

**** 技術研究所水島研究室主任研究員

中であるが、その中の一つとして構造用25mm, ラインパイプ用 16mm の API-X70 の極厚熱延コイルの製造技術を確立したので、その概要について報告する。

ダンパースプリング変位, マンドレルトルクおよびマンドレル電流などを計測し総合的に検討して決定した。その結果, **Fig. 1** に示す寸法まで製造可能となった。

2. 巻取機の仕様および製造可能寸法

Table 1 に巻取機の仕様を示す。最大巻取能力は巻取時のコイルの降伏強度 35kg/mm^2 である。巻取能力限界は、ラッパーロールフレーム変位, ピンチロールフレーム変位, ラッパーロール

3. コイル巻姿および板厚プロフィール

巻姿は **Photo. 1** に示すように 25mm の構造用材および板厚 16mm の高強度材ともに良好であり安定している。板厚プロフィールも **Fig. 2** に示すように良好である。

Table 1 Coiler specification

Item		Unit	No. 3 down coiler	
Maker			ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD.	
Installed date			May, 1973	
Type			3 wrapper roll-type down coiler with bending roll	
Capacity	Strip thickness	mm	3.20~25.40	
	Strip width	mm	2 200	
	Coil inner diameter	mm	762	
	Coil outer diameter	mm	2 350	
	Maximum weight	kg	45 000	
Maximum coiling specification	Y.S. of coiling strip	kg/mm ²	35.0	
	Thickness × width	mm	16 × 2 200	
	Coiling speed	mpm	150	
Pinch roll	Top roll dia. × body length	mm	920 × 2 300	
	Bottom roll dia. × body length	mm	520 × 2 300	
	Top motor	kW × rpm	400 × 800	
	Bottom motor	kW × rpm	400 × 800	
	Pressure force	kg	52 000	
Mandrel	Wedge type			
	Motor	kW × rpm	500 × 380/1 185 × 2	
	Maximum torque	kg	13 600	
Wrapper roll	Diameter × body length × rolls	mm	350 × 2 300 × 3	
	Motor	kW × rpm	52/104 × 550/1 100	
	Pressure force	kg	No. 1	66 000
			2	49 000
			3	55 000
Bending roll	Diameter × body length	mm	350 × 2 300	
	Motor	kW × rpm	52/104 × 550/1 100	

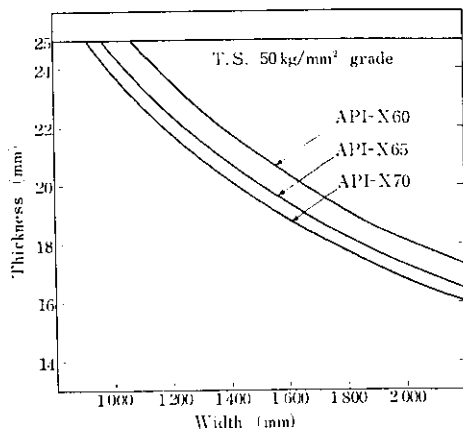


Fig. 1 Maximum sizes of hot rolled coils available at Mizushima Works (Besides API's specification described above, other than specifications will also be available upon customers request)

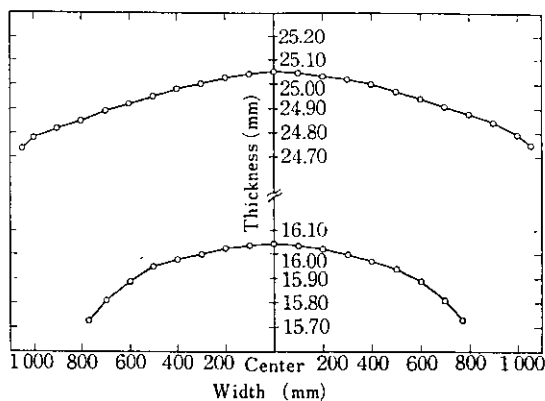
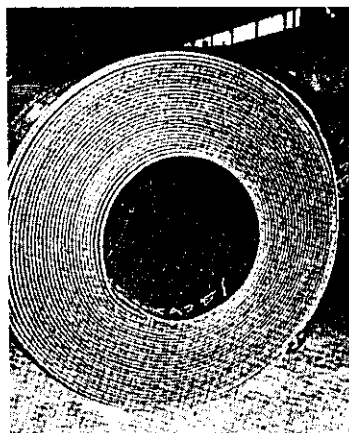


Fig. 2 Thickness profiles of hot rolled coils for DIN RST37-2(25mm) and API-X70(16mm)



(a) DIN RST37-2
25.0 x 2100mm



(b) API-X70
16.0 x 1550mm

Photo. 1 Appearance of hot rolled coils

4. 材質設計および機械的性質

4.1 板厚 25mm の DIN RST37-2

化学成分の一例を **Table 2** に示す。**Fig. 3** にコイル全長の圧延方向に直角方向 (T 方向) の引張特性を, **Fig. 4** にコイル全長の衝撃特性を, **Fig. 5** に板厚方向の硬さ分布を, **Photo. 2** に板厚方向の組織の一例を示す。これらの例から明ら

Table 2 Chemical composition of DIN RST37-2

						(wt%)
C	Si	Mn	P	S	Al	C.E.*
0.16	0.04	0.88	0.016	0.014	0.039	0.31

$$* \text{ C.E.} = [\%C] + \frac{1}{6} [\%Mn]$$

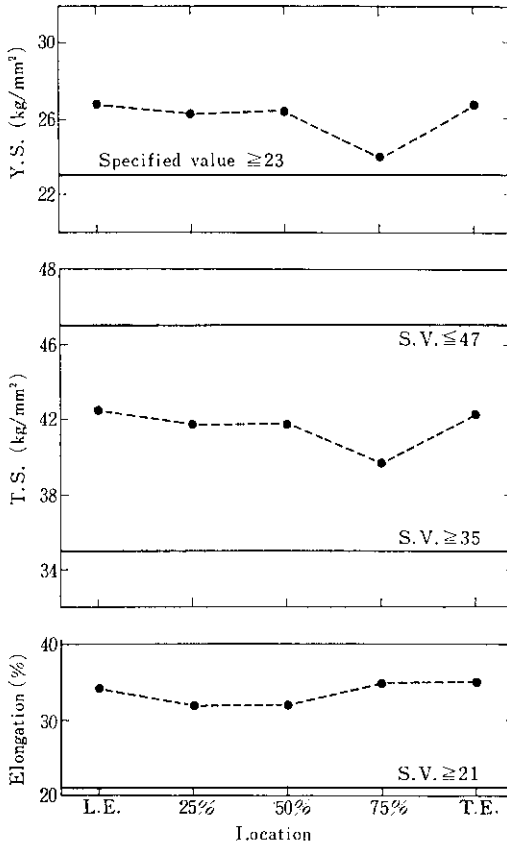


Fig. 3 Distributions of tensile properties (transverse) over the length of hot rolled coils for DIN RST37-2

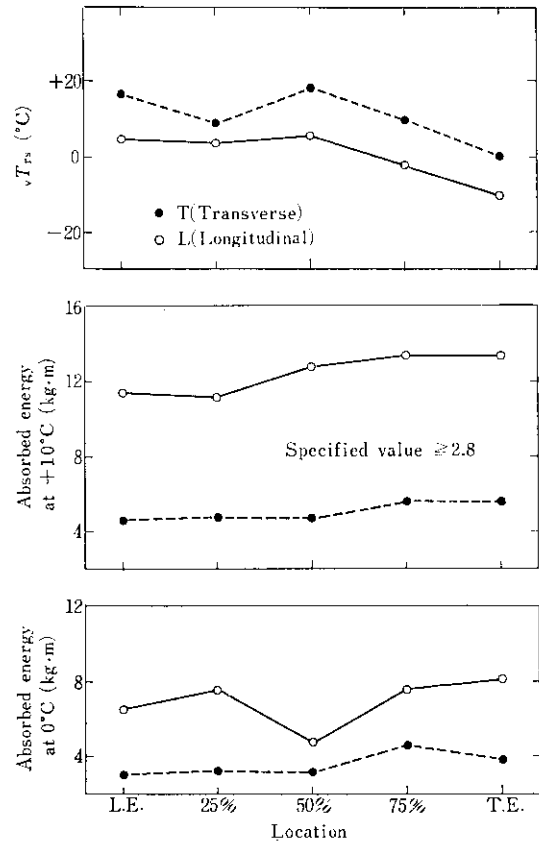


Fig. 4 Distributions of impact properties over the length of hot rolled coils for DIN RST37-2 (specimen: Charpy V-notch full size)

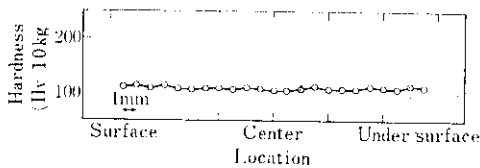


Fig. 5 Distribution of hardness through thickness for DIN RST37-2, 25mm in thickness

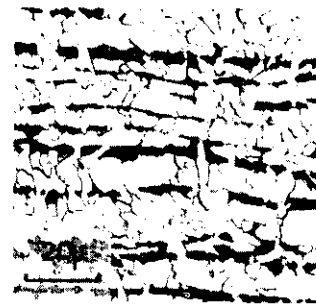


Photo. 2 A typical microstructure of DIN RST 37-2

かなように、コイル長手方向および板厚方向の機械的性質は均一であり、かつ DIN RST37-2 を十分満足するものである。今後の問題点として、50キロ鋼あるいは API-X60 以上のようなよりハイグレードの鋼種を製造する場合には、低C当量が

つ細粒化の方向^{9,10)}で成分および圧延条件を検討する必要がある。

4.2 板厚 16mm の鋼管用素材 API-X60, X65, X70

4.2.1 品質水準

各グレードの化学成分の一例を **Table 3**, 圧延温度および圧延スケジュールを **Table 4** に示す。API-X60, X65 は低 C-Nb-V 系, API-X70 は低 C-Nb-Mo 系であり, 後者の方がより厳しい条

件で制御圧延されている。機械的性質を **Table 5**, シャルピー試験の遷移曲線を **Fig. 6** および組織を **Photo. 3** に示す。コイルでの引張, 衝撃特性はすぐれており, たとえば API-X70 の衝撃特性はバツテル式落重試験 (BDWTT) の 85% SATT が -50°C と, 現在もっとも要求の厳しい規格の一つである CAGPL (Canadian Arctic Gas Pipeline Limited) 規格 No. 2950-6-6 (May 7, 1975) の切欠延性試験 (試験温度 -25°C) を十

Table 3 Chemical composition of API-X60, X65 and X70 for line pipe (wt%)

Grade	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Mo	Ce/S	C.E. *
API-X60	0.11	0.26	1.16	0.015	0.005	0.039	0.039	0.030	—	2.0	0.31
API-X65	0.10	0.24	1.45	0.013	0.005	0.048	0.044	0.036	—	1.5	0.35
API-X70	0.07	0.20	1.42	0.015	0.005	0.029	0.047	—	0.210	1.0	0.35

$$* \text{ C.E.} = [\%C] + \frac{[\%Mn]}{6} + \frac{[\%Cr]}{5} + \frac{[\%Mo]}{5} + \frac{[\%V]}{15} + \frac{[\%Ni]}{15} + \frac{[\%Cu]}{15}$$

Table 4 Rolling temperatures and rolling schedule of API X60, X65 and X70 for line pipe

Grade	Rolling temperature			Rolling schedule			
	Slab reheating temp. ($^{\circ}\text{C}$)	F7 delivery temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Coiling temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Slab thickness (mm)	Sheet bar thickness (mm)	Strip thickness (mm)	Total reduction below 950°C (%)
API-X60	1160	750~710	610~555	180	32	16.0	50
API-X65	1160	705~680	595~550	150	47	16.0	66
API-X70	1160	705~680	535~495	150	47	16.0	66

Table 5 Mechanical properties of API X60, X65 and X70 for line pipe

Grade	Testing direction	Tensile test				Charpy impact test				BDWTT	
		Y.S. (kg/mm^2)	T.S. (kg/mm^2)	El. (%)	Y.R. (%)	$E_{0^{\circ}\text{C}}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}$)	$E_{-23^{\circ}\text{C}}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}$)	$E_{-46^{\circ}\text{C}}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}$)	T_{TS} ($^{\circ}\text{C}$)	85% SATT ($^{\circ}\text{C}$)	50% SATT ($^{\circ}\text{C}$)
API-X60	L	47.5	58.9	43	81	20.8	15.5	6.3	-42	0	-4
	T	50.1	59.3	42	85	12.2	8.6	4.1	-36	+10	-2
API X65	L	50.2	60.4	42	83	30.0	27.8	26.3	-114	-40	-46
	T	52.1	59.8	42	87	17.5	18.0	15.6	-80	-32	-36
API-X70	L	55.5	64.2	38	86	29.9	29.8	29.6	-120	-50	-52
	T	59.5	66.1	37	90	14.5	13.6	11.3	-70	-38	-48

- 1) Tensile test specimen : API size, G.L. = 2in
- 2) Charpy impact specimen : 2 mm V-notch full size
- 3) $E_{0^{\circ}\text{C}}$: Absorbed energy at 0°C
 $E_{-23^{\circ}\text{C}}$: Absorbed energy at -23°C
 $E_{-46^{\circ}\text{C}}$: Absorbed energy at -46°C

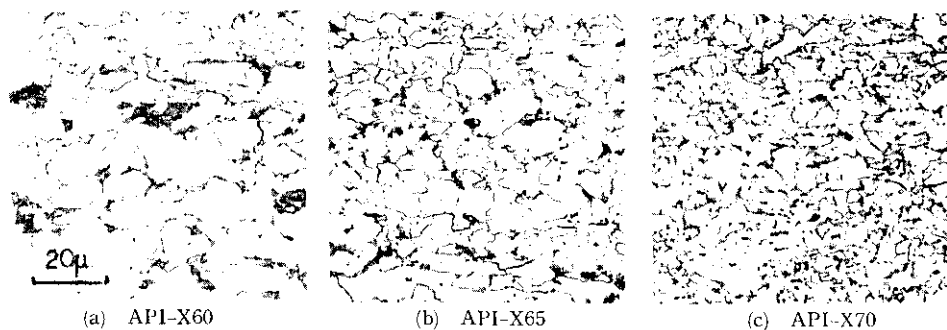


Photo. 3 Examples of microstructures of API-X60, X65 and X70

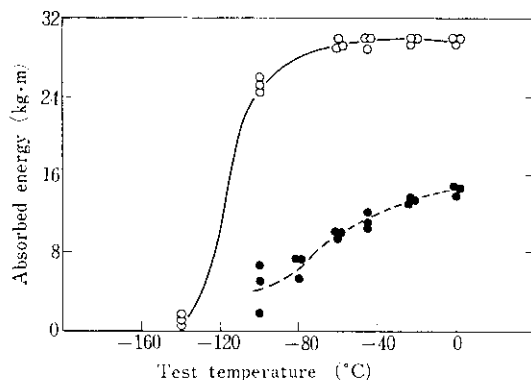
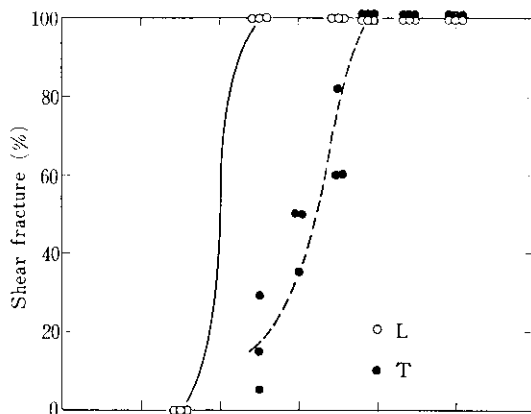


Fig. 6 The transition curves of Charpy V-notch impact test for API-X70 (specimen : Charpy V-notch full size)

Table 6 Maximum hardness of heat affected zone in the IIW test

Grade	Maximum hardness(Hv 10kg)
API-X60	262
API-X65	274
API X70	260

Welding condition

Electrode : Kawasaki Steel Corporation standard
KS 86 $\frac{5}{32}$ in dia.
Temperature of specimens : 20°C
Welding current : 170A
Arc voltage : 23A
Welding speed : 5.91in/min
Heat input : 39.7kJ/in

Table 7 Percent cracking in the under-bead cracking test

Grade	Magnification	Preheating temperature (°C)		
		0	50	100
API X60	× 400	0	0	0
API X65	× 400	0	0	0
API-X70	× 400	0	0	0

Welding condition

Electrode : Kawasaki Steel Corporation standard
KS 86 $\frac{1}{8}$ in dia.
Drying condition of electrode : 350°C × 1h
Welding current : 100A
Arc voltage : 26V
Welding speed : 10in/min
Heat input : 15.6kJ/in

分満足するものである。

組織は低 C-Nb-V 系でパーライト(P)+フェライト(F), 低 C-Nb-Mo系で P+F[Acicular Ferrite(A)]¹⁾を含む}であり, 制御圧延の厳しいほど微細なものとなっている。溶接性について,

IIW 最高硬さ試験, バッテル式ビード下割れ試験および斜めY開先拘束割れ試験の結果を Table 6~8 に示す。いずれのグレードも良好な成績を示しており, 鋼管用素材として十分な溶接性を備えている。

4.2.2 コイル内の均一性

板厚 16 mm の高張力熱延コイルの均一性を把握するために、コイルの長手方向の機械的性質について調査をした。その結果の一例として API-X70 について、コイル長手方向の引張および衝撃特性を Fig. 7, 8 に示す。コイルの後端になるほど 50%SATT が上昇している。この程度の変動は実用上問題はないが、今後は制御冷却法を取り入れてさらに改善を図りたいと考えている。一方、吸収エネルギーについては、コイル長手方向での変動は小さいが、厚板ミルと異なって一方向圧延とならざるを得ないため、圧延方向とその直角方向の差が大きい。この点を改善するためには、硫化物の形状制御¹²⁻¹⁴⁾が必要となろう。

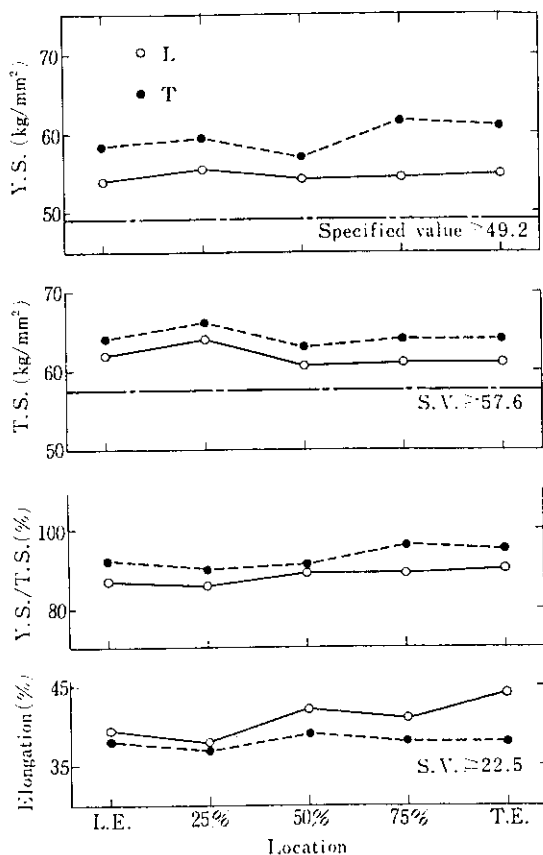


Fig. 7 Distributions of tensile properties over the length of the hot rolled steel for API-X70 16mm in thickness

Table 8 Percent cracking in the oblique Y groove restraint cracking test

Grade	Location of cracking	Preheating temperature (°C)		
		0	50	100
API-X60	Surface	0, 0	0, 0	0, 0
	Section	0, 0	0, 0	0, 0
	Root	0, 0	0, 0	0, 0
API-X65	Surface	0, 0	0, 0	0, 0
	Section	0, 0	0, 0	0, 0
	Root	0, 0	0, 0	0, 0
API-X70	Surface	0, 0	0, 0	0, 0
	Section	0, 0	0, 0	0, 0
	Root	0, 0	0, 0	0, 0

Welding condition

Electrode : Kawasaki Steel Corp. standard
KS86 $\frac{3}{32}$ in dia.

Drying condition : 350°C × 1 h

Welding current : 170A

Arc voltage : 26V

Welding speed : 5.9lin/min

Heat input : 45.0 kJ/in

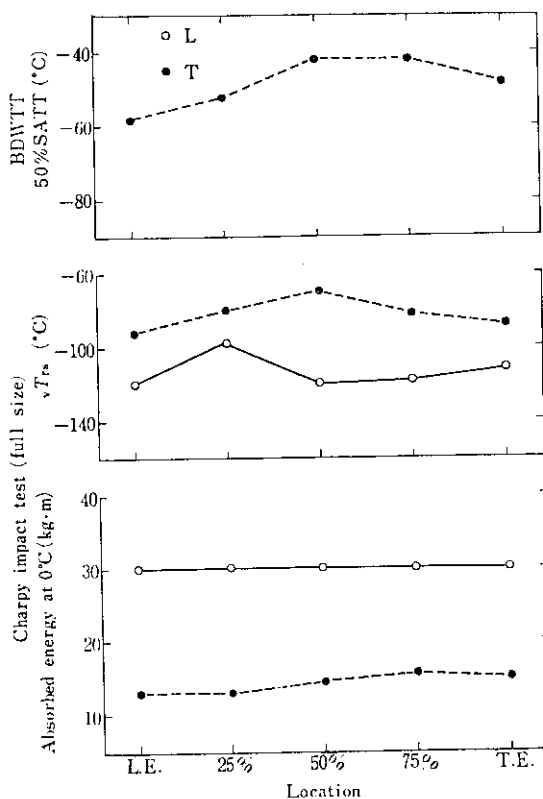


Fig. 8 Distributions of impact properties over the length of the hot rolled coils for API-X70

4-2-3 材質におよぼす制御圧延の影響

(1) スラブ加熱温度および圧延温度の影響

ホットストリップミルによるパイプ素材の制御圧延についての基本的な考え方および板厚 12.7mm 以下の薄物についての具体的な圧延条件と機械的性質の関係はすでに報告されている²⁾。しかし板厚 16mm というように板厚が厚くなると、スラブ加熱温度と仕上圧延温度の関係は薄物の場合と異なってくると考えられるので、これを見直す目的で API-X60 を対象として実験をおこなった。Table 9 にその圧延条件を示す。スラブ加熱温度は 1 220°, 1 160°C の 2 水準とし、シートバーのホールディングの有無を含めて仕上圧延開始温度は、1 000°~900°C, 985°~975°C, 965°~950°C の 3 水準を選んだ。仕上圧延の合計圧下率はすべて 50% と一定としている。

各実験材の引張試験、衝撃試験および硬さ測定結果を Fig. 9~11 に示す。スラブ加熱温度 1 220°C でシートバーホールディングをおこなっていないストリップ 1 は、ストリップ 2, 3 に比べて Y.S., T.S. が 1~2kg/mm² 高く、硬さは板厚中央部で Hv20 程度大きく、また板厚方向でのバラツキは小さい。これは、スラブ加熱温度が高く圧延所要時間も短いため、圧延中に粗大な Nb [CN] 析出物が生成しがたく、このことが微細な Nb [CN] による析出硬化を得る条件となっていたと考えられる。一方、吸収エネルギーについては圧延条件による差はほとんど認められないが、遷移温度については仕上圧延開始温度が低くなるにしたがって、 vT_{rs} および BDWTT 50% SATT が低くなる傾向が明らかである。この理由は、一定の仕上圧下量の中で結晶粒の微細化

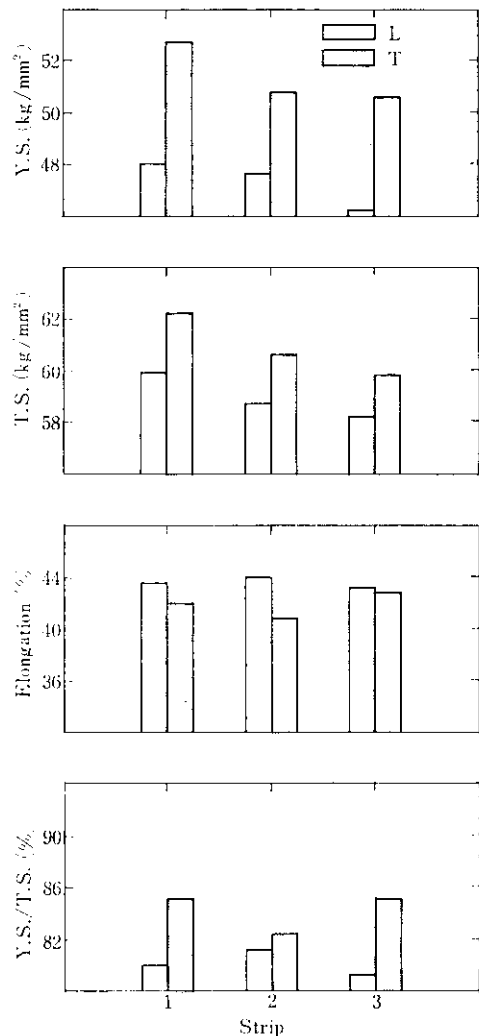


Fig. 9 Effect of slab reheating temperatures and rolling temperatures on tensile properties of API-X60

にもっとも有効な未再結晶オーステナイト領域での圧下量の占める比率が、仕上圧延開始温度の低

Table 9 Rolling temperatures and rolling schedule

Strip	Rolling temperatures			Rolling schedule				
	Slab reheating temp. (°C)	Finishing entry temp. (°C)	Coiling temp. (°C)	Slab thickness (mm)	Sheet bar thickness (mm)	Strip thickness (mm)	Total reduction of finisher (%)	Sheet bar holding (sec.)
1	1 220	1 000~990	560~545	180	32	16.0	50	0
2	1 220	965~950	590~550	180	32	16.0	50	30
3	1 160	985~975	610~555	180	32	16.0	50	0

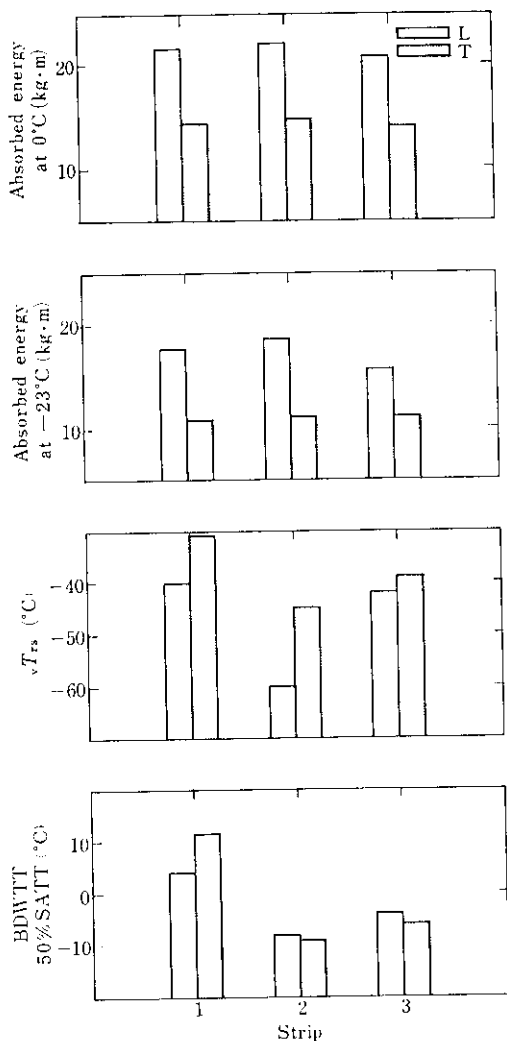


Fig. 10 Effect of slab reheating temperatures and rolling temperatures on impact properties of API-X60

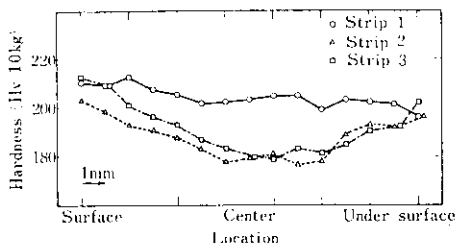


Fig. 11 Change of through thickness hardness with slab reheating temperatures and rolling temperatures in API X60

下とともに増加することで説明される¹⁵⁾。

(2) 未再結晶領域での圧下率の影響

厚物については、クロップシャーの能力から薄物の場合のように仕上圧延の合計圧下率を増加させることは容易でない。上記の仕上圧延開始温度の効果は、ある限界温度以下で飽和する¹⁴⁾ので、衝撃特性をさらに向上させようとする場合は、すでに報告されている⁶⁾ ように未再結晶オーステナイト領域での合計圧下率を増加させねばならない。そこで板厚 16mm の API-X65, X70 を対象として、粗圧延の後半の温度が未再結晶オーステナイト領域になるような条件とし、950°C 以下での合計圧下率を 63~66% と高める実験をおこなった。Fig. 12 に BDWTT の 50% SATT に

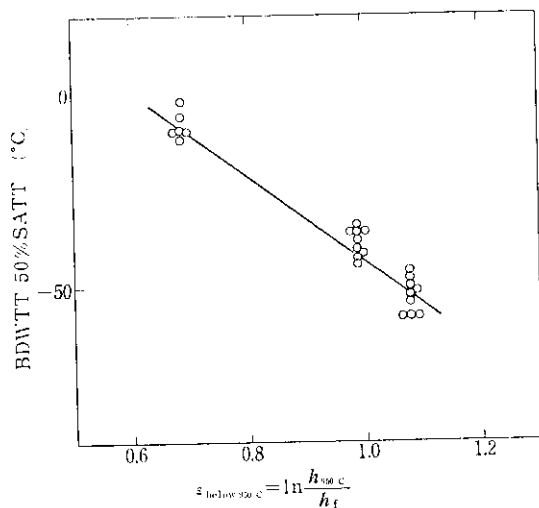


Fig. 12 Effect of total reduction below 950°C on 50% SATT of BDWTT (ϵ : Total reduction below 950°C, $h_{950^\circ\text{C}}$: Sheet bar thickness at 950°C, h_f : Strip thickness)

およぼす 950°C 以下の合計圧下率 ($\epsilon_{\text{below } 950^\circ\text{C}}$) の影響を示す。 $\epsilon_{\text{below } 950^\circ\text{C}}$ が増すと 50% SATT が低下し、従来の結果⁶⁾と一致する。すなわち、 $\epsilon_{\text{below } 950^\circ\text{C}} > 1.0$ を確保することで、50% SATT が -40°C 以下のすぐれた衝撃特性を得ることができる。

(3) 低 C-Nb-Mo 系 API-X70 の組織におよぼす巻取り温度の影響

薄物についてはすでに報告した²⁾ ように、低

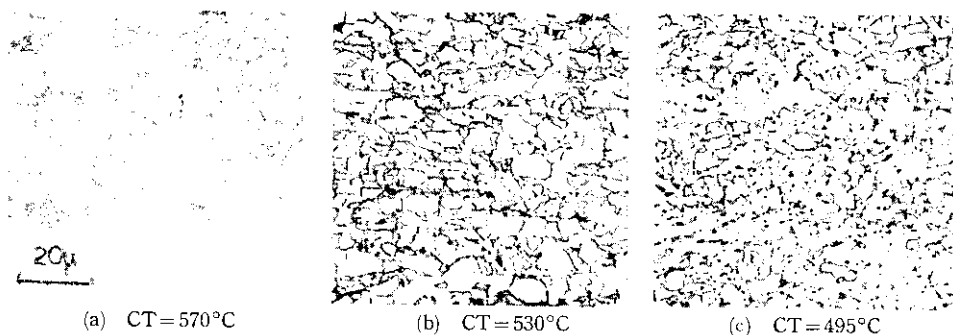


Photo. 4 Effect of coiling temperature on the microstructure of Nb-Mo steels for line pipe

Table 10 Change of microstructures and tensile properties of Nb-Mo steel, API-X70 grade, with coiling temperature

Coiling temperature (°C)	Microstructure	Tensile test				BDWTT 50%SATT (°C)
		Y.S. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	El. (%)	Y.R. (%)	
570	Ferrite + Pearlite	55.4	59.2	44	90	-38
530	Ferrite + Pearlite	54.4	61.2	41	89	-42
495	Acicular ferrite + Pearlite	55.5	64.2	38	86	-52

C-Nb-Mo 鋼を制御圧延し 600°C 以下で巻取った場合、Acicular Ferrite (A) を含む微細な組織となり、靱性を損なうことなく高強度と低降伏比が得られることが知られている。この A 組織を厚物についても得る条件をみいだすために、板厚 16mm についてスラブ低温加熱、低温圧延および巻取り温度 (CT) 495°, 530°, 570°C の 3 水準で実験をおこなった。Photo. 4 に組織におよぼす CT の影響を示す。組織は CT が 530°C 以上では F+P であり、CT 495°C で A+P である。すなわち、Table 3 に示した成分で板厚 16mm を製造した場合、495°C ときわめて低い CT となるような冷却条件で初めて生成する。なお機械的性質を Table 10 に示すが、A の生成によって遷移温度の低下とともに T.S. が 3~5kg/mm² 上昇し、Y.R. が 3~4% 下がる傾向が明瞭である。さらに 16mm こえの厚物を製造する場合、きわめて低い CT では巻取能力が不足することが考えられる。これに対処するためには化学成分および制御冷却の検討が必要となろう。

5. スパイラル鋼管 API 5LS-X60

Table 9 に示すストリップ 1 および 3 (低 C-Nb-V 系 API-X60) の素材を供試材として、川鉄鋼管(株) No. 2 ミルで 1219.2mmφ×16.0mm t サイズのスパイラル鋼管 API 5LS-X60 を 2 本造管した。造管時の溶接条件を Table 11 に示す。溶接方法は 2 電極サブマージアーク溶接で先行電極は直流、後行電極は交流を負荷した。溶接材料は溶融型フラックス川鉄規格 KF-X と Ti-Ni-Mo 系の川鉄規格 KW-101 B ワイヤーを用いた。Table 12~14 に母材部の引張および衝撃特性を、Table 15 に溶接部および熱影響部の引張および衝撃特性、最高硬さおよび曲げ特性を示す。また Photo. 5 に溶接部の組織を示す。これらのデータから明らかなように、いずれのパイプも母材部、溶接部および熱影響部の引張および衝撃特性は API 5LS-X60 を満足している。

Table 11 Welding conditions

Pipe	Welding side	Pole	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (m/min)	Heat input (kJ/cm)
1, 3	Inside	Leading	1 020	34	1.4	25.5
		Trailing	730	34		
	Outside	Leading	1 080	33	1.4	23.0
		Trailing	870	34		

1) Leading : Leading electrode

Trailing : Trailing electrode

2) Pipes 1, 3 were manufactured from strip 1 and 3, respectively

Table 12 Tensile properties of API 5LS-X60

Pipe	Location	Testing direction	Y.S. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	El. (%)	Y.R. (%)
1	L.E.	T	48.4	58.8	43	82
	50%	T	51.9	62.1	42	84
	T.E.	T	49.5	60.9	43	81
3	L.E.	T	51.6	62.6	41	82
	50%	T	48.0	58.8	43	82
	T.E.	T	48.8	56.9	42	86
Specified value			≥42.2	≥54.8	≥23.5	—

T : Transverse

Table 13 Impact properties of API 5LS-X60 in Charpy impact test

Pipe	Location	Testing direction	$E_{0^{\circ}\text{C}}$ (kg·m)	$E_{-23^{\circ}\text{C}}$ (kg·m)	$E_{-46^{\circ}\text{C}}$ (kg·m)	$v_{T_{rs}}$ (°C)
1	L.E.	T	15.3	13.7	7.7	-46
	50%	T	17.7	11.6	6.1	-30
	T.E.	T	18.0	13.6	9.7	-18
3	L.E.	T	23.6	16.8	14.1	-32
	50%	T	18.9	15.4	12.5	-64
	T.E.	T	20.9	17.9	5.0	-60

Specified value S.A. at 0°C : 35% min. Average 50% min.

Table 14 Impact properties of API 5LS-X60 in BDWTT

Pipe	Location	Testing direction	S.A. 0°C (%)	S.A. -23°C (%)	S.A. -46°C (%)	85% SATT (°C)	50% SATT (°C)
1	L.E.	T	27, 25	12, 10	6, 6	+18	+10
	50%	T	46, 24	18, 16	9, 7	+16	+6
	T.E.	T	32, 45	16, 13	7, 8	+22	+6
3	L.E.	T	95, 84	13, 17	7, 7	-2	-10
	50%	T	92, 100	17, 17	13, 7	-4	-12
	T.E.	T	67, 84	17, 17	7, 6	+4	-4

Table 15 Properties of weld joint of spiral weld pipe

Pipe	Tensile test ¹⁾		Charpy V-notch impact test (¹ / ₁ size) ²⁾						Maximum hardness	Bend test ³⁾	
	T.S. (kg/mm ²)	Fracture location	Weld metal		Bond		Heat affected zone			H _v (10kg)	Face-bend
			E _{0°C}	E _{-23°C}	E _{0°C}	E _{-23°C}	E _{0°C}	E _{-23°C}			
			(kg·m)	(kg·m)	(kg·m)	(kg·m)	(kg·m)	(kg·m)			
1	61.6	B.M.	6.0	3.2	15.5	11.3	19.2	16.1	24.6	No defect	No defect
3	59.0	B.M.	5.6	4.4	17.2	12.1	17.9	14.8	24.1	No defect	No defect

1) API type specimen with weld reinforcement

2) Average absorbed energy for three specimens

3) The bending radius is equal to wall thickness

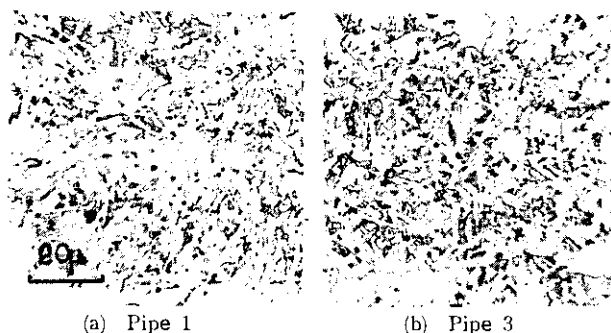


Photo. 5 Microstructures of weld metals in API 5LS-X60

6. 結 言

当社は近年ますます高まりつつある熱延コイルの構造用、パイプ素材用をはじめとする各種用途における極厚化の要求に応えるべく、水島製鉄所のホットストリップミルに強力な巻取機を設置し、適用鋼種および製造可能寸法の拡大、ハイグレード鋼に対しての適切な成分設計および制御圧延、制御冷却技術を含めた圧延条件の設定、さらにコイル内の品質の均一性確保などの多様の目標に対して種々実験、検討をおこなってきた。本報では現在までの実績例の概略について述べたが、その結果を要約すると次のとおりである。

(1) 巻取機的能力について検討した結果、50kg/mm² 鋼については板厚 25mm まで、API-X70については板幅 1550mm で板厚 19mm まで製造が可能との結論を得た。

(2) 構造用については板厚 25mm まで、ハイグレードラインパイプ用素材については板厚 16mm までの製造技術を確立し、その品質水準な

らびにそのコイル内の均一性が良好なことを確かめた。

(3) 制御圧延によって高靱性の極厚コイルを製造する場合、未再結晶オーステナイト領域での合計圧下率を高める手段が有効であることを明らかにした。

(4) 低 C-Nb-Mo 系鋼で板厚が 16mm と厚くなっても制御圧延によって acicular ferrite 組織が得られることがわかった。

(5) 肉厚 16mm のスパイラル鋼管 API 5LS-X60 を製造し、素材として要求される特性、さらに鋼管としての特性に問題がないことを実際に確認した。なお、溶接部の靱性については各成分系ごとに詳細に調査するため、目下鋭意研究中である。

おわりに、極厚熱延コイルの製造に関しては、品質上の問題を考慮に入れた製造可能限界の確認を初めとして少なからぬ問題がまだ残っているが、これらについては今後一層の需要家の方々のご鞭撻、ご協力を得て積極的に取り組んでいきたいと考える。

参 考 文 献

- 1) 山本, 保坂, 飯田, 布川: 住友金属, **26** (1974) 3, 81
- 2) 西田, 加藤, 大橋, 森, 田中: 川崎製鉄技報, **6** (1974) 4, 61
- 3) 田中, 波戸村, 田畑: 川崎製鉄技報, **6** (1974) 4, 34
- 4) K. J. Irvine: Strong Tensile Structural Steel Proceeding of Joint Conf., Organized by BISRA and ISS, April (1967), 1
- 5) K. J. Irvine, T. Gradman, J. Orr and A. B. Rothwell: JISI, **208** (1970) 9, 717
- 6) 松原, 大須賀, 小指, 束田: 鉄と鋼, **58** (1972) 13, 1848
- 7) 清水, 武田, 梅本: 川崎製鉄技報, **5** (1973) 2, 263
- 8) 岡本, 浦山, 伊藤, 森田, 小川: 鉄と鋼, **61** (1975) 4, 250
- 9) W. E. Duckworth, R. Phillips and J. A. Chapman: JISI, **203** (1965) 11, 1108
- 10) H. Bartholot and H. Engell: Stahl u. Eisen, **91** (1971) 4, 204
- 11) Y. E. Smith, A. P. Coldren, R. L. Cryderman: Toward Improved Ductility and Toughness, Intern. Symp. Kyoto, (1971) 131
- 12) L. Luyckx, J. R. Bell, A. Mclean and M. Korchynsky: Metallurgical Transactions, **1** (1970) 12, 3341
- 13) J. L. Mihelich, J. R. Bell and M. Korchynsky: JISI, **209** (1971) 6, 469
- 14) E. J. Lichy, G. C. Duderstadt and N. L. Samways: J. Metals, **17** (1965) 769
- 15) 前川, 宮野, 島崎: 鉄と鋼, **58** (1972) 13, 1861