

河手 崇男^{*2} 片桐 忠夫^{*3} 増田 敏一^{*4} 高田 庸^{*5} 栗栖 孝雄^{*6} 大坪 宏^{*7}

Manufacturing and Characteristics of 13% Cr Stainless Steel Tubing

Takao Kawate, Tadao Katagiri, Toshikazu Masuda, Isao Takada, Takao Kurisu, Hiroshi Otsubo

要旨

13Cr アブセットチュービング 27/8"×6.5 lb/ft (API 5AC L-80) の製造実績をもとに、製造技術および品質特性について述べた。ビレットは、連铸材を用い、熱間加工性を改善するためS量を0.002%以下に抑えた。

マンネスマンプロセスで圧延する場合、ピアサーでの高穿孔効率圧延が管内外面欠陥の減少には必要とされ、アブセット加工においては、金型の潤滑性を上げることが重要である。このようにして製造された13Crチュービングは炭素鋼並みの寸法精度とAPI L-80グレードの規格を十分満足する機械的性質を有し、CO₂環境下では炭素鋼に比べ、格段の耐腐食性を示すことがわかった。

Synopsis:

The 13% Cr stainless steel tubing has been manufactured by rolling in the Mannesmann mandrel mill, upsetting and heat treatment in Chita Works, Kawasaki Steel Corporation. The billet has been made by continuous casting and rolling at the billet mill. Sulfur content of the billet is lowered to less than 0.002% to improve hot workability. High piercing efficiency of the billet is required for decreasing defects on the outer and inner surfaces of the tube. The groove design of the mandrel mill roll is improved to prevent sticking between mandrel bar and tube. In order to succeed in upsetting, lubrication between tube and upsetting tools is necessary.

The 13% Cr stainless steel tubing manufactured by the processes described above has dimensional accuracy similar to that for carbon steels and has mechanical properties satisfying the specification of API L80 Grade. Besides, the tubing exhibits corrosion resistance to CO₂ and brine environment and is useful for oil and gas wells containing CO₂ and brine.

1 緒 言

近年世界の石油および天然ガスの井戸の開発は深層化し、CO₂, H₂S, Cl⁻等により環境条件が悪化してきている。これらの油井用材料としては、従来の炭素鋼管および低合金鋼管では耐腐食性に問題があり、13Cr ステンレス鋼、2相ステンレス鋼および高Ni合金などの使用が増加している。

こうした世界的ニーズに応えるため、当社知多製造所においても昭和57年以来、13Cr ステンレス鋼のマンドレルミル圧延、アブセット技術および熱処理技術等の開発を行い、13Cr ステンレス鋼のアブセットチュービングの製造体制を確立した。

本報では、プレミアムジョイント素管 27/8"×6.5 lb/ft (API 5AC L-80) の製造実績を基に、製造技術、品質特性について述べる。

2 13Cr ステンレス鋼の開発ニーズと要求特性

現在掘削されている高深度の油井またはガス井は、CO₂, H₂S, Cl⁻濃度の増加と共に、腐食環境が厳しくなる。さらに以下のような問題のために、インヒビターの使用も限定され、腐食環境に依りて、9Cr 鋼、13Cr ステンレス鋼、2相ステンレス鋼およびNi基

合金の使用が増えてきている。

- (1) 井戸底温度の上昇によるインヒビターの分解
- (2) 海底石油ガス田におけるインヒビター注入による操業コストの増大

とくに、H₂S を含まず、CO₂, Cl⁻を含有するいわゆるスウィート環境に対しては、13Cr ステンレス鋼が十分な耐食性を有し、この鋼種は他の合金に比べて安価であるため、近年のその使用量の増加は著しい。

当社においても、耐CO₂腐食に優れた13Cr ステンレス鋼管をマンネスマンマンドレルミルで製造している。

油井用13Cr ステンレス鋼管に要求される特性の一例を、Table 1に示すが、75, 80, 95 ksi gradeの要求が多く、それぞれ耐SSC (sulfide stress cracking)の点から、硬さの上限値が規定される場合が多い。

3 13Cr ステンレス鋼の熱間加工性

マンネスマンマンドレルミル圧延工程は、穿孔、マンドレルミル圧延およびホットストレッチデューシングの3工程からなる。13Cr ステンレス鋼の圧延においては、穿孔工程での内面割れと管端割れおよびマンドレルミル圧延時のマンドレルバーと接触しないフランジ部の割れが問題になる。

^{*1} 昭和60年3月18日原稿受付
^{*2} 知多製造所第二造管部ステンレス管技術室主査 (掛長)
^{*3} 知多製造所管理部技術管理室
^{*4} 知多製造所管理部技術管理室主査 (掛長)

^{*5} 技術研究所第二研究部知多研究室主任研究員 (課長)
^{*6} 技術研究所第三研究部腐食防食研究室主任研究員 (課長)
^{*7} 技術研究所第二研究部厚板特殊鋼研究室主任研究員 (掛長)

Table 1 Mechanical and impact properties required for 13% Cr stainless steel O.C.T.G.

User	Grade	YS (ksi)	TS (ksi)	El (%)	Hard- ness (HRC)	Toughness (ft·lb)	
						avg.	min.
A	80	80~95	≥95	API Formula	≤23		
	85	85~100	≥100	API Formula	≤23		
B	13Cr-75	75~90	≥95	API Formula	≤22	30	23
	13Cr-80	80~95	≥95	API Formula	≤23	28	22
	13Cr-95	95~110	≥105	API Formula	≤26	25	20
C	L80 13Cr	80~95	≥95	API Formula	≤23		
D	80	80~95	≥95	API Formula	≤23		

穿孔工程においては、ビレットは左右1対の傾斜ロールとプラグにより回転しながら穿孔される。その場合、ビレットはプラグより先にロールと接触し、繰返し引張り圧縮加工を受けながら前進してプラグと接触する。したがって、熱間変形能の小さいビレットの穿孔時には、ビレットがプラグと接触するまでにその中心部に割れが発生し（マンネスマン効果と呼ばれている）、内面欠陥となる場合がある。この内面欠陥を防止するには、マンネスマン効果により割れが発生する以前に、プラグをビレットに接触させ穿孔を開始する必要がある。すなわちプラグの先進量を増加させる必要がある。しかしながら、プラグの先進量を大きくすると、噛み込み不良が発生するおそれがある。ビレットの外面部と中央部は、応力状態はもとより、熱履歴も異なる。外面部は、たとえば1250°Cに加熱された後、穿孔時には1170°C程度まで温度降下するが、内面部の温度降下は小さい。

一方マンドレルミル圧延時の圧延材の温度は900~1100°Cであるので、割れに起因する欠陥を低減させるためには、900~1250°Cの範囲における13Crステンレス鋼の熱間変形能を高める必要がある。

そこで、13Crステンレス鋼の熱間加工性を、高温引張試験と実験用ピアサーによるビレットのプラグなし空もみ圧延により調査した。高温引張試験は穿孔とマンドレルミル圧延時の13Crステンレス鋼の熱間変形能を評価するものであり、実験用ピアサーによる空もみ圧延は、マンネスマン効果に対する割れ抵抗性を評価するものである。

3.1 高温引張試験

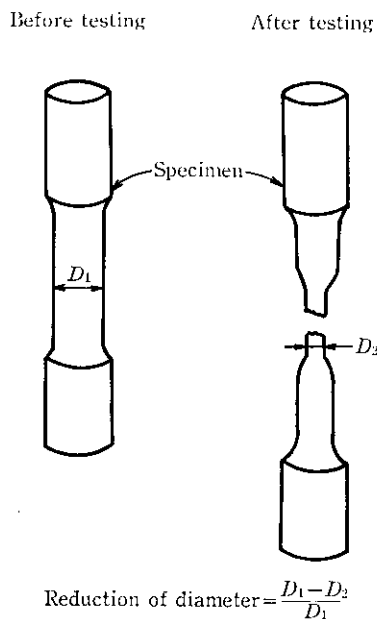
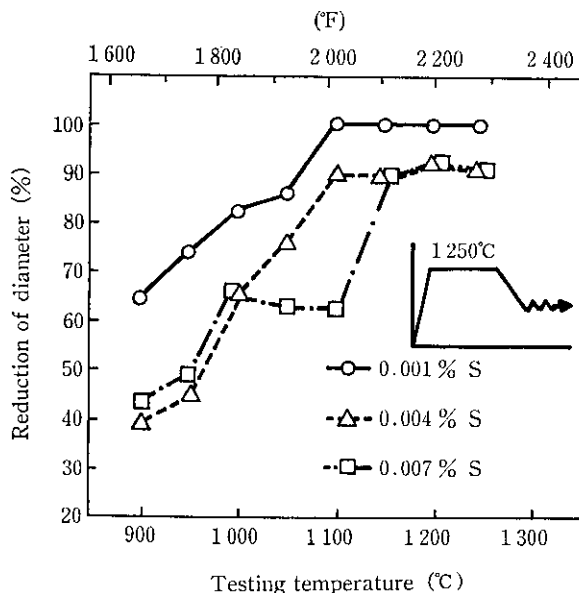
Table 2に示す代表成分の供試材を用いて、グリーン高温引張試験機により、熱間加工性を調査した。穿孔圧延時の熱履歴を考慮し、試験片をビレット加熱時に相当する温度に加熱した後冷却途中の各温度で引張った。試験片の形状は、**Fig. 1**に示すような中実のピースであり、破断前後の直径減少率により変形能を評価した。

熱間加工性に及ぼすS含有量の影響を**Fig. 2**に示す。S量の低下とともに熱間加工性は著しく向上し、S量が0.001%となると、1000°C以上では、炭素鋼と同等の熱間加工性を示す。S量の高い材料では、高温に加熱した際に固溶した硫化物が冷却過程で粒界に析出するため、熱間加工性が著しく悪くなると言われている¹⁾。

熱間加工性に及ぼす加熱温度の影響を**Fig. 3**に示す。加熱温度は低い方が、熱間加工性が良いことがわかる。これは、加熱温度が高い程、加熱前にMnおよびFeの硫化物として存在しているSの

Table 2 Standard chemical compositions of 13% Cr stainless steel

	(wt %)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N
13% Cr	0.20	0.50	0.60	≤0.020	0.001	—	13.0	—	0.025

**Fig. 1** Measurement of the O.D. reduction in the hot tensile test**Fig. 2** Effect of S-content on hot workability of 13% Cr stainless steel

再固溶量が増加するためである。

歪速度の影響を**Fig. 4**に示す。歪速度が速い方が熱間加工性が悪いことがわかる。

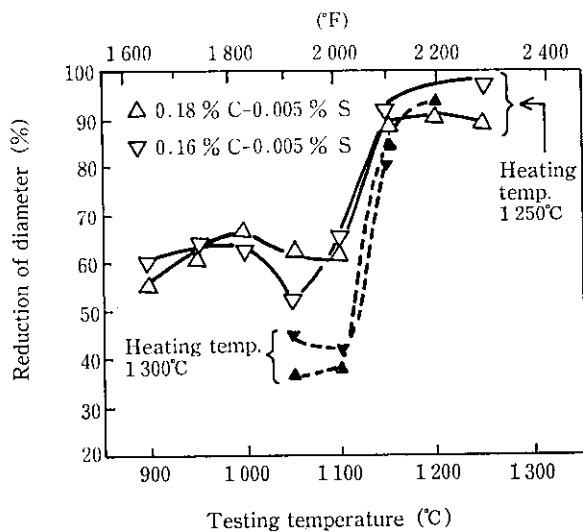


Fig. 3 Effect of heating temperature on hot workability of 13% Cr stainless steel

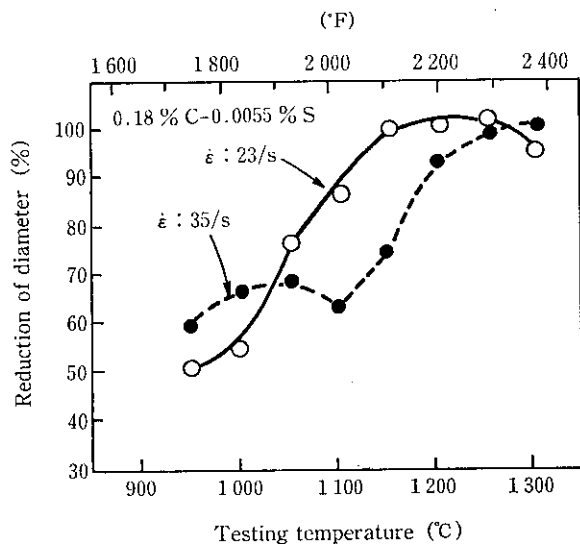


Fig. 4 Effect of strain rate on hot workability of 13% Cr stainless steel

3.2 マンネスマン効果調査

実験用ピアサーによるビレットの空もみ圧延におけるその中心部の割れ発生限界圧下率を Fig. 5 に示す。S 量が減少するにしたがい、限界圧下率が大きくなり、S 量が 0.001% のときには、ドラフト率（ビレット圧下率）を 14% 程度まで上げることができる。このため、プラグ設定位置に関する自由度が大きくなり、穿孔が容易になる。

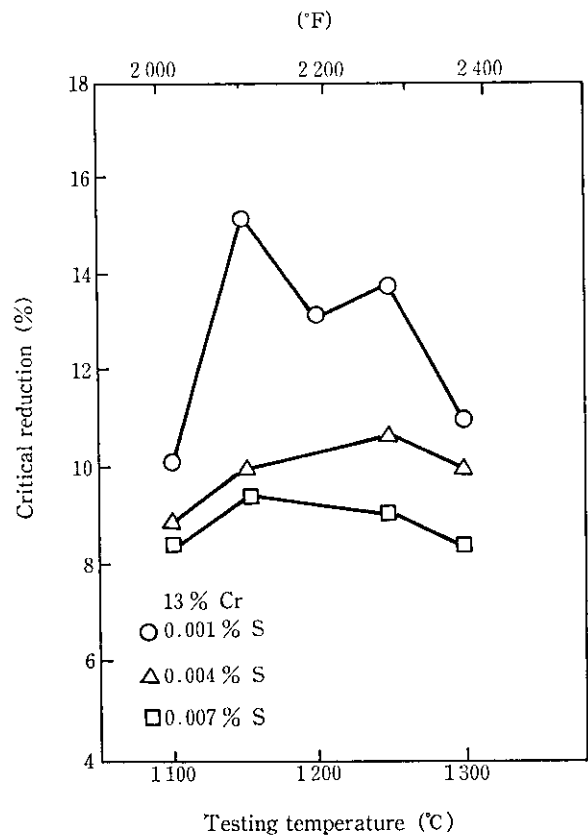


Fig. 5 Critical reduction to Mannesmann effect of 13% Cr stainless steel

4 実管製造技術

4.1 製造プロセス

4.1.1 ビレットの製造

13Cr ステンレス鋼のビレット製造工程を Fig. 6 に示す。この材料の化学組成は Table 2 と同様である。上記の熱間加工性に関する基礎調査の結果に基づき、S 量を著しく低減させている。シームレス鋼管用の丸ビレットの製造には、連铸材を使用した。加熱条件およびローリングスケジュールは前節で述べた熱間加工性に関する基礎的知見より決定した。オーステナイトからマルテンサイトへの相変態による割れを防止するため、圧延後ビレットの徐冷を実施した。

4.1.2 油井用 13Cr ステンレス鋼管の製造

Fig. 7 に 13Cr アプセットチュービングの製造工程を示す。

丸ビレットを、小径シームレス管工場マンドレルミルで穿孔、圧延した後、 A_{c1} 点以下の温度で焼鈍し、超音波探傷検査を実施し

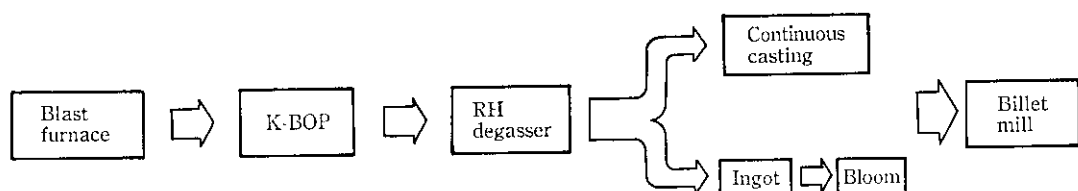


Fig. 6 Manufacturing process of 13% Cr billet

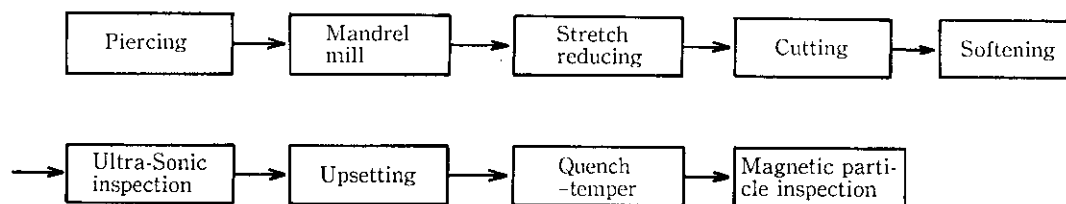


Fig. 7 Manufacturing process of 13% Cr upset-tubing

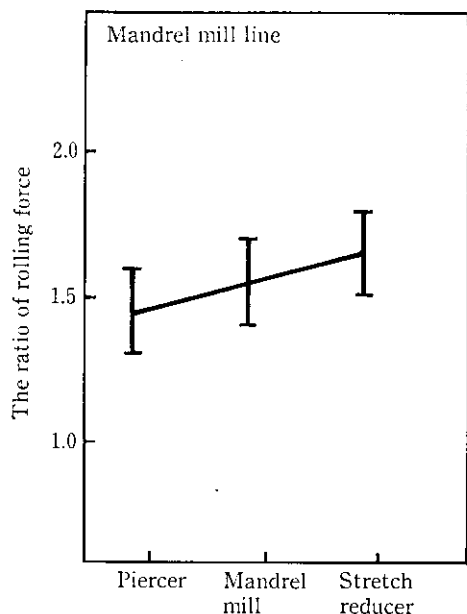


Fig. 8 The ratio of rolling force of 13% Cr stainless steel to that of 0.25% C steel

た。検査に合格したパイプに、アプセット加工を施し、その後焼入れ焼戻し処理を行った。

4.2 圧延技術

13Cr ステンレス鋼をマンネスマンマンドレルミルにより製造する場合、最も問題となるのは、管内外面に発生する疵であり、これらは、通常の炭素鋼と比較して 13Cr ステンレス鋼の熱間変形能が低く、逆に熱間変形抵抗が高いことに起因する。前述のように熱間加工性の改善のために S 量を著しく低減させているが、変形抵抗の高いことによる問題は残されている。

ここでは、操業時に得られた知見を基に圧延上の問題点とその対策について述べる。

4.2.1 圧延負荷

13Cr ステンレス鋼は、熱間変形抵抗が炭素鋼のその 1.5 倍程度であり、各圧延機での圧延反力も大きくなる。13Cr ステンレス鋼の圧延反力をミルごとに、0.25% 炭素鋼のそれと比較して Fig. 8 に示す。薄肉材を圧延する場合、マンドレルミルの圧延荷重が増加するほか、マンドレルバーのストリッピング性が著しく悪化する。これは、炭素鋼に比べベッセルがタイトになり易いため、これについてはマンドレルミルロールカリバーの改善により対処した。

一方、厚肉材の場合には、ストレッチリデューサーでの所要動力により、その上限が決定される。各ミルでの負荷と各ミルの能力との関係から得られた当社の 13Cr ステンレス鋼管の圧延可能範囲を Fig. 9 に示す。

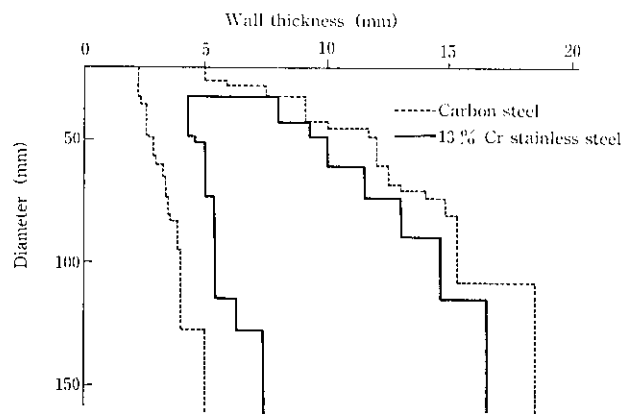


Fig. 9 Available size

4.2.2 ピアサー工具寿命

マンドレルミルで製造される 13Cr ステンレス鋼管の表面性状にはピアサーの穿孔条件およびプラグとガイドシュアの材質が大きな影響を与える。

(1) プラグ

13Cr ステンレス鋼の圧延にあたっては、その高い変形抵抗のために穿孔効率が炭素鋼に比べ低い。この高い変形抵抗および低穿孔効率圧延による穿孔時間の延長によりプラグ表面の損耗が著しい。プラグの損耗度を低減させるには、その形状改善もさることながら、高温強度にすぐれた材質の開発が必要である。高温強度を高めることを目的として、W, Co, Nb など固溶強化型の合金元素を添加した実験プラグを試作し、穿孔摩耗試験に供した。その結果が Fig. 10 である。合金元素の添加により、高温強度が格段に向上している。実機操業では、Fig. 10 の成分系 2 のものを使用した。穿孔時間 10s 以下なら、ビレット 2 本圧延後でもプラグ表面に異常は見られなかった。

(2) ガイドシュア

炭素鋼と比較した場合、13Cr ステンレス鋼の穿孔に際しては、上記の高い変形抵抗と穿孔効率の低下に加えて、被穿孔材の外表面のスケール組成の差によるガイドシュアの損耗およびガイドシュアへの焼き付きが生じ易い。これはシュアマークと呼ばれる外面欠陥の原因となるだけでなく、ガイドシュアの交換頻度を高めて生産性を大きく阻害する。こうした焼き付き現象を防止するために、ダクタイル鋳鉄シュアが用いられる。ダクタイル鋳鉄シュアは、シュア中に含まれる球状黒鉛の潤滑効果により耐焼き付き性に優れている。しかし、高温強度に問題があり、シュア摩耗が著しく、穿孔本数の増加とともに穿孔効率が低下するため、やはり早期交換が必要である。

4.2.3 表面欠陥

13Cr ステンレス鋼圧延時、外表面欠陥で最も多いものは、管長手方向に直線状に発生する割れであり、内表面については、カブレ

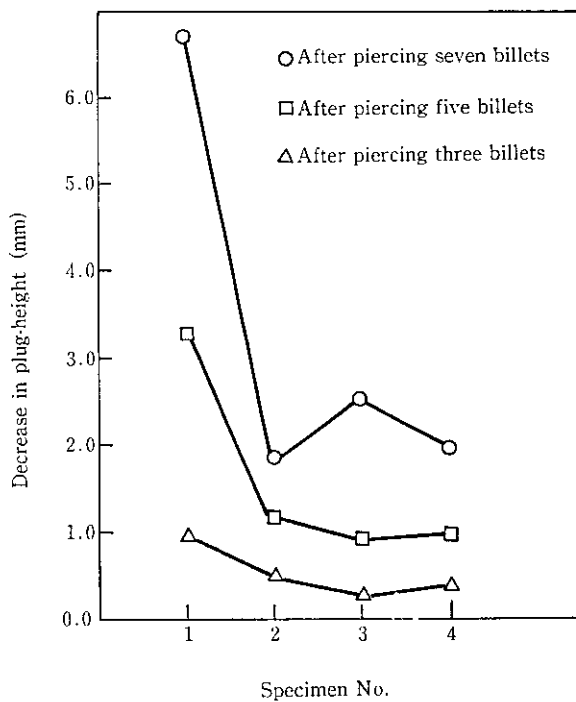


Fig. 10 Effect of chemical composition on wear-resistance in model piercing mill

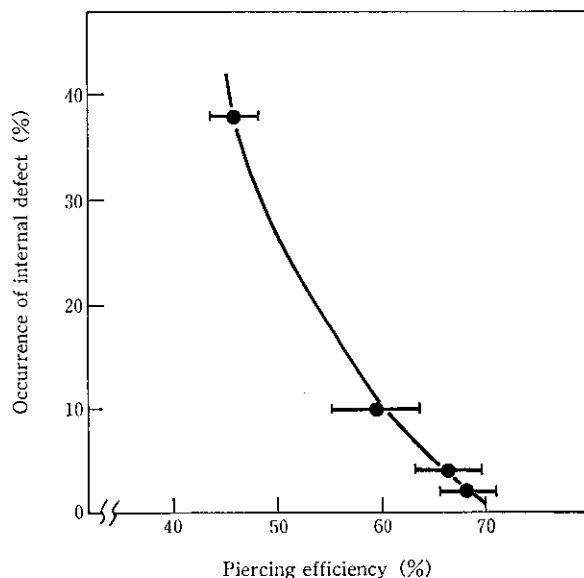


Fig. 11 Effect of piercing efficiency on internal defect

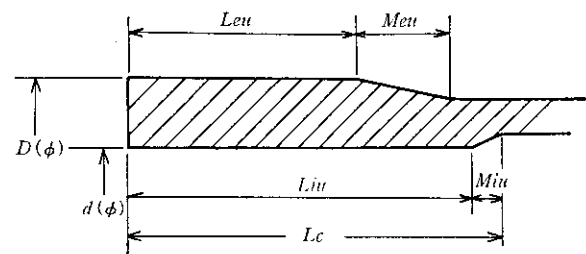
状の欠陥が最も多い。外面割れの発生は、低穿孔効率圧延のために高い頻度の繰返し剪断変形を受けることによると考えられる。

この低効率圧延の影響は、内面性状にも悪影響を与える。穿孔効率の低下とともに、ビレットの空もみ回数が増加するため、Fig. 11に示すように、内面カブレ発生頻度が増加する。ピアサーにおける穿孔効率を高めることが高Cr鋼を圧延する上できわめて重要な条件と言える。

4.3 アプセット技術

4.3.1 アプセット形状

Fig. 12 に今回製造した 13Cr チュービングのアプセット形状を



	(mm)	
	Long upset	Standard upset
L_{cu}	≥ 149	≥ 101.6
L_{lu}	≤ 274.8	≤ 224.0
L_c	≤ 304.8	≤ 254.0
M_{cu}	≥ 28.58	
D	84.33~87.50	
d	55.44~58.67	

Fig. 12 Dimensions of upset-end

示す。本物件は、全増肉率が 177% のヘビーアプセット品であり、かつアプセット部の長さは通常の規格品に比べ、2 インチ程度長い。このため、管端加熱部を長くする必要があり、座屈に対して不利である。このようなアプセット加工は非常に難しいことが予想された。

4.3.2 アプセット上の問題

ヘビーアプセット品の加工において、品質に影響を及ぼす要因として以下に述べる 3 項目が挙げられる。

(1) 1 ショット当りの増肉率

加熱長さが長く、かつ難加工材であるという点から 1 ショット当りの増肉率を 30% 程度抑えてアプセットした。加工スケジュールは 3 ヒート 4 ショットである。

(2) パイプ加熱温度

Fig. 3 の高温引張試験結果によると、1150°C 以下で加工性が著しく劣下する。そこで加熱温度は、金型内搬入時の管端温度で 1150°C 以上を目標とした。

(3) 金型潤滑

ヘビーアプセット、特に 13Cr ステンレス鋼のアプセットにおいては、金型潤滑の良否が非常に重要である。これは、管端から加えたアプセット荷重を、パイプと金型との摩擦力によってその大部分を吸収されることなく、材料全体の変形に寄与させる必要があるためである。

高温加工用潤滑剤として現在最も有効なものは黒鉛であるが、単に通常用いられている水で稀釈した黒鉛を塗布しただけでは十分な潤滑性能は得られない。その潤滑性能を十分に発揮させるには、金型に塗布した時点で潤滑液の水分が蒸発し、金型表面に強固な黒鉛被膜を形成させねばならない。そのためには塗布前の金型温度の調整が必要である。表面に有効かつ強固な潤滑膜が形成される最適金型温度を見出すため、潤滑剤塗布時の金型温度と摩擦係数の関係を摩擦試験機を用いて調べた。なお、使用した潤滑剤は水溶性黒鉛である。Fig. 13 に示すように、塗布温度 150°C 近傍に摩擦係数

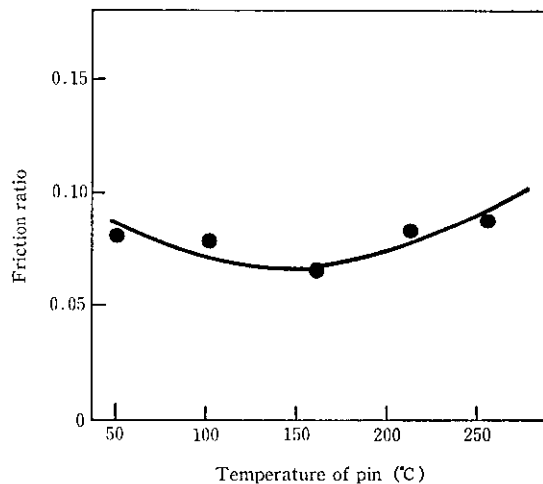


Fig. 13 Effect of temperature on friction ratio between pin and V block

が最も小さくなる点がある。そこで、実操業では、金型の予熱を行い、最適金型温度を確保した。

5 品質特性

今回製造した、13Cr アブセットチュービング 27/8"×6.5lb/ft (API 5AC L-80) の品質特性を以下に示す。

5.1 寸法形状

Fig. 14 に各チューブの外径、肉厚および断面偏肉量の分布を示す。すべて API 規格を十分に満足しており、通常の炭素鋼油井管と同じレベルである。

5.2 機械的性質

実機設備における焼入れおよび焼き戻し処理条件を決定するために、実験室テストにより 13Cr ステンレス鋼の焼き戻し後の引張特性を調査した²⁾。焼入れ条件は、すべて 970°C 30 分保持後空冷であり、この条件では、焼入れ後の組織はほとんどマルテンサイトである。Fig. 15 に炭素鋼の焼戻し時に用いられている焼戻しパラメータと引張特性の関係を示す。焼戻しパラメータを 19 400—20 100 の範囲に管理すればよいことがわかる。実験室での試験結果に基づき、13Cr ステンレス鋼の強度をその化学組成と焼戻しパラメータから推定する方式が得られた。そのうち引張強さの推定式を (1) 式に示す。

$$\begin{aligned} \text{Calculated tensile strength} = & 3.416 \sqrt{C+N} \times (T.P.)^2 \\ & - 145.6 \sqrt{C+N} \times (T.P.) + 1642 \sqrt{C+N} + 3.2Ni \\ & + 5.7(Si-0.5) + 33.1 \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$T.P. (\text{tempering parameter}) = T(20 + \log t) \times 10^{-3}$$

T: 温度 (K)

t: 焼戻し時間 (h)

Fig. 16 に示すように (1) 式から求めた推定値と実工程における実測値はよく一致する。

実工程における焼入れ焼戻し処理によって得られた降伏強度および引張強度を Table 3 に示す。アブセット部と母材部の間に強度の差はなく、いずれも API 5AC L-80 の規格を十分に満足している。また、Fig. 17 に管長手方向の硬度分布を示す。アブセット部でやや硬度が高いものの、すべて HRC<23 を満足しており問題はない。

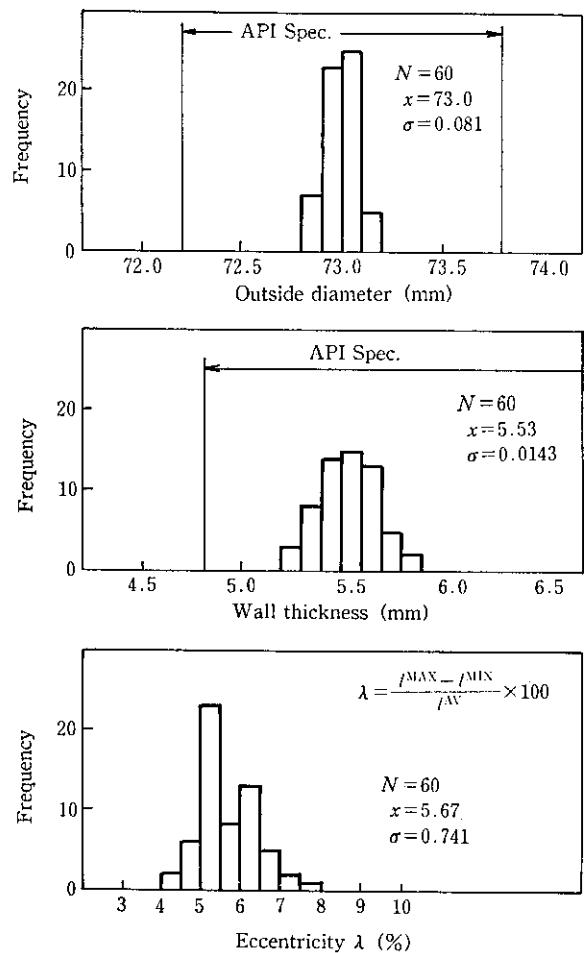


Fig. 14 Frequency distribution of pipe dimensions of 13% Cr steel (tube size: 73.0 mmφ × 5.51 mm)

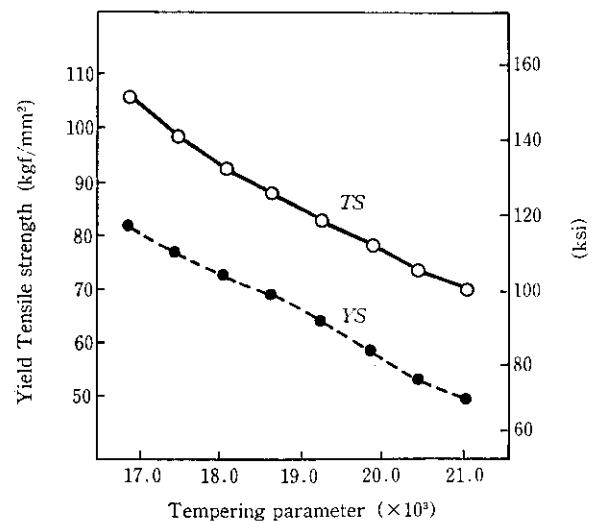


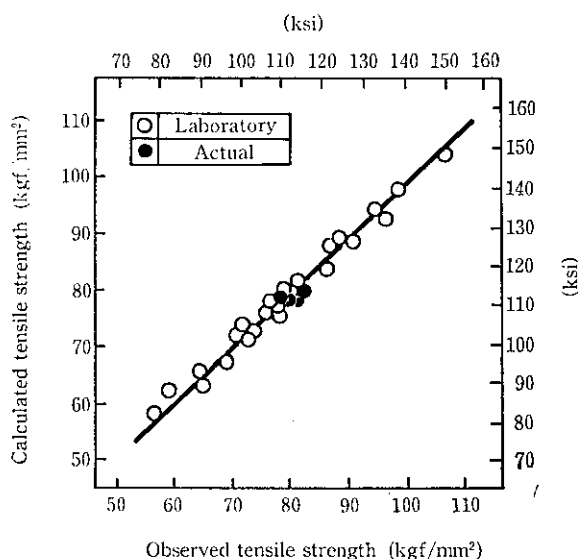
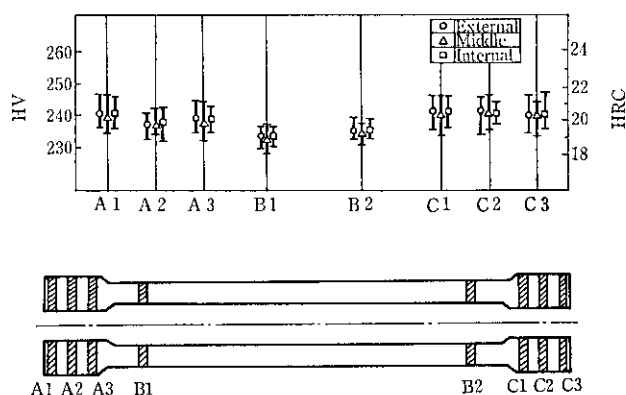
Fig. 15 Relation between tempering parameter and mechanical properties of heat treated 13Cr stainless steel

5.3 耐腐食特性

油井管、あるいはラインパイプ等の使用環境の中で、耐腐食性に大きな影響を与える因子としては、① 油井温度、② CO₂ 濃度、③ Cl⁻ 濃度、④ H₂S 濃度等が考えられる。ここでは、13Cr ステンレス鋼の耐食性について炭素鋼と比較しながら、温度、CO₂ 濃

Table 3 Production results of tensile properties of KO 13CR-80 ($2\frac{7}{8}'' \times 6.5 \text{ lb/ft}$)

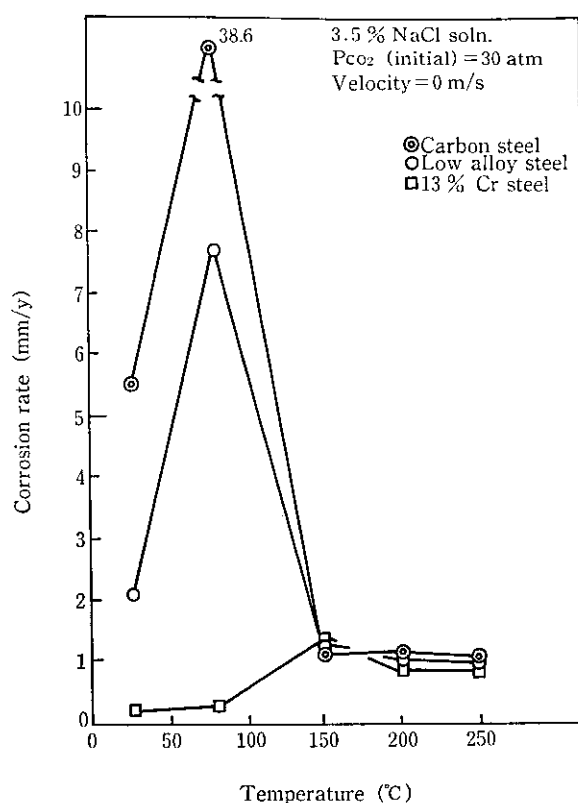
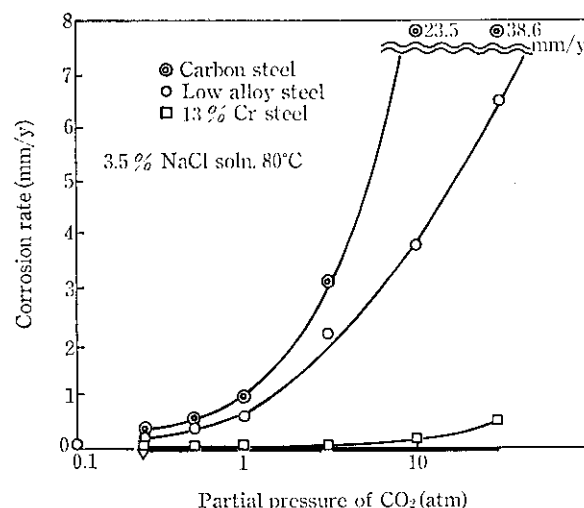
	n	Yield strength (ksi)		Tensile strength (ksi)		Elongation (%)		Yield Ratio (%)	
		$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Pipe body	10	86.0	0.91	108.5	1.07	42.5	4.80	79.5	0.53
Upset part	18	86.9	2.93	110.6	1.99	33.7	1.86	78.6	1.99

**Fig. 16** Comparison between observed tensile strengths of heat treated 13Cr stainless steel and calculated ones**Fig. 17** Production results of hardness distribution of KO 13 CR-80 ($2\frac{7}{8}'' \times 6.5 \text{ lb/ft}$)

度の影響について示す。Fig. 18 に 30 atm の P_{CO_2} および 3.5% の NaCl 溶液中での腐食速度におよぼす液温の影響を示す。常温から 100°C までの温度域において、13Cr ステンレス鋼の腐食速度は炭素鋼および低合金鋼のそれらに比べ著しく小さい。しかし、150°C 以上の温度域では、13Cr ステンレス鋼の腐食速度と炭素鋼および低合金鋼のそれらとの差はなくなる。

炭素鋼あるいは低合金鋼が 100°C 以上の高温で腐食速度が低下するのは、鋼表面に安定なマグネタイトあるいは炭酸鉄のような皮膜が形成されるためである。

次に、80°C の 3.5% NaCl 溶液中における腐食速度におよぼす

**Fig. 18** Effect of temperature on the corrosion rate under 30 atm of CO_2 **Fig. 19** Effect of CO_2 partial pressure on the corrosion rates at 80°C

CO_2 分圧の影響を Fig. 19 に示す。炭素鋼、低合金鋼の腐食速度は、 CO_2 分圧の増加とともに、指数関数的に増大するが、13Cr ステンレス鋼のそれは、ほとんど CO_2 分圧の影響を受けない。一般に、 H_2S を含む環境中で材料が、その耐力に比較して非常に低い応力で破壊する場合は、硫化物応力腐食割れ (SSC) と呼ばれ、良く知られている³⁾。油井が深くなるにしたがい、環境中に H_2S が含まれるようになり、この場合、耐 SSC に優れた材料の選択が重要になってくる。80°C 15% NaCl 溶液中における 13Cr ステンレス鋼の耐 SSC 性におよぼす H_2S 濃度の影響を Fig. 20 に示す。13Cr ステンレス鋼は、 H_2S 濃度の増加とともに低応力で割

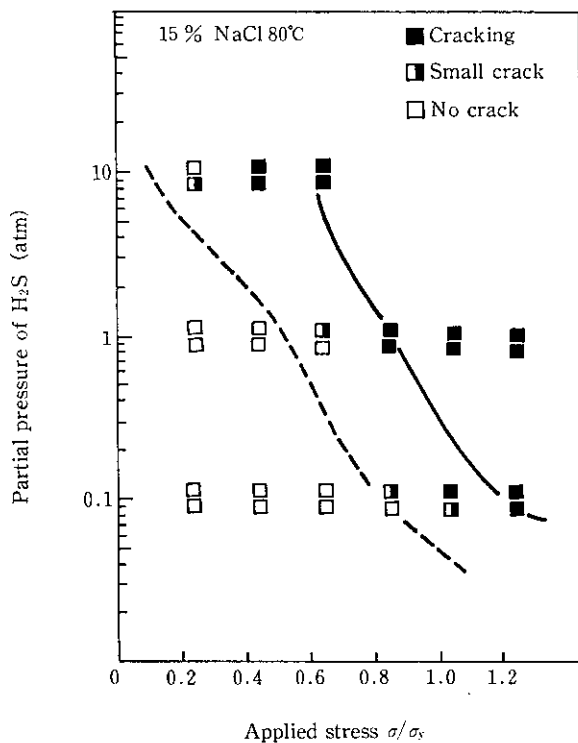


Fig. 20 Effect of applied stress and partial pressure on the SCC susceptibilities at 80°C

れが生じており、H₂S を含む環境では、その使用が制限される。

6 結 言

今回製造した 13Cr アブセットチュービング 27/8"×6.5lb/ft (API 5AC L-80) の製造実績をもとに、13Cr ステンレス油井用鋼管の製造技術および品質特性について得られた結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 製造技術

- (a) 13Cr ステンレス鋼をマンネスマンプロセスで圧延する場合、穿孔工程でトラブルを生じさせないことが重要であり、製品の内外面キズを減少させるには、高穿孔効率圧延が必要である。
- (b) 13Cr ステンレス鋼穿孔時のプラグおよびガイドシュアの損耗は、炭素鋼穿孔時に比べ著しい。プラグに関しては材料の高温強度の改善、ガイドシュアに関してはダクタイル铸铁シュアの使用などで改善が図れる。
- (c) アブセットに関しては金型の潤滑向上が必要であり、そのためには潤滑剤塗布時の金型温度の適正な管理が必要である。

(2) 品質特性

- (a) 炭素鋼並みの寸法精度は十分満足することができる。
- (b) 実験室試験より得られた強度の推定式は、実工程における焼入れ・焼戻し後の強度を予測することができ、これに基づき決定された焼入れ・焼戻し処理を施した 13Cr ステンレスチュービングの強度は API L-80 規格を充分満足している。
- (c) 100°C 以下で CO₂、Cl⁻ を含む、H₂S を含まない環境下での 13Cr ステンレス鋼の腐食速度は、炭素鋼、低合金鋼に比べて著しく小さい。この環境下での炭素鋼および低合金鋼の腐食速度が CO₂ の増加とともに指数関数的に増大するのに対し、13Cr ステンレス鋼のそれは、CO₂ 分圧の影響をほとんど受けない。

参 考 文 献

- 1) 鈴木洋夫: 「高温変形と高温破壊」, 鉄鋼基礎共同研究会高温変形部会第3回シンポジウムテキスト, p. 118
- 2) 片桐忠夫, 河手崇男, 高田 庸: 鉄と鋼, 70 (1984) 13, S 1381
- 3) H. Kurahashi, T. Kurisu, Y. Sone, K. Wada, Y. Nakai: "Stress

Corrosion Cracking of 13Cr Stainless Steels in CO₂-H₂S-Cl⁻ Environments", Corrosion 84 Forum, NACE, New Orleans (USA), April (1984)