

延設備を京橋工場に移設して、京橋工場において各品種各サイズの一貫生産を可能ならしめる態勢をとるとともに同時に全連続式のものに改造すべくその準備を着々と進めておりました、この計画は絶対に成功するという確信を持っております。

Fig. 5 はその予定配置図であります。

なおまた線材圧延機をもこれを全連続式に改良してさらに高能率のものとし、かつ品質の向上を図って今後の業界の生産合理化の線に沿って行きたいという考えを持っております。

以上非常に簡単ではありますが当社の圧延機についてその経過の概要と私の考え方および抱負を申しのべました。最後に関係各官庁、鉄鋼協会および業界各位の御高

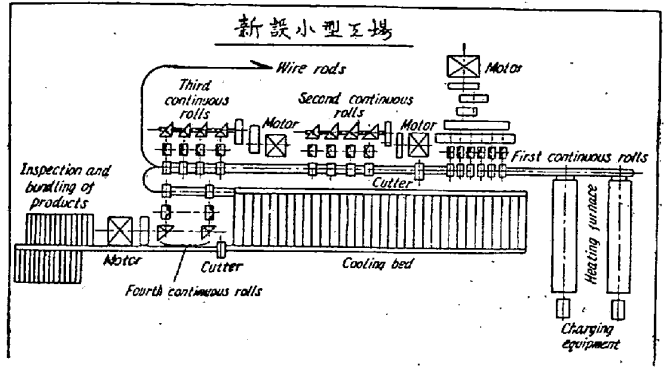


Fig. 5. The new small sections plant.

配と御指導を深謝して筆をおきたいと存じます。

(昭和 31 年 5 月寄稿)

特殊鋳鋼ロールその他二、三の特殊鋼製品の問題について*

山 本 信 公**

PROBLEMS OF CAST ALLOY STEEL ROLLS AND SOME OTHER ALLOY STEEL PRODUCTS

Nobutaka Yamamoto, Dr. Eng.

Some improved methods have been established recently in Japan with reference to manufacturing of cast alloy steel rolls, built-up and back-up rolls, main steam pipes for high temperature and high pressure boilers and heat resistant high alloys for gas turbines. The purpose of the present paper is to describe the engineering technique for manufacture of these products of alloy steels covering important processes from melting to inspection.

I. 前 言

最近日本においても製造されるようになった特殊鋳鋼ロール、バック・アップ・ロール・スリーブ、高温高压用大径鋼管、タービン・ローターについて、その製造上の諸問題をのべて、最近の特殊鋼製造技術の動向を紹介する。

II. 特殊鋳鋼ロールについて

1. 材 質

一般にロールに対し要求される諸性質を要約すると、

- (1) 強靱性
- (2) 耐磨耗性
- (3) 耐熱性 (熱割)

であるが、かかる諸性質を満足させるために最近、鋳鋼ロ

ールの材質は普通鋼より合金鋼へと進んでいる。Table 1 に現在主として用いられているロール材質を例示する。

2. ロール材質と圧延使用成績

普通鋼ロールと特殊鋳鋼ロールとの圧延成績の比較例を Fig. 1 (分塊ロールの場合)、Fig. 2 (帯鋼粗ロールの場合) に示したが、高炭素特殊鋳鋼ロールは普通鋼ロールに比し数段すぐれた成績を示している。

3. 鋳鋼ロールに発生する欠陥

上述のごとく、ロール材質は普通鋼より合金鋼へと進んでいるが、かかる高炭素合金鋳鋼ロールは普通鋼に比し、鋳造欠陥が発生し易い。

* 昭和 31 年 4 月本会講演大会における特別講演

** 住友金属工業株式会社技師長工博、日本鉄鋼協会第 18 回渡辺賞牌受領者

Table 1. Chemical composition of steel cast Roll.

	Chemical composition					
	C	Mn	Ni	Cr	Mo	
Plain steel	*.30 ~.80	*.30 ~.60	—	—	—	
Alloy Steel	Cr-Mo	*.60 ~1.20	*.60 ~.80	—	*.30 ~1.20	*.20 ~.50
	Ni-Cr-Mo	*.60 ~1.20	*.60 ~.80	*.40 ~1.00	*.80 ~1.20	*.20 ~.50
	Hc-Cr-Mo	1.20 ~2.60	*.60 ~.80	—	*.80 ~1.20	*.20 ~.50
	Hc-Ni Cr-Mo	1.20 ~2.60	*.60 ~.80	*.40 ~1.20	*.40 ~1.00	*.20 ~.50
	H-Ni Cr-Mo	*.60 ~1.20	*.60 ~1.00	1.00 ~3.00	*.80 ~1.20	*.20 ~.50

清浄な熔鋼を得る必要がある。このためには、良質のスクラップを使用し P, S を下げ、十分な精錬を行い脱酸を完全に行うとともに還元精錬時 H₂ ガスの吸収なきよう留意する必要がある。また、出鋼温度、铸込温度の調整には十分留意し reladle を行い温度調整する場合がある。

5. 铸造

上述の铸造欠陥を防止するための铸造上の最大要諦は「ロールの底部より順次凝固を進めて、押湯が最後に凝固するようにすること」であり、この原則を铸造方案に生かすことが必要である。

(1) 铸込法 (頭注法と底注法)

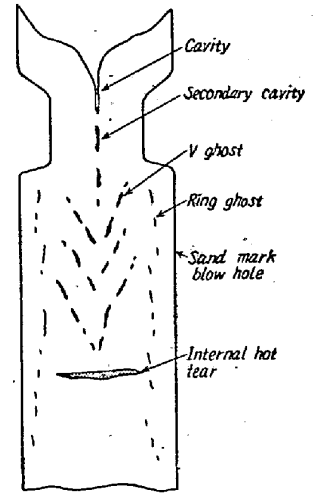


Fig. 3. Defects of cast steel roll.

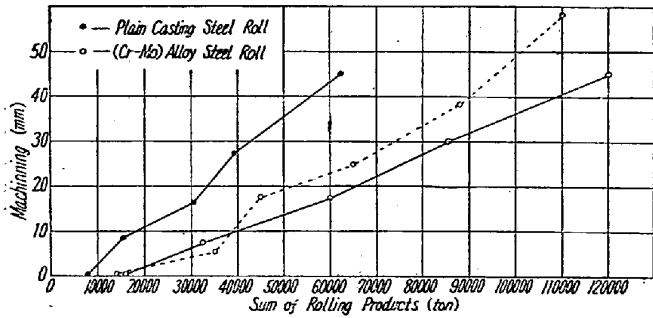


Fig. 1. Relation of rolling products and roll materials of blooming mill.

一般に铸鋼ロールには、Fig. 3 に示すようなゴースト、巣、砂噛、内部高温亀裂 (hot tear) 等の欠陥が発生するが、かかる欠陥を防止するためには製鋼、铸造熱処理の各作業を入念に行う必要がある。

4. 製鋼

ゴースト、砂噛、巣、内部亀裂を防止するためには、

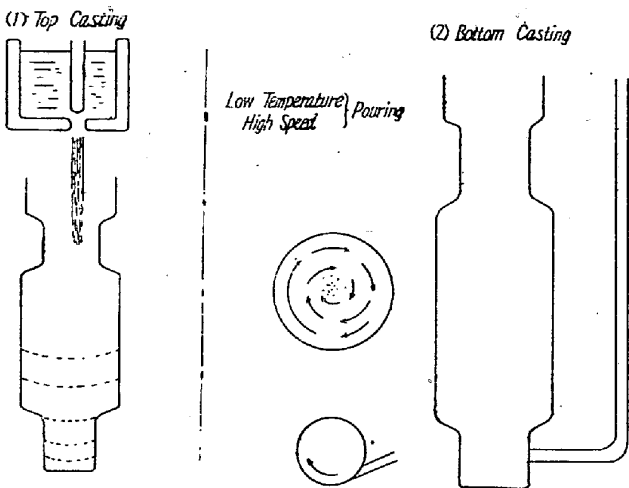


Fig. 4. Method of roll casting.

Fig. 4 (1) に示すようにロール頭部より非常に長い時間をかけて頭注することはロール底部より凝固を進める上では理想的な方法であるが、この方法ではロール表面に砂疵その他の欠陥が発生し易いという一大弱点があり、現在この方法は余り採用されていない。

したがって铸込法としては Fig. 4 (2) に示す底注法を採らざるを得ないが、しかし、この場合問題となることは

a) 熔湯中に入ったゴミをロール表面に運ばずに押湯までもち上げてやる必要がある。このためには湯を廻転しながら上昇させ、ゴミを廻

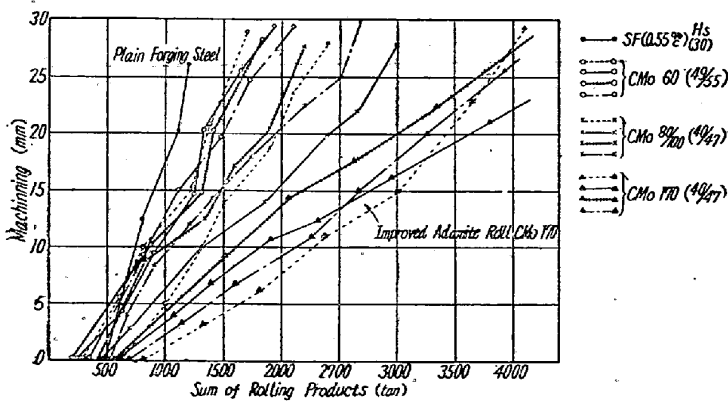


Fig. 2. Relation of rolling products and roll materials of strip mill.

転渦の中央にもたせながら、押湯まで上げてやる必要がある。

b) 底注法の最大欠陥である底部より頭部への温度勾配の不具合を最小限度にする必要がある。このためには低温・高速鋳込が必要となる。

(2) 鋳造方法

底注法の場合、とくに大型ロールは上述の理想的な温度勾配が得られ難いため、ロール内部の凝固の遅れる箇所に内部高温亀裂の発生する危険がある。

この防止法として鋳造法に種々の工夫が行われている。

a) 砂型法

最も一般的な方法として Fig. 5 に示すように全部砂型で製型する方法であるが、この方法ではロール胴部の凝固が遅れ、前述の温度勾配がわるくなる欠点があり、大型ロールには適用されない。

b) 外冷し法 (鉄レンガ式、タイヤ式、金型式)

砂型式の欠点を補うため、ロール胴部ならびに底部に鉄レンガを用い、該部の凝固を促進させる方法である。(Fig. 6) この方法の一種として鉄レンガの代りに胴部に鉄製円環(タイヤ)(Fig. 7) あるいは金型 (Fig. 8) を用う方法もある。

この方法は前述の砂型式よりは温度勾配の点でよい結果が得られるが、しかし、とくに大型ロールの場合にはこの方法では不十分である。

c) 内冷し法 (冷硬棒式、竹箒式、水冷管式)

凝固の遅れるロール胴部の凝固を促進させるためにロール内部より冷す方法として Fig. 9 の冷硬棒式あるいは Fig. 10 に示す丸棒を樹枝状に組んだもの(竹箒式と仮称する)が使われることがある。かかる方法とおなじ目的で Fig. 11 に示すように水冷管をロール内部に通す方法とがある。

d) 鋼球投入法

この方法は Fig. 12 に示すように積極的にロール内部に冷たい鋼球を投入することによつてロールの凝固を人為的に調整せんとする方法で、この場合、投入時期、投入間隔、投入ボールの大きさ等が問題となる。

(3) その他の鋳造上の問題

鋳造法の他にも鋳造上諸種の問題があるが、とくに鋳物砂については入念な検討が必要である。すなわち、ロールのごとき大きな容量のものはその凝固完了までには長い時間がかかるが、その間の湯の圧力、温度に耐える

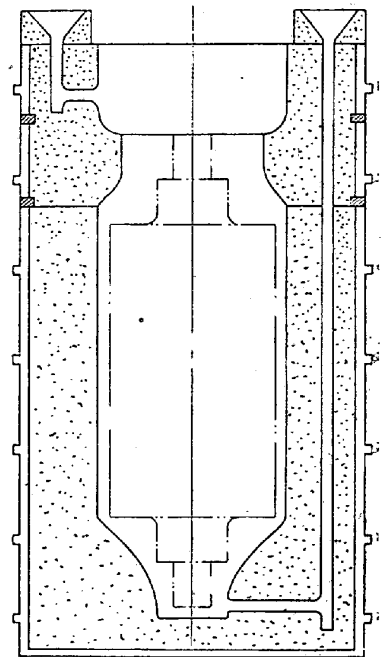


Fig. 5. Sand mold type.

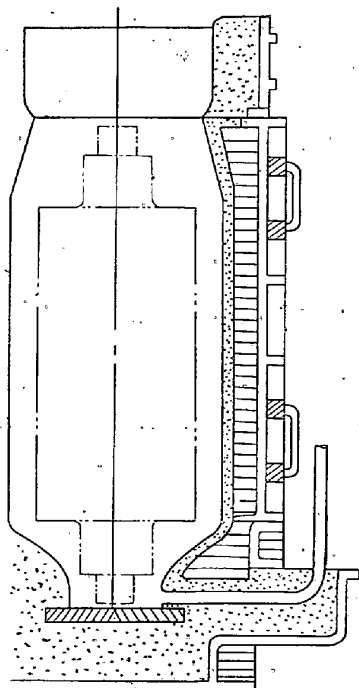


Fig. 6. Iron brick type

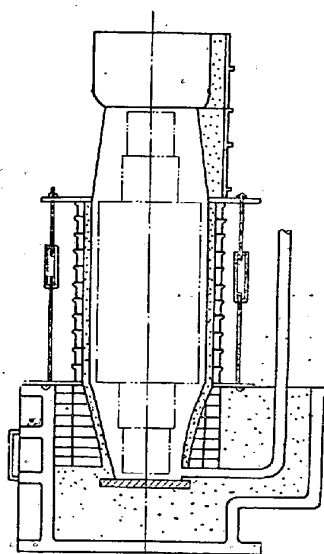


Fig. 7. Tyre mold type

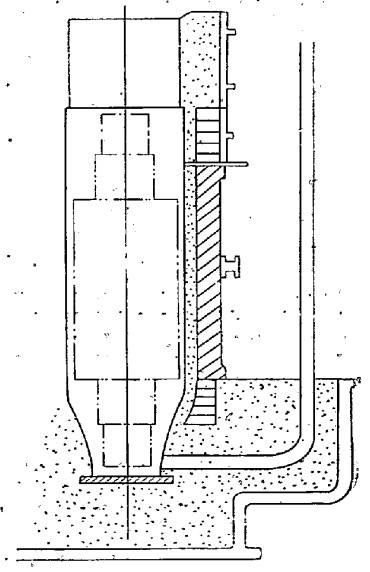


Fig. 8. Chill mold type

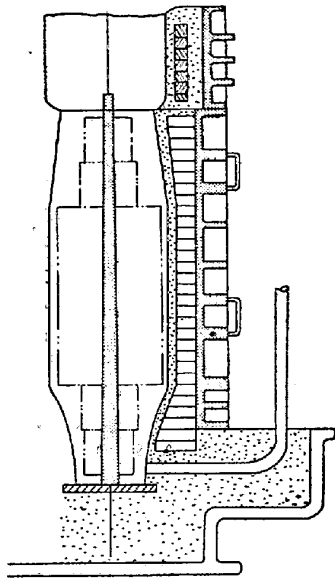


Fig. 9. Internal chill type (Steel bar)

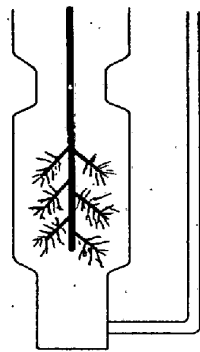


Fig. 10. Internal chill type (broomy bar)

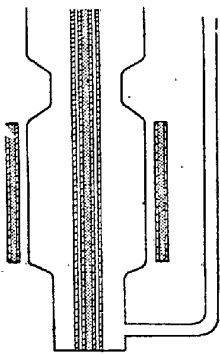


Fig. 11. Water cooling type.

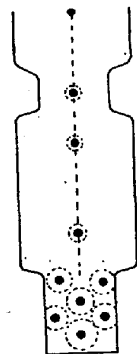


Fig. 12. Manipulating freezing process

ために抗圧力の高い、耐火度の高い鑄物砂でなければならない。とくに焼着に対し考慮する必要がある。

かかる要因を解決するためには砂粒の細かいものを必要とするが、この場合必然的に通気度が低下するので、その対策を講ずる必要がある。

6. 熱処理

ロールの熱処理はその圧延使用条件を十分吟味してその方案を樹てる必要がある。すなわち、ロールの使用条件によつては強靱性よりは耐磨耗性を第一義にする場合と熱割防止を第一義とする場合あるいは強靱性を第一義とする場合とがあり、その条件に応じて熱処理方案を吟味する必要がある。

一般に炭素量を高めることによつて、耐磨耗性は向上し、その抗張力は高まるが、しかし高炭素鋼域においては切欠けに対する鋭敏性が、その球状化の良否によつて著しく異なることを発見した。すなわち Fig. 13 に示

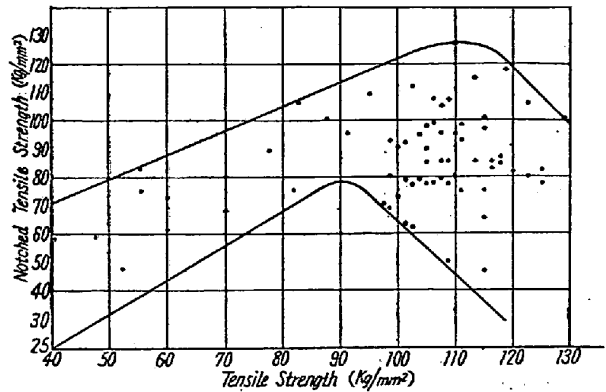
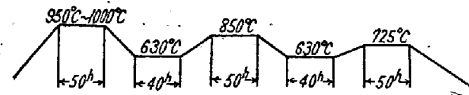


Fig. 13. Relation of tensile strength and notched tensile strength.

すように炭素量の高い高抗張力域においては球状化の不完全なものは、その切欠け抗張力が著しく低下する。このため、とくに大型分塊ロールのごとく激しい繰返しの熱応力を受ける場合、初期の亀甲割が切欠けとなり、割れの異常進行が短時間に起ることがある。かかる用途に対しては Table 2 に例示するような長時間の十分な球状化処理を施す必要があり、また、その効果を十分發揮し得るよう材質上にも十分な検討を行い、とくに鑄造状態結晶粒微細化のため添加元素を工夫する必要がある。

Table 2. Heat treatment of Blooming roll

C	Si	Mn	P.S	Ni	Cr	Mo
60/80	30/50	60/80	<0.05	50/70	40/80	20/30



7. 鑄鋼ロールの検査

ロールのごとき大物は外観的検査では十分でなく、その内部欠陥をも十分検査する必要がある。このため、当社では非破壊検査として超音波探傷法を全てのロールに厳重に施行している。

III. バック・アップ・ロールについて

バック・アップ・ロールとして最も要求される要素は硬度と強靱性とである。その硬度も相当深い範囲に亘つて保持されなければロール表面の剝離が起る。

かかる条件を考えた場合圧延使用されるロール胴部に高硬度のスリーブを用い、ロール芯部を強靱な材料で製作するスリーブ式が一体式に比し使用成績の上でも経済面においても有利である。

Fig. 14 にバック・アップ・ロールの硬度と圧延原単位の関係を示したが高硬度のものほど 1mm当りの圧延

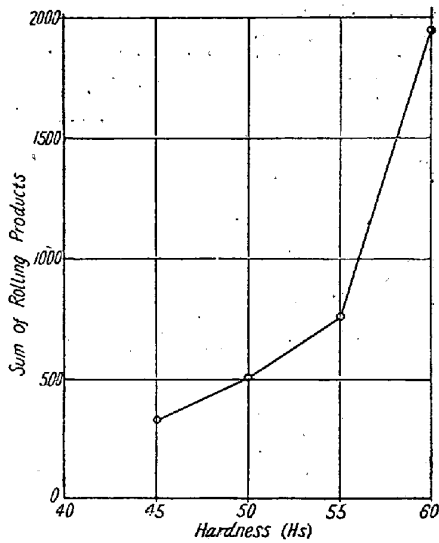


Fig. 14. Relation of sum of rolling products and hardness of back-up roll.

種数が多くなっている。

また Table 3 に一体式とスリーブ式のバック・アップ・ロールの比較を示したがスリーブは形状肉厚からも硬く焼入することは容易であるが、一体式の場合には硬度を保持するために Ni, Cr 等の合金元素を多量加えてもその硬度ならびに硬化深度をスリーブ式とおなじ位にすることは困難である。

Table 3. Comparison with one casting type and sleeve type.

Configuration	One Cast						Sleeve type							
Chemical Composition	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo		
	No. 1	0.75	0.50	0.70	2.50	11.20	0.40	Sleeve	0.60	0.35	0.90	0.60	10.12	0.50
	No. 2	0.70	0.50	0.70	2.50	11.20	0.40	Core	0.65	0.40	0.90	0.60	10.20	0.30
Ingot	48 ton						Sleeve 17 ton Core 31 ton							
	Hs 50 Shallow						Hs 60 Deep							

訂正: 図中左上 one cast とあるは One cast の誤りにつき訂正す

IV. 高温高圧用大径鋼管に就て

1. 受注の経緯

米国の Detroit Edison Co. は米国の著名な電力会社であつて、先般同社は世界最大の 26 万 kw 発電機の建造を計画したが、この新発電所の設備の中、ボイラーと発電機を結ぶパイプに対し米国内においては適当な購入先が求められなかつた。すなわち、このパイプは非常な高温高圧 (571°C, 156kg/cm²) で使用されるためその材質、寸法は Table 4 に示すような Cr-Mo 鋼

Table 4. Creep rupture test result of large size steel-pipe for Detroit Edison Co.

Mark	Test temperature	Maker	Creep rupture stress kg/mm ²	
			100 h	1,000 h
P11	538°C	Germany Sumitomo	25.0	21.3
			24.7	21.0
P22	566°C	Germany Sumitomo	14.0	11.0
			15.7	11.7

Cr-Si-Mo 鋼で外径最大 610φ, 肉厚最大 108mm という非常に大きな継目無鋼管を必要とする。しかるに米国内では、かかる大径鋼管の製法は普通機械加工で中空に中ぐりされる方法で品質的にも不満であるため Detroit Edison Co. は数人の技術者を日・英・独・仏・伊に派しこのパイプに必要な性能を具備せしめる適切な製造を行い得るところを調査した結果、かかる大型鋼管の鍛圧伸作業者のできる工場として、日本の住友金属と西独の Stahl & Rhorenwerk (Reisholz) とを選定し一昨々年 (1953年) 両社に発注された。その結果、期せずして日独の技術を争うことになつたが、当社の製品は幸いにして好評を博し、昨年 (1955年) さらに引続いて第二次発注を受けることができた。参考として先方で行つたスリーブ試験結果を日独比較して Table 4 に示した。

2. 製作要領

(1) 製鋼

すぐれた製鋼作業は鋼質を保証する根本的な条件であるが、とくに、かかる苛酷な使用条件にさらされる高温・高圧用特殊鋼管に対してはその重要性が増大される。

製鋼作業に際しては、とくに厳選されたスクラップを用い、入念な精錬をおこなう必要があるが、低炭素で硅素の上限が抑えられ、かつ、結晶粒度の点より Al の使用量が制限されている

条件下で十分鎮静して P, S の低い鋼質を得なければならない。勿論、この場合、還元精錬の行き過ぎは C, Si の上昇ならびに H₂ ガスの吸収を招来することに留意する必要がある。

なお、砂疵、ゴーストは絶対に避けねばならないのでその造塊条件については慎重を期さねばならない。

(2) 鍛圧ならびに伸延

造塊された鋼塊 (8t ないし 15t の八角逆錐型) は赤材のまま加熱炉に搬入され十分均熱された後、2000 t 壓型プレスで、まず角押し、面押し鍛錬を行うが、引続い

て第2回、第3回と数回の加熱、火造りを繰返し、十分な据込み鍛錬を行つた後、top, bottom を切断する。この鍛圧された鋼塊は再び加熱炉で十分均熱された後、3000 t 横型プレスで搾出ならびに数次に亘る伸延を行うが、その結果鍛錬化は最大 30 におよんでいる。

(3) 熱処理

鍛圧、搾伸されたパイプは焼準・焼戻処理が施されるが、内外均質な組織を得るために150時間という長い熱処理時間を費した。

(4) 機械加工

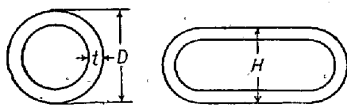
このパイプは内外面 250 micro inch r.m.s. 以下という仕上程度を要求されたが、このため 25ft 横型中グリ盤および 30~40ft 大型旋盤が使用された。

(5) 検査

製造されたパイプは一本毎に下記試験項目について入念な検査が先方派遣技術者によつて施行された。

- a) 化学分析 (取鍋, 本体) ... Table 5
- b) 引張試験 Table 5
- c) 扁平試験 Fig. 15
- d) 腐蝕試験—マクロ組織
- e) 超音波試験 Fig. 16
(あるいは放射線透過試験)
- f) 顕微鏡組織 : ...
- g) 寸法ならびに重量検査

上記各試験ともすぐれた成績を収めることができたがとくに扁平試験については Fig. 15 に示すように試験規定ではパイプの外径の約6分の1の高さまでの扁平圧縮であるが、この程度の圧縮では何等の欠陥も発生しないため、完全密着を施行されたが、その結果も何等の欠陥も認められなかつた。このことは米国の穿孔方式と異



$H = (1 + 0.08)t / [0.08 + t/D]$
Fig. 15. Flattening test.

Mark	Flow Detecting Direction	Used Machine	Flow Detecting Face
A	Axial direction	TD 103	Normal incidence (1~1.5 M.C)
B	Tangential direction	K-Lvin	Oblique incidence (0.5~2.5 M.C)
C	Radial direction	FD 101	Normal incident multiple detection (3~5 M.C)

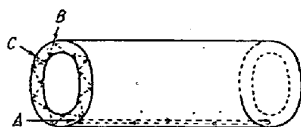


Fig. 16. Supersonic test.

なり鍛圧搾伸方式によつて製造されたためと考えられる。また超音波試験は各パイプ毎に Fig. 16 に示すように軸方向、円周方向、径方向より探傷されたが何等の欠陥も認められなかつた。そのため放射線透過試験の必要が全く生じなかつた。

Table 5. Large size steel-pipe for high temperature and high pressure for Detroit Edison Co.

		Mark	P 11	P 22
Item				
Dimension	Outside diameter		610 mm	560 mm
	Inside diameter		548 mm	343 mm
	Thickness		31 mm	108 mm
	Length of unit		6,000 mm	6,000 mm
	Volume		22 pieces	44 pieces
Chemical composition	C		<0.15	<0.15
	Si		0.50~1.00	<0.50
	Mn		0.30~0.60	0.30~0.60
	Cr		1.00~1.50	2.00~2.50
	Mo		0.45~0.65	0.90~1.10
Mechanical property	Yield point		21.2 kg / mm ²	21.2 kg / mm ²
	Tensile strength		42.2 kg / mm ²	42.2 kg / mm ²
	Elongation		>14%	>14%

V. ガス・タービン及びジェットエンジン用タービン・ローターについて

われわれはタービン・ローター用として Timken 16-25-6, 19-9 DL, H 46, H 40 等の高級耐熱鋼を製造し、ジェットエンジン、ガスタービン、過給機用ローターとして実用に供しすぐれた成績を収めることができた。

これらの耐熱鋼ローターは 700°C 以下の高温で高速回転による高い圧力を受けるので、その品質はきわめて高度のものが要求される。この要求に適合するローター材としては使用条件に適合した合金成分の耐熱鋼なることはもちろんであるが、製鋼、造塊、鍛造、熱処理の各作業が問題になる。(Table 6 に各種耐熱鋼の化学成分を示した。)

(1) 製鋼

優良な製品を得るため、最も問題になることは健全な大型鋼塊を製造することにあるが、このためには製鋼作業上、原料の吟味、前処理、熔解中のガスの吸収、不純物の混入に対し周到な注意を払う必要がある。

Table 6. Chemical composition of heat-resistance alloys.

Elements	C	Cr	Ni	Co	Mo	W	Nb	Ti	Al	N	Use
Alloys											
19-9 DL	0.3	19.0	9.0	—	1.3	1.2	0.4	0.2	—	—	Turbine rotor
Timken 16-25-6	0.1	16.0	25.0	—	6.0	—	—	—	—	0.15	〃
S 816	0.38	20.0	20.0	43.0	4.0	4.0	4.0	—	—	—	Turbine blade
Nimonic 80A	<0.1	20.0	75.0	—	—	—	—	2.3	1.2	—	〃
M 252	0.15	19.0	54.0	10.0	10.0	—	—	2.5	0.75	—	〃

(2) 造塊

すぐれた機械的性質のローターを得るためには、鍛造比をできるだけ大きくし、鍛錬効果を十分与える必要がある。

この種、高合金鋼は鋼塊内部に偏析その他の欠陥が発生し易く、50 kg, 100 kg 程度の鋼塊では満足な結果が得られず 1000 kg 程度の鋼塊より十分鍛錬する必要がある。なお、鋳型、押湯の設計、押湯保温法、鋳込温度、鋳込速度に対し十分な検討を施す必要がある。

(3) 鍛造

熱間変形抵抗の高いこの種耐熱鋼は鍛錬に多くの困難を伴い、表面のみならず、中心部に鍛造割を生じ易い。この種の問題については

- a) 材質に適應した鍛造温度、加熱法（加熱時間、加熱雰囲気）
- b) 鍛造機械
- c) 鍛造加工法（加工度、加工形状）治具等に対し十分検討を要す。

現在 Timken 16-25-6 に対しては Fig. 17 のごとく 1t 程度の大型鋼塊を用い、鍛錬比 5 まで鍛伸し、さらに据込比 3 程度を与えて、最終工程では大型型打鍛造ハンマーにより外径 500mm のローターを製造している。

(4) 熱処理

熱処理が、かかる高合金鋼の機械的性質に著しい影響を与えることはもちろんであるが、とくに Timken 16-25-6, 19-9 DL に対しては、その加工硬化処理 (hot cold working) が問題となる。この処理は通常 700°C 以下の低温で仕上鍛造を行い高温ならびに常温における強度を高めるために行うものである。しかし大型ローターのごとき大物に対しては、この処理の効果を十分発揮させるためには、鍛造機械の選定、前処理、加熱法、型設計、後続処理が問題となる。

(5) 検査

タービン・ローターは苛酷な使用条件にさらされるため、Dye check, zyglo による表面欠陥検査、超音波

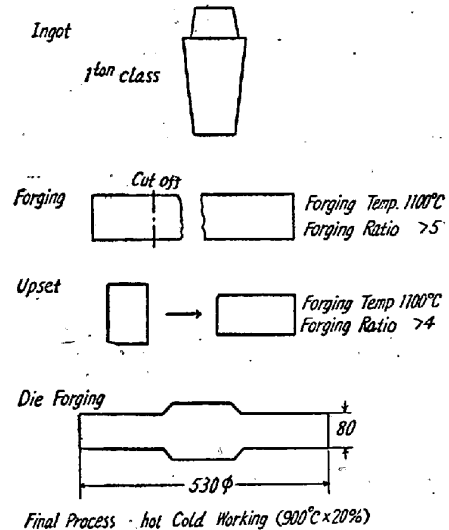


Fig. 17. Process of turbine rotor.

探傷、X線またはr線による内部欠陥探傷を施行せねばならない。この場合、X線またはr線による内部欠陥探傷で欠陥の認められなかつたローターでも鍛錬効果不十分な時は超音波探傷では透過率不良を生ずることに留意すべきである。

またわれわれは実体切断試験片により内部組織、高温クリープ試験、高温、常温引張試験、衝撃試験、硬度分布を調査したが、十分鍛錬効果を与えたローターは十分に外国材料規格を満足するすぐれた成績を示した

VI. 耐熱合金の真空熔解

近時、真空熔解により高級合金を製造することが急速に発達した。すでに米国では 1955 年に約 700t 生産され、熔解炉も 2000lbs 炉が数基稼動されている状況である。その多くは Ni 基超耐熱合金を主体とするジェットエンジン用高級耐熱合金である。当社も National Research Co. 製 50 kg 真空熔解炉により Nimonic 80 M 252, Inco 700 等の試作研究を行つている*。

真空熔解の特徴として、下記の鍛造性の向上、化学成

* 本研究は昭和30年度通産省応用研究補助金により実施されている。

分の調節ならびに溶解歩留の向上, 物理的性質の向上がある。

1) 鍛造性向上

Ti, Al は鍛造性を害するため, 従来の溶解法の場合には, その添加量が制限されるが, 真空溶解法の場合は原料または溶解中に混入するガス, その他の不純物の除去が容易に行われるため, 鍛造性が改善され Ti, Al の添加増量が可能になる結果, 高温強度の向上が期し得る。

また, 従来鍛造困難であつた Fe-Al 合金も鍛造可能となり, その結果新しい耐熱・耐蝕合金が発達しつつある。

2) 化学成分の調節および溶解歩留の向上

前述の Ti, Al は大気中においては酸化し易くその歩留が安定しないため, その調節が困難であつたが真空溶

解法により製品化学成分の目標値近く, それを調節することが可能になつた。

3) 物理的性質の向上

真空溶解法によりガスその他の不純物が除去されるため, 高温クリープ強度, 疲労強度, 靱性, 耐蝕, 耐酸化性が飛躍的に向上し, 常に一定品質の製品が得られる。

VII. 結 論

特殊鋼ロール, バック・アップ・ロール・スリーブ, 高温高圧用大径鋼管, タービン・ローター, 真空溶解等の諸問題についてのべたが, かかる特殊鋼製造に於いては製鋼・造塊・鑄造・鍛造・熱処理の各作業に対しその製品の使用条件を慎重検討し, その性能を十分に発揮せしめる必要がある。(昭和 31 年 5 月寄稿)

新 刊 寄 贈 図 書

書 名	編者著者	発行所	頁数	定 価
特殊鋼ハンドブック	大同製鋼株式会社	大同製鋼株式会社	344	非売品
日立造船株式会社七十五年史	日立造船株式会社	日立造船株式会社	483	非売品
金属材料の光度定量法	後藤秀弘・柿田八千代 鈴木 進共著	丸 善	207	¥ 450
工具材料(上)	小 柴 定 雄	丸 善	268	¥ 650
超音波探傷法	日本學術振興会	丸 善	332	¥ 950
鉄鋼迅速分析法(附解説)	日本學術振興会	丸 善	547	¥ 900
“精密鑄造”創刊号(31-6-15日)アグネ出版社 (偶数隔月発行)		アグネ出版社	64	¥ 150