

VS 33 VS 31 VS 36
Photo. 1. Microstructure of AISI 348 VS 33, VS 31 and VS 36.

Table 3. Record of extrusion.

H. No.	VS 33	VS 31	VS 36
Heating temp. (°C)	1250	1255	1255
Heating time (mn)	8	8.67	8.83
Max. pressure (kg/cm ²)	270	280	300
Extrusion Time (s)	6.00	3.00	5.52
Deformation resistance (kg/mm ²)	11.70	12.12	13.02

コンセルアーク溶解前後の化学成分と鑄塊のフェライト量(面積率)を Table 2 に示す。フェライト量は磁気攪拌したものはしないものに比べて約 2.5 倍多い。これは他の実験においても確認されており、磁気攪拌の一つの特徴といえる。

III. 熱間押出

コンセルアーク溶解した 230mm φ の鑄塊を 2 等分し、上半分は縦割りしてマクロ組織を調べ、下半分から 153mm φ × 45mm φ の熱間押出用のピレットを作った。鑄塊のマクロ組織は Photo. 1 に示すが、磁気攪拌するためにかけた磁場の強さが強い程結晶が微細化していることが判る。押出は Table 3 に示すごとき状況で行なわれた。押出素管の表面は VS 36 すなわち 50 ガウスで磁気攪拌したものは鍛造または圧延ピレットからの素管の表面と変わりなく、そのまま以後の工程に流せる状態であった。VS 33, VS 31 は共に横割れ(鱗状)がいちじるしく、相当深く疵取りをしなければ後の工程に流せない状態であった。VS 36 ではフェライト量がかなり多いにもかかわらず、素管の表面が良好であったのは、ピレットの結晶粒度が素管の表面状態におよぼす影響が極めて大きいことを示している。したがって磁気攪拌によるフェライト量の増加は、熱間直接押出の場合の素管の表面状態に関するかぎりはあまり問題にならないといえる。

結論としてオーステナイト系ステンレス鋼を 230mm φ のるつばで溶解するときは、溶解電流 5 kA で 50 ガウスの磁場をかけて磁気攪拌し、結晶粒度を充分細かくすればたとえフェライト量が増加しても、直接熱間押出を

して充分表面状態のよい素管が得られることが判つた。

IV. 文 献

- 1) 高尾善一郎, 八木芳郎: 日本金属学会誌, 24 (1960) 1, p. A-23~p. A-28.

669.187.251.7-982

669 15/26-194.3=669.14.018.85
(96) コンセルアーク溶解せる蒸気

タービンプレード材について

(鋼のコンセルアーク溶解に関する研究—II)

神戸製鋼所中央研究所 63096

鈴木 章・徳田祥一・福原義浩

岩屋工場 中島 弘明

On the "Cons-el arc" Melted Steam Turbine Blade Material. 469~471

(Studies on the "Cons-el arc" melting of steels—II)

Akira SUZUKI, Shoichi TOKUDA,

Yoshihiro FUKUHARA and Hiroaki NAKAJIMA.

I. 緒 言

近年電力のいちじるしい需要の増加につれて、蒸気タービン用ブレード材に対する需要も急速に伸びて来たが、蒸気タービンプレード材に対する検査規程が厳しいために、一般には角型インゴットを縦割りして内部の不健全部を除去した後熱間加工することが行なわれているために、生産性がいちじるしく低く、材質も充分満足なものができないことが一つのネックになつているといわれている。かかる材料にはコンセルアーク溶解法、すなわち消耗電極式アーク溶解法を応用すれば歩留りと材質のいちじるしい向上が期待される。コンセルアーク溶解法では浅い湯溜りで溶解と凝固を同時に行なうために鑄塊中心部にキャビティなどの欠陥が全くできないので、従来のごとくインゴットを縦割りする必要がなく、ほとんど全部使用できる。この材料の受け入れ検査の内最も厳しいといわれる塩水試験および電解研磨試験に対しては、その欠陥の原因が非金属介在物に起因することが多いと考えられているので、非金属介在物をいちじるしく減少させるコンセルアーク溶解法は材質的に極めて有効であると考えられる。以上の観点から蒸気タービンプレード材として使用されている SUS 37 をコンセルアーク溶解し、鑄塊性を確認すると共に JIS およびタービンメーカーの購入仕様書に沿った確性試験を行なつたのでその結果を報告する。

II. コンセルアーク溶解

コンセルアーク溶解により 360mm φ × 1 m の鑄塊を作ることにしたが、鑄塊性を調べて予め溶解条件の適正であることを確認した後、試験材のコンセルアーク溶解を行うことにした。鑄塊性は鑄塊を縦割りしてダイマーク、マクロエッチを行なつて調べた。そのマクロ組織を従来の角型インゴットケースに鑄込んで作つた同一鋼種のマクロ組織と比較して Photo. 1 に示す。Photo. 1 からコンセルアーク溶解せる鑄塊の内部が極めて健全であることが判る。この鑄塊性の試験結果から溶解条件が適正であることが判つたので、同一の溶解条件で 360

Table 1. Chemical compositions (%) and mechanical properties.

Designation	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	O	H
SUS 37 B	0.08/0.18	<1.00	<0.60	<0.040	<0.030	—	11.50/11.40	0.30/0.60	—	—
Cons-el	0.08	0.39	0.20	0.013	0.010	0.10	12.28	0.46	0.004	—
Air-melted	0.12	0.55	0.17	0.012	0.007	0.20	12.32	0.44	0.007	—
X 15CrMo13	0.12/0.17	0.30/0.70	0.15/0.70	<0.030	<0.030	<0.60	11.0/12.5	0.90/1.20	—	—
Cons-el	0.15	0.40	0.31	0.013	0.013	0.36	12.0	1.07	0.002	ppm0.23
	T. S. (kg/mm ²)		Y. S. (kg/mm ²)		Elongation (%)		R. of area (%)		Impact value (kg m/cm ²)	
SUS 37 B	>70		>50		>20		>60		>10	
Cons-el	73.4		65.3		25.0		71.0		30.4	
Air-melted	72.7		57.9		22.5		65.3		20.42	
X 15CrMo13	65/80		45/60		>18		>55		>8	
Cons-el	74.2		49.7		29		64.8		18.90	

mm φ × 1 m の鋳塊を
コンセルアーク溶解に
より作った。

III. 加工

コンセルアーク溶解
した鋳塊は焼鈍して黒
皮を削除し、153mm φ
のピレットに鍛造して
熱間押出を行ない、30
mm φ の角材にした。
熱処理は 975°C から
油冷し、650°C で焼戻
を行なった。蒸気ター
ビンブレード材として
は 650°C の焼戻温度
は低すぎるかもしれないが、これは C が規格
の下限に来ているため
で、C を 0.12% 程度
にすれば焼戻温度は 720°C くらいに上げられることを
確認した。

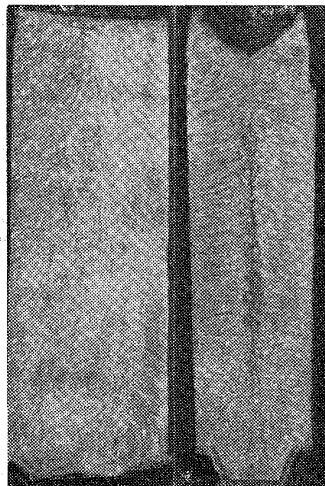


Photo. 1. Macrostructures
of turbine blade steel.
Left: cons-el arc,
Right: air melted.

IV. 機械的性質

機械的性質は Table 1 のごときものである。Table 1
で空气中溶解材は Fig. 1 の空气中溶解材の頭部最外周
部であり、コンセルアーク溶解材の電極材とは違う。し
たがって正確な比較にはならないが参考のために Table
2 に掲げた。また Table 2 には X15Cr, Mo13 のコン
セルアーク溶解材の結果を掲げたが、これは 200mm φ

Table 2. Result of electrolytic polishing
inspection.

Stages	No. of defects	Total length of defects	Max. length of defects
1	5	4.95mm	1.70mm
2	3	1.49mm	0.71mm
3	2	1.22mm	0.63mm
4	3	1.63mm	0.60mm
5	—	—	—

の鋳塊から作ったものであつて参考のために掲げる。
SUS 37 の空气中溶解材は 975°C から油冷し、675°C
で焼戻したものである。X15Cr, Mo13 は 975°C から
油冷し、750°C で焼戻したものである。Table 1 からコ
ンセルアーク溶解した SUS37B は伸び、絞り、衝撃値
が空气中溶解材よりもはるかに高いことが判る。これは
炭素量の違いにもよると思われるが、やはりコンセルア
ーク溶解の精錬作用に負う所が大きいと考えられる。

V. 電解研磨試験

直径 6.0, 11.4, 16.9, 30.3, 38.4mm の段付試験
片各段の長さ 31.8mm を作り、正リン酸 1000 cc, ゼ
ラチン 40 g, 礬酸 30 g の電解液中で電解研磨した後、
ルーペで長さ別の疵の個数、疵の総長、最大疵の長さを
測定した。ただし規格にしたがって散在する 0.3mm 以
下の疵は算えなかつた。Table 2 に空气中溶解材の測定
結果を示すが、SUS 37 B のコンセルアーク溶解材では
0.3mm 以上の疵は全く認められなかつた。X 15 Cr,
Mo13 では一つの鋳塊から試験片 3 本を作つて、電解研
磨試験をしたが、そのうち 1 本に 0.5mm の疵 1 コが
発見されただけで、他には全く疵を認めなかつた。

検査の合否の判定規準は疵個数が 1 dm² 当り 40 以
下、疵の総長以下最大疵の長さ 3mm 以下であるから、
空气中溶解材も一応合格ではあるが、コンセルアーク溶
解材に比べて極めて欠陥の多いことを示している。コン
セルアーク溶解材では 0.3mm 以下の疵も極めて少な
かつたが、空气中溶解材では微少な疵が無数にあり、電
解研磨した後の試験片の光沢に大きな違いが認められ
た。Table 2 において stage とは段付試験片の各段の
番号であつて、1 は最も細い部分を表わす。

VI. 塩水試験

底面の直径 30mm, テーパー 2/10 の円錐形の試験
片を作り、60~70°C の 3% 食塩水に 3 時間浸して、出
る錆の大きさと数を測定するものである。小点 5 個、中
点 1 個または小点 3 個、中点 2 個が散在し、その他の疵
を認めないものを合格とする。小・中・大点の基準は錆
の直径が 0.5mm 以下を小点、0.5mm を越え 1.0mm
以下のものを中点、1.0mm を越えるものを大点とする。
測定結果は SUS37B のコンセルアーク溶解材は小点

1コ、空気中溶解材は小点2コ、X15Cr, Mo13のコンセルアーク溶解材は小点1コ、中点および大点は何れの場合もなかつた。空気中溶解材も一応合格はしているが、これは鑄塊の最外周部から取つた試験片の結果であり、中心部と外周部の中間から取つたものでは不合格となつており、この検査の厳格さを示している。これは電解研磨試験についても全く同じことがいえる。

VII. 総 括

コンセルアーク溶解せる蒸気タービンプレード材の諸性質について空気中溶解材と比較しながら述べて来たが、コンセルアーク溶解材は蒸気タービンプレード材として極めて優秀であることが確認された。また材質だけでなく材料歩留りの向上、検査歩留りの向上から経済的にも明らかに有利であり、大いに実用性のあるものと考える。

669.187.251.7-982
669.14.018.853

(97) コンセルアーク溶解材による
ガスタービンローターシャフト
について

63097
(鋼のコンセルアーク溶解に関する研究—Ⅲ)
神戸製鋼所中央研究所

471~472
鈴木 章・徳田祥一・○福原義浩
〃 岩屋工場 中 島 弘 明

On the Gas Turbine Rotor Shaft Made
of "Cons-el arc" Melted Material.

(Studies on the "Cons-el arc" melting of
steels—Ⅲ)

Akira SUZUKI, Shoichi TOKUDA,
Yoshihiro FUKUHARA and Hiroaki NAKAJIMA.

I. 緒 言

コンセルアーク溶解法、すなわち消耗電極式真空アーク溶解法によつて鋼を溶解すれば、脱ガス、非金属 inclusion の減少、ゴーストの消滅などが起り、極めて均質な鑄塊が得られることは衆知の通りである。したがつて砂疵の問題の大きい高速エンジン用クランクシャフトや、鑄塊の不均一性が一つの原因になつている熱歪の問題があるタービンローターシャフトにコンセルアーク溶解法による鑄塊を使用すれば、極めて優秀な製品ができることが期待される。筆者らはコンセルアーク溶解せる 1Cr-5/4, Mo-1/4 V 鋼を使用してガスタービンローターシャフトを実際に製作し、種々の検査を行つたのでその報告をする。

Table 1. Chemical composition (%) of electrodes and ingots.

Elements	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	O
Specification	0.27/0.37	0.15/0.35	0.70/1.00	<0.035	<0.035	—	<0.50	0.55/1.25	1.00/1.50	0.20/0.30	—
Electrode	0.30	0.34	1.04	0.008	0.012	0.06	0.46	1.09	1.20	0.23	0.012
Ingot	0.27	0.37	0.71	0.009	0.010	0.02	0.47	1.12	1.09	0.27	0.001

II. コンセルアーク溶解

消耗電極は 1t 高周波炉の合せ湯で 1.6t の角型インゴットを作り、それを鍛造して作つた。消耗電極を鋼溶解用のコンセルアーク炉で溶解し、480mm φ × 750mm l の鑄塊にした。

Table 1 に溶解前後の化学成分を示す。Mn はコンセルアーク溶解により約 70% に減少しているが、これは蒸発によるもので、コンセルアーク溶解では普通に見られる現象である。C, S, Mo, Cu も少し減少しているように見られるが、従来のデーターではこれらの元素はほとんど減少していないので、この場合は分析上の誤差などによるものである。O は約 1/10 に減少しているが 1/5~1/2 に減少するのが普通である。

III. 工 程

ローターシャフトの加工および検査は次のごとき順序で行なわれた。鑄塊→焼鈍→皮削→1/2 圧縮・鍛伸→拡散焼鈍→荒削→超音波検査→焼入・焼戻→機械加工→歪取焼鈍→材料試験→仕上加工→超音波検査→熱歪試験→サルファプリント。焼入れは 954°C からミスト冷却した。焼戻は 675°C で行ない、歪取焼鈍は 620°C で行なつた。材料試験は軸の両端から長手方向、ディスク部から半径方向の試験片を採取して、引張り試験、シャルピー衝撃試験を行なつた。熱歪試験は 575°C で行なつた。製品寸法の概略は Fig. 1 に示す。

IV. 検査結果

1) 超音波検査 荒削後に超音波検査をディスク部について行なつたが欠陥は全く認められなかつた。熱歪試験前に更に詳しい超音波検査を行なつたがその結果も極めて良好であつた。その波形写真を Fig. 1 に示す。

2) 材料試験 材料試験の結果を Table 2 に示す。

Type of tester	Sperry	Frequency	2.25M. C.	Method of inspection
Impulse	Dia. of crystal	28φ	Applying angle of crystal	90°
				Pulse width
				40
Sensitivity	Surface finish	W	Contact medium	M. oil
				Primary voltage
				100V
				B ₁ = 75mm

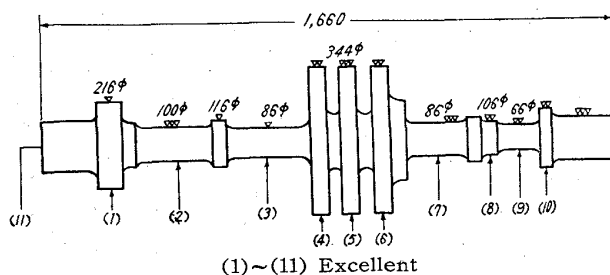


Fig. 1. Approximate dimension of the rotor shaft and the results of super sonic inspection.