

ろう。加工による脆化ということの内容は1回のクラックが試片断面全体を横切るような破壊を示す試験温度(遷移温度)を高めるのではない。試片は最大荷重に到達してのちクラックの伝播、停止、塑性変形の多くの繰返しによつて破壊すると考えられるから1回のクラック進行距離が加工度の増大に伴ない大きくなるということであろう。それに反して時効による脆化はいちじるしいクラックの伝播による破壊を起し易くすることである。従つて遷移温度は高くなる。

(2) 焼鈍試片の試験温度対吸収エネルギー曲線が遷移温度域で単調な変化を示したのに反して焼入常時時効試片と引抜加工試片の曲線では遷移温度域に明らかな水平部分がみられ二段の変化を示したことを前報で述べた。本実験でも明かにこの水平部分が観察されそれは加工度が増大するにしたがい顕著になる。この水平部分において焼入時効試片ではⅡ型、加工直後の試片およびそれを歪時効させた試片ではⅢ型の荷重—時間曲線がそれぞれ得られた。このように水平部分で得られる荷重—時間曲線の型が試片によりちがつていることは両者の水平部分の間に本質的な破壊様式の差異があることを示すものかどうかこの実験のみからでは明かでない。

(3) 3%, 10% いづれの加工度の試片とも常温の歪時効においてはこの実験の簡圈内では遷移温度の変化を認め得なかつた。また 3% 加工試片の 100°C, 120分および 10% 加工試片の 100°C, 60 分までの歪時効においても遷移温度の変化は同じく認められなかつた。3%加工試片の 200°C, 60分, 10% 加工試片の 100°C, 120 分以上の歪時効において遷移温度の上昇が明瞭になつている。前報の焼入時効の結果と比較するとき遷移温度におよぼす焼入時効と歪時効の影響は前者がはるかにいちじるしいことが知られる。

V. 総 括

小型シャルピー衝撃試験機の打撃刃に水晶の荷重検出子を設け陰極線オシログラフにより荷重—時間曲線を記録して軟鋼の遷移温度におよぼす 3%および10%引張加工, ならびにそれらを歪時効せしめたさいの破壊様式の変化を観察しつぎのような結論を得た。

(1) 3%, 10%歪を与えてのち常温で 3~100日間, 3% 歪を与えて 100°C, 120 分および 10% 歪を与えて 100°C, 60 分までの歪時効では遷移温度の上昇は認められなかつた。歪時効による遷移温度の変化は焼入時効のそれと比較すると小であつて 3%加工後 200°C, 60 分歪時効および 10% 加工後 100°C, 120 分歪時効の場合遷移温度はそれぞれ 15°C の上昇を示した。

(2) 加工直後の試片およびそれらを歪時効させた試片の吸収エネルギー対試験温度曲線は遷移温度域において二段に変化して水平部分を示しそれは加工度の高いものほど顕著であつた。この水平部分で得られた荷重—時間曲線はⅢ型のそれであつた。

(3) 加工度が増すと荷重—時間曲線の形が変化し最大荷重に到達してのちの荷重の降下がいちじるしく吸収エネルギーは小となるが遷移温度すなわちⅣ型荷重—時間曲線の現われる最高試験温度は必ずしも上昇しない。

(4) 最大荷重対試験温度曲線はⅡ型の荷重—時間曲線が現われる試験温度域で極大値を示した。

文 献

- 1) 作井, 中村, 大森: 鉄と鋼, 46 (1960) 140
- 2) C. CRUSSARD, R. BORIONE, J. PLATEAU, Y. MORILLON and F. MARATRAY: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 183 (1956) 146

コンセルアーク溶解せる軸受鋼の材料性質*

(コンセルアーク溶解せる軸受鋼の諸性質—I)

高尾善一郎**・西原 守***・八木 芳郎***

Material Characteristics of Cons-el Arc Melted Bearing Steel.

(Properties of Cons-el Arc melted bearing steel—I)

Zenichiro Takao, Mamoru Nishihara and Yoshiro Yagi.

* 昭和 34 年 11 月本会講演大会にて講演 ** 株式会社神戸製鋼所神戸研究部 工博

*** 株式会社神戸製鋼所神戸研究部第一研究課

Synopsis:

Vacuum-melted steels are now going to be in practical use, and for bearing steel, which is to be produced in large scale, by vacuum arc melting method (the so-called Cons-el Arc melting method) should be more suitable rather than vacuum induction-melting method.

Therefore, the research for the material characteristics of Cons-el Arc melted bearing steel was conducted according to the inspection specification of Japan Bearing Society compared with the air-melted one.

As the results, it was found that the Cons-el Arc melted steel was much superior to the other in the macro-structure, compressive breaking strength, surface defects and so on.

I. 結 言

軸受鋼を真空溶解すれば、疲労性質が向上し、寿命がいちじるしく延びることが欧米の諸社により発表されている^{1)~4)}。またわが国においても、軸受鋼の真空溶解について発表がなされており⁵⁾、今後重要な部分に使用される軸受用として、相当量の真空溶解材が実用されることと考えられる。真空溶解法としては、真空高周波溶解法と真空アーク溶解法の二種類あることは良く知られているが、比較的低価格で大量生産されねばならない本鋼種のごときは、大型鋳塊の溶製が可能で比較的廉価な真空アーク溶解法（筆者らはコンセルアーク溶解法と称している）による方が有利と考えられる。事実、米国、英国などにおいても軸受鋼が真空アーク炉により相当溶解されていることが報告されている^{6)~7)}。この意味で、筆者らは軸受鋼 SUJ 2 のコンセルアーク溶解を行ない、各種性質について空气中溶解材との比較を行なった。

軸受鋼の優劣は実際に使用にさいしての寿命の長短によって決まると考えられるが、これに影響する要素はきわめて複雑であるため、各種方面からの探求が必要である。第1報においては、主として日本ベアリング協会の検査規準⁸⁾に準じて行なった各種静的試験結果について報告する。

II. 供 試 材

電気炉にて Mn 含有量の比較的高いものと、普通程度のものの2種類の高炭素低クロム軸受鋼SUJ 2を溶製した。コンセルアーク溶解することにより蒸気圧の高い Mn が蒸発しその含有量が減少するため、同一原料であつても空气中溶解材とコンセルアーク材とは Mn 含有量に差を生ずる。そのため、これらの影響をもみるべく Mn 含有量の異なる2種類を溶製したものである。

空气中溶解材としては、必ずしも最適の形状ではないが、コンセルアーク溶解インゴットと寸法を揃えるため、Fig. 1に示すとき形状のインゴットを製作した。コンセルアーク材としては、空气中溶解

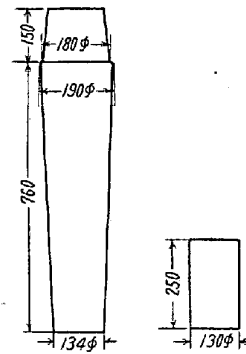


Fig. 1. Sizes of air-melted (left) and Cons-el Arc melted (right) ingot.

材と同一チャージのインゴットを鍛造、皮削りして試験用コンセルアーク炉にて $1 \sim 6 \times 10^{-3} \text{ mm Hg}$ の真空中で再溶解し、径 130 mm ϕ 、高さ約 250 mm のインゴットを溶製した。Table 1 はこれらのコンセルアーク溶解実

Table 1. Cons-el arc melting conditions of bearing steel.

Charge No.	F 505 [*]
Pressure before melting	$1 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$
Leakage test	$0' 1 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ } $0' 78$ $10' 5 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ } lusec
Pressure during melting	$1 \sim 6 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$
Arc current	1800~2000 A
Arc voltage	22~24 V

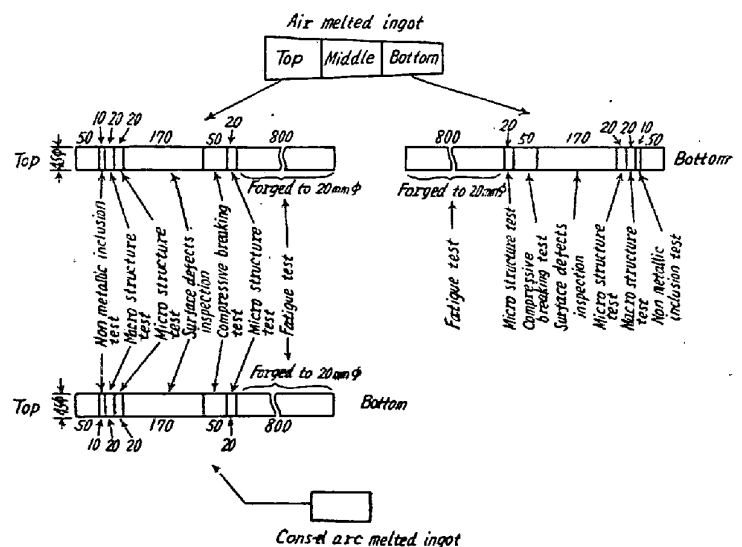


Fig. 2. Sampling position of testing materials.

施例である。

溶製したインゴットは表面皮削後、鍛造して径45mmφおよび20mmφの丸棒とし各種試験に供した。鍛造温度は1100~1150°Cで、鍛造前その温度に約2.5h保持する均熱処理を実施した。Fig. 2に各種試験片の採取位置を図示した。

III. 各種静的試験結果

上記供試材につき、主として日本ベアリング協会の検査規準に準じて実施した試験結果をつぎに述べる。

1. 化学分析および非金属介在物試験

Table 2. Chemical composition of testing materials (%)

Composition	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Sn
Classification									
Air-melted (LM)	1.01	0.29	0.35	0.015	0.008	1.40	0.11	0.05	0.019
Cons-el Arc melted (CLM)	1.00	0.29	0.29	0.013	0.008	1.38	0.11	0.05	0.014
Air-melted (HM)	1.02	0.31	0.48	0.014	0.009	1.48	0.11	0.05	0.016
Cons-el Arc melted (CHM)	1.02	0.30	0.31	0.012	0.008	1.46	0.10	0.05	0.014

Table 3. Gas components of testing materials (%)

Composition	O	N
Classification		
Air-melted (LM)	0.0047	0.0091
Cons-el Arc melted (CLM)	0.0030	0.0071
Air-melted (HM)	0.0042	0.0089
Cons-el Arc melted (CHM)	0.0015	0.0060

供試材の化学分析結果を Table 2 に示した。試料は各インゴットの側面3カ所より採取した。表中 LM は Mn 含有量の普通程度のもので、HM は Mn 含有量の比較的高いもので、CLM, CHMはそれらのコンセルアーク溶解材である。(以下同じ) Mn 量はコンセルアーク溶解により減少しているが、HMの方が減少がいちじるしく、結果的にはそれらのコンセルアーク溶解材たる CHM, CLMの間には Mn 含有量の差はほとんど無くなっている。そのほかの成分については空气中溶解材とコンセルアーク材との間ではほとんど差が認められない。20mmφ丸棒より試料を採取して実施したガス分

析結果を Table 3 に示す。酸素、水素はNRCガス分析装置により、窒素はケルダール法により行なつたものである。コンセルアーク溶解することにより、酸素は約半分に、窒素は約70%に減少している。

つぎに旧学振法*に準じて非金属介在物試験を行なつた。Fig. 3は非金属介在物の顕微鏡写真の代表例で、コンセルアーク材のそれが減少しているのが認められる。

Table 4. Non-metallic inclusions of air-melted and Cons-el Arc melted bearing steels.

Classification	Type A			Type B	
	Cleanliness	Average thickness	Maximum length	Cleanliness	Average thickness
Air-melted (LM)	0.57	3μ	50μ	1.97	4μ
Cons-el Arc melted (CLM)	0.15	3μ	20μ	1.42	4μ
Air-melted (HM)	0.42	3μ	30μ	1.92	4μ
Cons-el Arc melted (CHM)	0.22	3μ	30μ	1.50	4μ

Table 4は非金属介在物試験結果でコンセルアーク材は空气中溶解材の約半分に減少している。

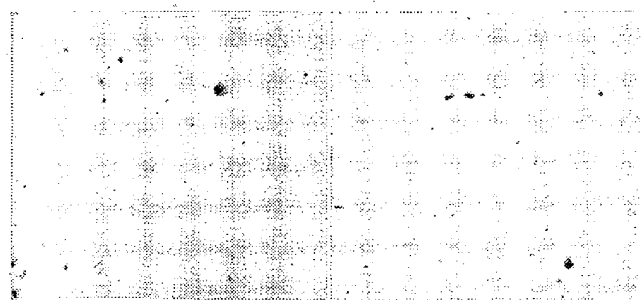


Fig. 3. Non-metallic inclusions of testing materials. ×200 non etched (2/3)

2. 焼準組織および肉眼組織検査

球状化焼鈍の前処理として、鍛造棒を950°C×1h空冷なる焼準処理をした。焼準材の顕微鏡組織には溶解法による差異は認められない。

焼準後 Fig. 2 に示す位置から円板状の肉眼組織検査試験片を採取し、強酸腐食法により試験した。試験法は検査規準にしたがつて塩酸：水1：1の腐食液を75°Cに加熱し、その液中に試験片を30mn浸漬した。その

* 日本高周波鋼業株式会社に測定を依頼した。

状況を Fig. 4 に示すが、コンセルアーク材は多孔質、偏析、樹枝状晶の程度きわめて少なく健全な肉眼組織を示した。一方空气中溶解材は中央部に多孔質がみられ、全体的には可の状態である。Table 5 はその検査結果である。これらよりコンセルアーク材の肉眼組織は空气中溶解材に比しいちじるしく改善されているのがわかる。

3. 球状化焼鈍組織およびオーステナイト結晶粒度

球状化焼鈍を Fig. 5 に示すとき条件で行なつた。その組織を Fig. 6 に示すが空气中溶解材、コンセルアーク材いずれも、偏析、網状炭化物、巨大炭化物が見られず良好である。またオーステナイト結晶粒度測定結果を Table 6 に示すが、空气中溶解材、コンセルアーク材の間には差異は認められない。

4. 圧壊試験

球状化焼鈍後45mmφ丸棒から日本ベアリング協会の検査規準に定められた寸法の圧壊試験片を、各種3コずつ製作した。試験片の形状をFig. 7に示す。

この試験片を日本ベアリング協会の検査規準で示された条件で焼入、焼モドシを実施した。これらの条件はTable 7のごとくである。加熱はソルトバス中で、焼モドシはオイルバス中で行なつた。焼入および焼モドシした試料の硬度をTable 8およびTable 9に示すが、空气中溶解材、コンセルアーク材の間に差異は認められない。また焼モドシカタサは検査規準に合格している。

これらの試験片を用いて行なつた圧壊試験結果をTable 10に示す。試験機はアムスラー型万能試験機を

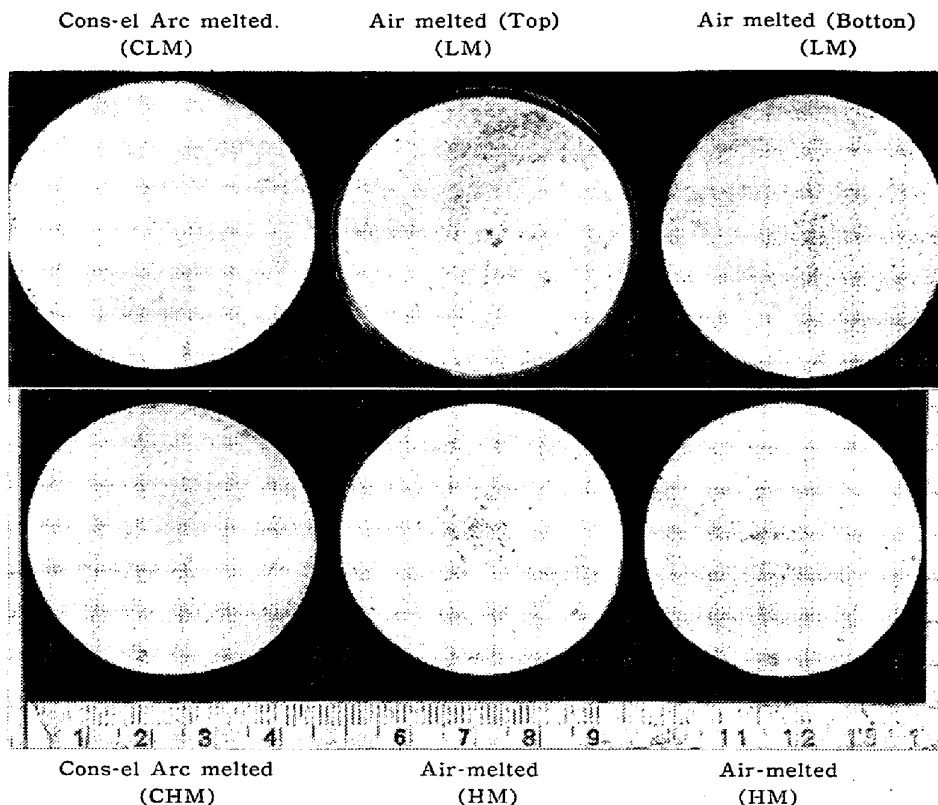


Fig. 4. Macrostructures of air-melted and Cons-el Arc melted bearing steels.

etching condition : held for 30mn in HCl 50%,
water 50% solution at 750°C

Table 5. Results of macrostructure inspection.

Classification		Segregation	Dendrite	Pinholes	Remarks
Air-melted	LM (Top)	Good	Good	Bad	Pit
	LM (Bottom)	Excellent	"	Bad	Pit
Cons-el Arc melted		CLM	Excellent	"	Good
Air-melted	HM (Top)	Bad	"	Bad	Pit
	HM (Bottom)	Excellent	"	Bad	Pit
Cons-el Arc melted		CHM	Excellent	"	Good

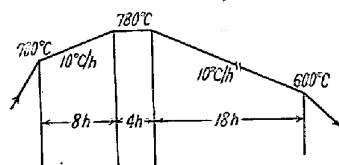


Fig. 5. Process for spheroidized annealing.

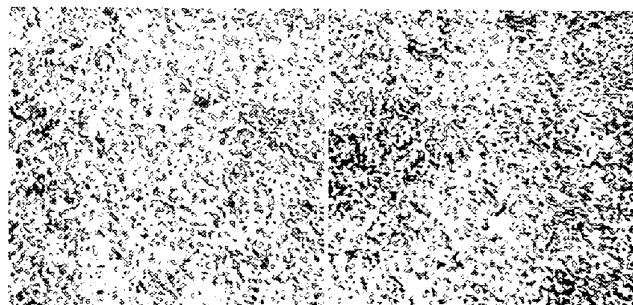


Fig. 6. Spheroidized structures of testing materials.

×400, etchant: picric acid+nitric acid (2/3) 使用した。試験結果をみるに、空气中溶解材の中には、一部検査規準を通らないものがあり、コンセルアーク材

はすべて検査規準に合格し、しかも空气中溶解材よりも相当大きな値を示している。

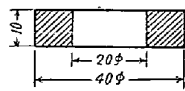


Fig. 7. Size of compressive breaking test piece.

また圧壊の様相が、コンセルアーク材はすべて2分されているのに対して空气中溶解材では約1/3が、さらにこまかく割れるのがみられる。この状態を Fig. 8 に示した。

5. 地キズ試験

球状化焼鈍した45mmφ丸棒より、日本ベアリング協会の規準に準じて製作した試験片の形状を Fig. 9 に、試験結果を Table 11 に示す*が、コンセルアーク材の地キズは空气中溶解材に比して明瞭

Table 6. Austenite grain size of materials tested.

Classification		Number of grain size	
		Range	Average
Air-melted	LM	3~5	4.3
Cons-el Arc melted	CLM	3~5	4.0
Air-melted	HM	4~5	5.0
Cons-el Arc melted	CHM	4~6	5.0

Table 7. Condition of heat treatment.

Quenching condition			Aging condition		
Temp.	Holding time	Quenching medium	Temp.	Holding time	Cooling method
845°C	30mn	Oil	170~180°C	2h	Air cool

Table 8. Hardness of oil-quenched specimens for compressive breaking test.

Classification		Hardness, after water quenched (HrC)						
		Specimen No. 7		Specimen No. 2		Specimen No. 3		Average
Air-melted	LM (Top)	66.2	66.0	66.3	66.1	63.8	63.7	65.4
"	LM (Bottom)	65.5	65.2	66.1	66.1	66.5	66.5	66.0
Cons-el Arc melted	CLM	65.2	66.0	65.4	65.8	65.6	65.6	65.6
Air-melted	HM (Top)	66.9	67.1	65.8	67.0	65.6	66.2	66.4
"	HM (Bottom)	65.6	66.2	66.0	66.6	66.5	66.5	66.2
Cons-el Arc melted	CHM	66.8	66.4	65.9	66.2	66.0	65.8	66.2

Table 9. Hardness of oil-quenched and tempered specimens for compressive breaking test.

Classification		Hardness, after quenched and tempered (HrC)						
		Specimen No. 1		Specimen No. 2		Specimen No. 3		Average
Air-melted	LM (Top)	63.3	62.2	62.2	62.0	62.2	62.2	62.4
"	LM (Bottom)	62.8	62.8	63.4	62.4	62.8	62.6	62.8
Cons-el Arc melted	CLM	62.9	62.5	62.2	62.5	62.3	62.3	62.5
Air-melted	HM (Top)	62.7	62.8	62.4	62.3	62.3	62.0	62.4
"	HM (Bottom)	62.5	62.2	62.0	62.4	62.3	62.8	62.4
Cons-el Arc melted	CHM	63.0	62.4	62.2	62.5	62.3	62.3	62.4
Specification of Japan Bearing Society		>62						

に少なく、とくに0.5mm長さ以上の地キズは皆無という好成績が得られた。

IV. 結 言

高炭素低クローム軸受鋼 SUJ 2 の電気炉にて溶製した空气中溶解材と、それを試験用コンセルアーク炉にて

* 日本高周波鋼業株式会社に測定を依頼した。

再溶解したコンセルアーク材につき各種の試験を行なった結果、多くの点にコンセルアーク材の優位性が認められた。

試験結果を総括するとつぎのごとくである。

1) Mn含有量の比較的高いものと普通程度のものの2種類の空气中溶解材(LMおよびHM)を溶製し、これをコンセルアーク炉にて再溶解したが、HMの方がL

Table 10. Compressive breaking strength of air-melted and Cons-el Arc melted bearing steel.

Classification		Compressive breaking strength (kg)			
		Specimen No. 1	Specimen No. 2	Specimen No. 3	Average
Air-melted	LM (Top)	4300	3600	4450	4120
"	LM (Bottom)	4300	5650	5150	5030
Cons-el Arc melted	C LM	5860	6120	7200	6390
Air-melted	HM (Top)	6350	5800	5400	5850
"	HM (Bottom)	5670	5330	5360	5450
Cons-el Arc melted	CHM	6450	6200	7100	6580
Specification of Japan Bearing Society		4900			

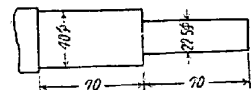


Fig. 9. Specimen for surface defects inspection.

Table 11. Results of surface defects inspection.

Classification		Number of defects							
		1st stage (40φ)				2nd stage (22.5φ)			
		0.1~0.4 mm	0.5~0.9 mm	1.0~1.9 mm	>2.0 mm	0.1~0.4 mm	0.5~0.9 mm	1.0~1.9 mm	<2.0 mm
Air-melted	LM (Top)	28	5	0	0	17	2	1	0
"	LM (Bottom)	34	1	0	0	13	1	0	0
Cons-el Arc melted	C LM	4	0	0	0	2	0	0	0
Air-melted	HM (Top)	16	2	1	0	7	2	0	0
"	HM (Bottom)	13	0	0	0	6	1	0	0
Cons-el Arc melted	CHM	5	0	0	0	3	0	0	0
Specification of Japan Bearing Society			<27	<5	<1		<15	<3	<1

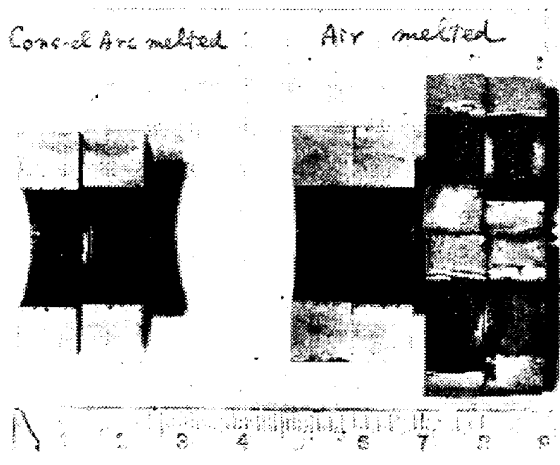


Fig. 8. Results of compressive breaking test of air-melted and Cons-el Arc melted bearing steels.

MよりもMnの減少する割合がいちじるしく、結果的にはそれらのコンセルアーク材 (C LMおよびCHM) のMn含有量は同程度となつている。

2) コンセルアーク溶解により酸素、窒素は減少し、コンセルアーク材のそれらはそれぞれ電極材の約50%お

よび約70%になつている。

3) 非金属介在物はコンセルアーク溶解により約半分に減少している。

4) 肉眼組織検査、圧壊試験および地キズ試験の結果は、コンセルアーク材は空气中溶解材に比し、いちじるしく良好である。

5) 顕微鏡組織およびオーステナイト結晶粒度には、空气中溶解材とコンセルアーク材との間には差は認められない。

以上のごとく、日本ベアリング協会の検査基準に準じて行なつた各種静的試験の結果、コンセルアーク材には多くの優れた点が認められた。しかしながら、軸受鋼の優劣は実際の使用時の寿命がもつとも重要である。これらを明かにするため疲労試験、動的寿命試験を現在実施中であるので次報に報告したい。

なお、本研究用の素材を提供され、また、いろいろ御協力を戴いた日本高周波鋼業株式会社ならびに実験に協力された当研究部 栗原、西垣の両氏に厚く感謝の意を表す。(昭和35年6月寄稿)

文 献

- 1) J. H. MOORE: J. Metals, 6 (1954), 12, 1368
- 2) J. H. MOORE: Iron Age, 191, (1953), 14, p. 154
- 3) LELAND D. COBB: Steel, 137 (1955), 7, p. 136
- 4) Metallurgia, 57 (1958), 341, p. 139
- 5) 山中: 日本金属学会誌, 24, (1960), 1, p. A-34
- 6) Metal Progress Data sheet: Metal Progress 74 (1958), 2 p. 96-B
- 7) H. C. CHILD & G. T. HARRIS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 199 (1958), 12 p. 414
- 8) 軸受用高炭素クロム軸受鋼(棒鋼)の検査規準, 特殊鋼, 6 (1957), 9, p. 70

Cr-Mo-V 熱間工具鋼中の炭化物について*

(実用特殊鋼中の炭化物の電解分離による研究—X)

佐藤 知雄**・西沢 泰二***・玉置 維昭***

On Carbides in Cr-Mo-V Hot-Working Tool Steels.

(Study on carbides in commercial special steels by electrolytic isolation—X)

Tomo-o Sato, Taiji Nishizawa and Koreaki Tamaki.

Synopsis:

Chemical and X-ray analyses were carried out on carbides, isolated electrolytically from the as-annealed, as-quenched and as-tempered structures of chromium-base hot-working tool steels.

Carbides found in the as-annealed structures are $M_{23}C_6$, M_6C and MC , similarly to the carbides in tungsten-base hot-working tool steels. M_7C_3 and ξ carbide expected from the equilibrium diagrams for Fe-C-Cr and Fe-C-Mo systems were not observed in the as-annealed structures. Carbide reactions during tempering are complicated, but are regarded as the combination of four sequences, which proceed separately in chromium, molybdenum, vanadium and tungsten steels; that is (i) $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6$, (ii) $M_3C \rightarrow Mo_2C \rightarrow M_6C$, (iii) $M_3C \rightarrow MC$, and (iv) $M_3C \rightarrow W_2C \rightarrow M_6C + M_{23}C_6$.

The rate of the carbide reactions taking place towards equilibrium during tempering were very slow, owing to the low mobility of molybdenum atoms.

I. 緒 言

Cr-Mo-V 熱間工具鋼は、0.35%C, 5%Cr を基準組成として、これに少量の Mo (W), V および Si を添加し、高温強度ならびに耐酸化性を向上させたものであつて、近年、非鉄合金のプレス型用、ダイキャスト型用あるいは航空機部品の耐熱構造用として盛んに使用され

る鋼種であり^{1)~3)}、JIS (1956) においては SKD 6 および SKD 61, AISI では H11, H12 および H13 として規定されている。本研究においては、Table 1 に示す組成の4種類の Cr-Mo-V 熱間工具鋼の焼鈍、焼入ならびに焼戻組織中に存在する炭化物を、塩酸法によつて鋼中から電解分離し、この炭化物について化学分析ならびに X 線分析を行なつて、鋼の熱処理に伴う炭化物

Table 1. Chemical composition of specimens (%)

Marks	JIS	AISI	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W
HWD 1	SKD 6	H 11	0.33	1.14	0.39	0.010	0.013	5.74	1.29	0.40	—
HWD 11		H 13	0.34	1.02	0.30	0.012	0.015	5.62	1.31	0.83	—
HWD 2	SKD 61	H 13	0.37	1.04	0.33	0.010	0.013	5.52	1.30	1.05	—
HWD 3		H 12	0.30	0.99	0.34	0.014	0.012	5.62	1.22	0.63	2.10
W-Cr-V	SKD 4		0.36	0.16	0.23	0.015	0.016	2.15	—	0.68	4.13
H.C, H. Cr, Mo	SKD 11	D 2	1.41	0.27	0.32	0.017	0.023	13.13	1.20	—	—

* 昭和 34 年 4 月本会講演大会にて講演 ** 名古屋工業大学 工博 *** 東北大学工学部