

リムを超耐熱鋼 LCN-155 で作れる大型複合車盤の製造研究*

石原善雄**・玉置正一**・出口喜勇爾**

STUDY ON MANUFACTURING THE LARGE COMPOSITE
WHEEL, OF WHICH RIM IS MADE OF THE SUPER-
HIGH GRADE HEAT-RESISTING STEEL LCN-155*Yoshio Ishihara, Shoichi Tamaki, Kiyoji Deguchi*

Synopsis:

(1) To establish the production technique of the large forgings of the super-high grade heat-resisting steel LCN-155 and its weldings, the authors studied, experimentally on manufacturing the large composite wheel, of which rim is made of LCN-155, outer dia. 600 × inner dia. 300 × thickness 60 mm, and of which the boss is made of Car-Mo steel. (2) After several tests with small capacity furnace, they melted LCN-155 by a 2-ton high frequency induction furnace, especially investigating raw materials and melting conditions, and casted the octagonal 350-kg ingots. (3) After enough diffusion annealing of these ingots, they forged and swaged them cautiously, checking the temperature and the methods of forging, but the cracks were found at the end surface while swaging $\phi 8'' \times$ length 540 mm $\rightarrow \phi 270 \times$ length 330 mm by 2,000 ton hydraulic press. According to the results of macro-and micro-structure examinations, these cracks were considered to be caused by "inner wrinkles" due to the enormous segregations of the impurities, carbides and others. (4) Referring to the previous test, they melted LCN-155 again by 2 ton induction furnace, swaged, core-punched, ring-forged and at last succeeded to make up the rim without any cracks. (5) Before welding, they solution-treated the rim at 1,200°C and annealed the boss. After welding they heated the wheel at 800°C × 24h followed by furnace cool, which represented both of stress-relief and aging of the rim. (6) Because they could not obtain the welding rods of AISI 309 Cb in both of domestic and abroad markets at that time (1953-4), they made trial manufacture of the coiled $\phi 1.6$ mm wires for sigma welding from melting to wire-drawing. (7) For the grooves which were designed by many preliminary welding results, they performed the sigma welding semi-automatically; but, for the reason that the size and the quality of rod were not sufficiently uniform, welding was often stopped. In the result the deposits were unsatisfactory and ununiform. Therefore, they used AISI 310 rods of Lindé Co. for welding the opposite side. (8) It was very difficult to cut this welded wheel. The welding of the deposits was observed to be not good by the macro-structure test for the longitudinal section of the wheel. (9) For these super-high grade heat-resisting steels, it was better to be welded by the similar metal rods, so they prepared the rim and boss of same dimension and LCN-155 $\phi 5$ mm welding rods, and welded by the argon-arc tungsten method, checking the welding procedure in detail. (10) By macro-and micro-structure tests for the longitudinal section, it was observed that the deposits were well welded. Consulting with the high temperature mechanical test results, they confirmed that the mechanical strength of the rim, which was exposed at high temperature, corresponded well to that of boss which was rather kept at lower temperature. However, without checking by the spin test, they cannot mention at present about the influences of the low elongation, contraction and impact values when the test pieces break at the deposits. (11) By these studies the authors could complete the large composite wheel as aimed at the first time, of which rim became superior in the material quality through core-punched and ring-forged, and could resist up to about 750~800°C. Also they could save 1/3~1/4 quantity of the expensive heat-resisting steel in the composite wheel as compared with the solid wheel.

* 昭和 31 年 10 月本会講演大会にて発表 ** 日本特殊鋼株式会社

I. 結 言

超耐熱鋼 LCN-155 の大型鍛造品およびその熔接構造の生産技術を確立する目的で、リムを LCN-155、ボスを Cr-Mo 鋼で作れる大型複合車盤の製造研究を行った。なおこの複合車盤のリムは、不純物の多くなりがちな鋼塊の芯部を除去して ring forge するため、材質的に優秀なものがえられ、これにより約 750~800°C の高温にまで耐え、また一体型に比し超耐熱鋼が 1/3~1/4 節約できる。

II. 研究 方 法

- 1) 各種試験熔解後高周波電気炉で LCN-155 を 2 t 熔解, 8 角 350 kg 鋼塊に鑄造
- 2) この鋼塊を 2,000 t 水圧機および 2¹/₂ t 気鍛により据込および ring forge
- 3) 再熔解, 再鍛造
- 4) 熔接棒の試作
- 5) 熔接予備試験
- 6) 車盤のシグマー熔接およびアルゴン共金熔接
- 7) 熔接部の材質試験等の各項目につき研究した。

なおかかる熔解, 鍛造および大型車盤の熔接の実際作業に関しては内外ともに適当な文献が見当らず, わが国ではもちろんはじめての製造研究であつたので, 非常な苦心を伴つた。以下これを略述する。

III. 熔 解

昭和 28 年 1~4 月において LCN-155 の 50~100 kg 鋼塊を試作鍛造した。当時はまだ ferro-Cb 入手難のため, Cb は含有せしめず, Mo は金属 Mo, Ni は国産電解 Ni を使用したが, 最初の 50 kg 鋼塊は気泡があつたため鍛造を進めても最後まで微細疵が発生した。その後再熔解により健全な製品を作ることができるようになった。

つづいて 2 t 高周波電気炉による大量熔解に着手したがその原料は, 製品の C を 0.12% 以下にするために, アームコ鉄は C 0.05, Mn 0.10% のものを, Cr は一部は C 0.10, Cr 97.5% の金属 Cr を, 一部は C 0.09 Cr 62% の輸入極低 C ferro-Cr を, Mo は C 0.04 Mo 70% の輸入極低 C ferro-Mo を, Ni は 99% の国産電解 Ni を, Cb は 61.25% の ferro-Cb を, N は上記極低 C ferro-Cr を粉碎 1,200°C×約 6 h 窒化 N 1.95% 含むものを使用した。酸性炉により, 熔落後の熔鋼の温度測定は dip pyrometer によつた。ライ

ニングが流れた様子もみうけられないが鋼滓はやや粘り多く次第に量も増した。

参考のために [H], [O] の変化をみると,

i) 熔落 [H]=4.22 cc/100 g [O]=0.0470%

ii) 窒化 Ferro-Cr および Ferro-Cb 投入前

[H]=4.19 [O]=0.0456

iii) 出鋼前 [H]=5.94 [O] は N₂ 多きため分析不能
出鋼直前 1530°C, 取鍋内 1500°C, 8 角 350 kg に注型の際温度低くみえたが, 最初は湯流れよく, 終には流れ悪くなり, ホッパーにつきはじめ穴小さくなり, 最後の鋼塊は注ぎ終ると同時に表面が固つた。optical pyrometer にて 1,400~1,380°C 炉壁の損傷は目立つほどのことはなかつた。鋼塊の凝固に比較的時間がかつたが, 鋼塊は凝固後ただちに鑄型より抜き, 高温のままて鍛造加熱炉に装入した。

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.07	0.85	1.31	0.019	0.015	20.57
Ni	W	Mo	Co	Cb	N
20.37	1.86	2.81	20.55	0.71	0.12

IV. 鍛 造

かかる高級超耐熱鋼は高温度において強いことすなわち硬いことが特徴で, これを無理に強く鍛造したりあるいは鍛造温度を上げたりすれば割れを生ずる, とくにこれは粗延の時にはなほだしい。よつて加熱炉に装入された鋼塊は, 鑄造組織をできるだけ拡散させ鍛造を容易ならしめるために, 約 1,100°C に長時間連続均熱した後, 2¹/₂ t 気鍛により鍛造の温度および方法に非常に注意してようやく φ8" (タップ仕上) にまで鍛伸した。鋼片の一端部の断面のマクロ組織を検したところ良好であつたので, 全鋼片を旋削疵取後 2¹/₂ 気鍛で長さ 540 mm に材切り, 2,000 t 水圧機で徐々に据込鍛造したところ端面にわずかに亀裂が現われ, 鍛造の進行とともにこれらはつきりとしてきた。よつて φ270×l 330 mm で据込を中止し, 頭部および底部のマクロ組織, 顕微鏡組織を検したところ, 鋼塊芯部に不純物や炭化物等のいちじるしい偏析に基因する「もめ」によると推定される亀裂が発生していることが分つた。これの長さの方向およびこれと直角方向の種々の位置において超音波探傷を行い内部疵の存在範囲を推定すると, 中心部約 φ150 mm にわたつていることが知られたので, 中心部をボーリングにて穿孔し, この孔をどの程度まで拡大したならば疵がな

くなるかを検討したところ、中心部約 $\phi 150\text{mm}$ で疵がなくなり前述超音波試験結果と概して一致した。

つぎにこのように芯部の疵を穿孔除去したものを据込み、複合車盤のリムがえられないかどうかを検討したがこのチャージでは最初の目的にそわないので、再溶解することとした。

V. 再溶解, 再鍛造

溶解原料は今回は、Cr は金属 Cr を全然使用せず、輸入極低 C ferro-Cr と少量の国内産 ferro-Cr とを混合したものを、N は前回の窒化 ferro-Cr と国内産窒化 ferro-Cr とを混合したものを使用した外は、すべて前回とおなじものを使用した。前回の溶解条件を参考にし十分に注意しながら溶解した。dip pyrometer にて出鋼直前 1560°C 、取鍋内 1530°C 、流れ良好で注型温度 optical pyrometer で $1420\sim 1405^{\circ}\text{C}$ 前回同様 350 kg 鋼塊を作つたが、鋼塊肌はいずれも良好で、高温のまま鍛造加熱炉に装入した。製品の化学成分はつぎのとおりである。

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.05	0.66	1.38	0.027	0.018	19.86
Ni	W	Mo	Co	Cb	N
20.03	1.98	2.96	20.12	1.03	0.15

鋼塊は長時間拡散加熱後、今回は 2,000 t 水圧機で粗角 7" に、つぎに $2\frac{1}{2}\text{t}$ 気鎚で $\phi 7"$ とし、約 $\phi 170\text{mm}$ に旋削疵取した。超音波探傷試験結果が非常に良好であったので、これを $\phi 170 \times l$ 約 720 mm に材切り、2,000 t 水圧機で $\phi 430 \times l$ 約 120 mm にまで据込後中心部において $\phi 130\text{mm}$ の芯抜き穴あけ作業をなし疵取し

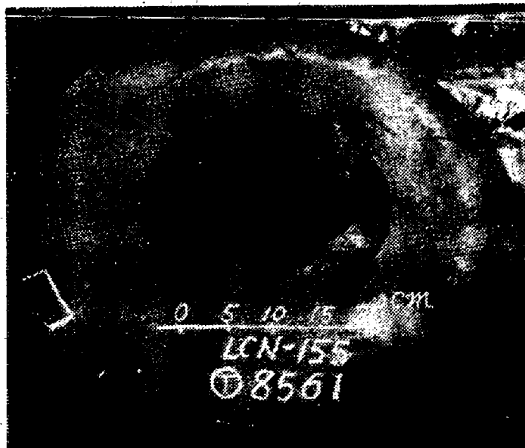


Photo. 1. LCN-155 rim as forged and sol.treated.

た。ここまでの鍛錬係数は $2.4(6.0)$ である。これをさらに鍛造後所定のリム、すなわち外径 $6000 \times$ 内径 $300 \times$ 厚 60mm に仕上げ、 $1,200^{\circ}\text{C}$ 油冷した。これを Photo. 1 に示す。

ボスの Cr-Mo 鋼は、焼鈍状態において使用するため強さと溶接性を考慮し、つぎのごとき成分のものを 2 t 高周波電気炉で溶製し、直径 $350 \times$ 厚 60mm に鍛造した。

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
規格	0.35 ~0.40	<0.50	0.30 ~0.60	< 0.030	< 0.030	2.00 ~2.50	0.50 ~1.00
製品	0.35	0.28	0.48	0.019	0.013	2.46	0.68

VI. 溶接棒の試作

リムとボスの溶接にはシグマー溶接機を使用する予定で、その際芯線は最大 $\phi 1.6\text{mm}$ なるを希望され、所要量は概略 15 kg である。その材質は、このような超耐熱鋼に対して共金溶接が最もものぞましいのであるが、LCN-155 のかかる細線は到底入手できなかつたので、AISI 309 Cb を使用することとした。しかしこれとても当時は国内製品はもちろん外国品の輸入も見込が立たなかつたので、日本特殊鋼において溶解、製線することとした。これには非常に困難を感じ、時日を要した。まずつぎのごとき成分の 8 kg 鋼塊 7 本を試験用高周波電気炉にて溶製し、 $\phi 8\text{mm}$ に高温鍛伸し、つぎにそれら各長さ 1 m 鍛伸材を冷間線引して $\phi 1.6\text{mm}$ 捲取線材とした。すなわち線径の比較的太い間は swaging machine により冷間鍛伸し、矯正する。表面研磨はセンターレスグラインダーを数回通し、表面疵、捲込、しわ等を除去する。これらを軟化、歪取焼鈍とともに適宜繰返してある程度の細さになれば、線材表面の凹凸を平滑にして爾後の引拔を可能ならしめるよう表面研磨し、口付け、酸洗後、伸線と歪取焼鈍とを適宜繰返して、最後に仕上伸線する。1 回の伸線作業によつて線径は $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 程度しか引きおろすことができず、そのつど歪取焼鈍しなければならないが、かかる高合金鋼に対しては歪取焼鈍がなかなかきかない。最後に各把の端部を溶接して 3~4 kg 単位の大把とし、溶接部の凸状は線径まで摺落して一様にして後、酸洗して表面の引拔潤滑被膜を落す。これら焼鈍温度および時間や、酸洗用酸、潤滑剤等に関しては十分研究しながら作業を進めたのである。

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cb
規格	<0.10					>22.0	>12.0	$\geq 10C, \leq 1.20$
製品 1	0.100	0.28	0.49	0.019	0.019	22.52	12.04	1.19
2	0.090	0.33	0.51	0.016	0.016	22.88	12.19	1.33
3	0.100	0.31	0.48	0.019	0.015	22.72	12.19	1.16
4	0.100	0.32	0.50	0.020	0.020	22.69	12.09	1.09
5	0.099	0.27	0.45	0.015	0.010	21.48	12.09	0.90
6	0.089	0.25	0.44	0.021	0.010	21.32	12.29	0.89
7	0.099	0.26	0.45	0.021	0.010	21.32	12.14	0.83

VII. 熔接予備試験

ビードおき、割れ、熔接硬化試験等を行った後、開先の形状を検討した。これらの中、割れと熔接硬化とを同時に試験した亀裂性試験の一例を略述するととめる。これは母材の Cr-Mo 鋼および LCN-155 の平 10×60×7 (110mm) 試片をたとえば Fig 1 に示すとき順序で並列し固く縛っておき各種熔接条件でビードをおいた後縛りを解いて各母材々質問の歪によるビードの亀裂状況やビードと母材間の硬度分布 (Fig. 1 に示す)、顕微鏡組織の変化をしらべた。これらの諸予備試験により Cr-Mo 鋼のボスと LCN-155 のリムとを熔接する場合

の開先は Fig. 2 のごとく、また予熱温度は 350~400 °C と決定した。

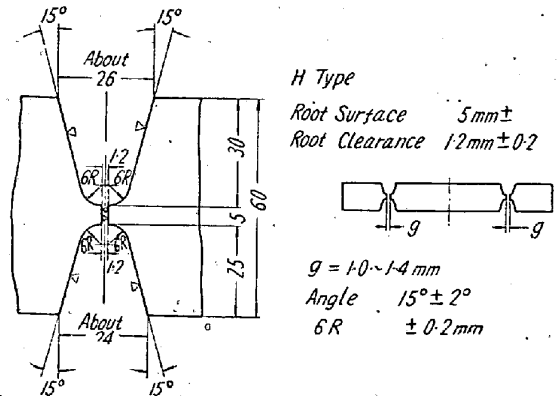


Fig. 2. Groove dimension of rim and boss.

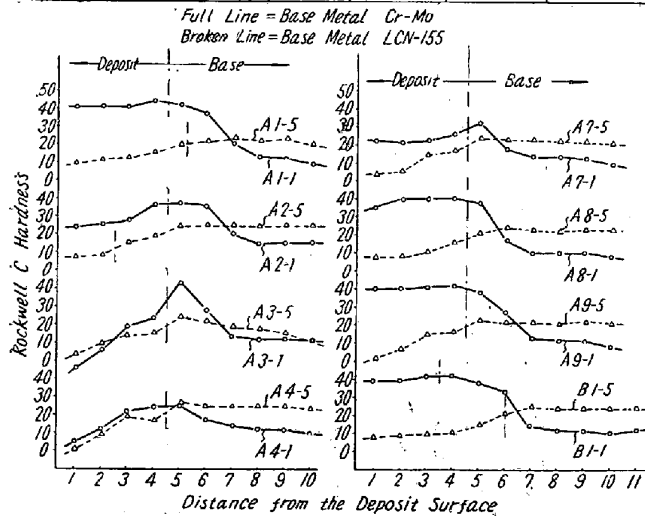
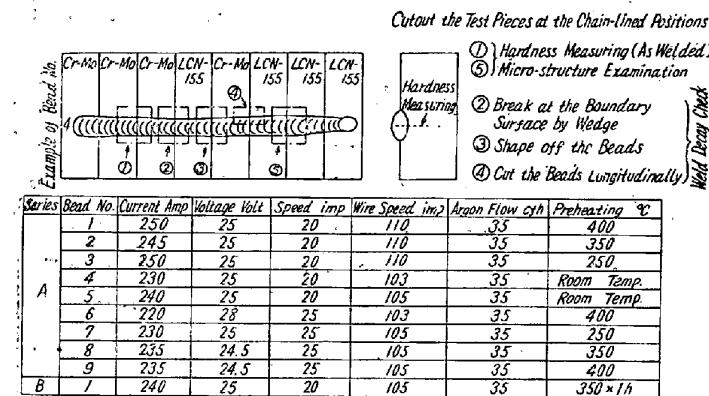


Fig. 1. Weld decay experiment and hardenability by welding.

VIII. 車盤のシグマー熔接

車盤の熔接は運輸技術研究所熔接部のシグマー熔接機 (スイス B.B. 社製直流, コントロールパネルおよびトーチはリンデ社製シグマー半自動式 SWM-2 を走行キャリエツジに取付) を御願ひした。まず Fig. 3. に示

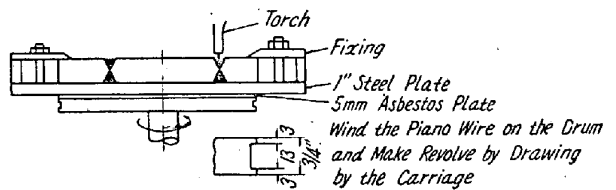


Fig. 3. Welding equipment.

すとき治具を作り、トーチは固定し、リムおよびボスを治具台上に載せ、治具台下の廻転ドラムの溝にピアノ線を巻きかけ、キャリエツジで引張り廻転させながら熔接する。予熱はアセチレンガスバーナーで上部より加熱した。芯線は最初前記試作 25-12 Cb の φ1.6mm を使用した。これは線引後十分表面研磨を行い、芯線送り出しダイスより芯線が円滑になるように細心の注意を払って製造したのであるが、はじめての試作品であるため線の肌は Photo. 2 (A) に示すごとく粗く、また疵のあるところは切つて点熔接して研磨したためもあつて、線



(A) Rod, manufactured experimentally (B) Rod of Lindé Co.
Photo. 2. Surface of sigma welding rods $\phi 1.6\text{mm} \times 7(1/2)$

径ならびに材質（硬軟）がまだ十分均等でなく芯線の送りだしが円滑に進行せず、しばしばダイスにつまり、半自動式であるためにつまる毎に芯線のその部分を切捨てて線を通しなおしトーチも修理しなおさなければならず非常に苦勞し、しかも盛金のつきが悪くきたない。この線で溶接の諸条件をきめて片面の開先を盛るのに実に約1週間を要した。よつて試みにリンデ社芯線 AISI 310 の $\phi 1/16''$ をしらべてみると、表面肌は前掲 Photo. 2 (B) に示すごとくきれいであり、線径材質きわめて均等で芯線の送りだしが非常に円滑に行く。ゆえに反対面の開先を盛るのにこれを使用したところ約 2h で片面全部を非常にきれいに盛り終ることができた。溶接後は藁灰と石綿で包んで徐冷した。これを概略車盤の形に旋削仕上げたものを Photo. 3 に示す。ボス部が全面に少しくもつているのは特別に腐蝕したのではない。

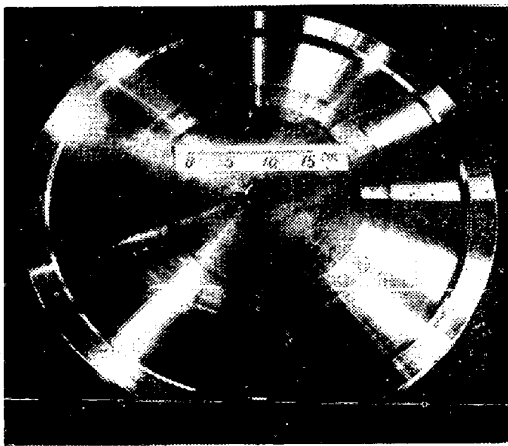


Photo. 3. Composite wheel (sigma-welded) as shaped up.

つぎにこの溶接車盤を中心線を通つて切断し、その縦断面をマクロ腐蝕した。この切断には非常に困難を感じた。マクロ腐蝕はリム部は王水を使用しなければ容易に腐蝕せず、この部分がマクロ組織をあらわすにいたる時はボス部は約 3mm 腐蝕されてやせている。Photo. 4 (A) はこれを示す。さらに顕微鏡組織もしらべたが、これらによれば、溶接部はビードと母材間のみならず各ビード間においてもよく溶け合つておらず cavity や層間亀裂がところどころに認められ溶接は健全とはいえない

かつた。

IX. 車盤のアルゴンアーク共金溶接

かかる超耐熱鋼の溶接においては共金溶接の方がのぞましいことは前述したところであつて、つぎにこれを試験した。LCN 155 のリムと Cr-Mo 鋼のボスとは前回試験したのと同じチャージで同一寸法のもをさらに1個ずつ作り、開先も前回と同一寸法に加工した。芯線はハンマーで LCN-155 を $\phi 5\text{mm}$ にまで鍛伸、センターレスグラインダーで研磨した。溶接装置は今度は日本特殊鋼に設置しアルゴンアークタングステン電極法（電源、コントロールパネルおよびトーチはいずれも電元社製でそれぞれ SR-400 型、SI-400 型および 400 Amp 型水冷金属ノズル、直流正極性）によつた。予熱はコークス炉を溶接機のごく近くに設置し、リムおよびボスを炉の上に載せ石綿にて溶接部以外は覆い、約 2h にて $350 \sim 400^\circ\text{C}$ に上昇させた。

今回はアルゴンアークトーチを手動にて溶接作業を行い、溶接速度の調節、盛り方の加減、溶接のやりなおしその他の溶接条件を自由に換えられたために、このような試験溶接においては前回のシグマ半自動溶接より好都合であつた。

溶接はいろいろ検討した結果、概略つぎのような要領で行つた。すなわち、まず円周数ヶ所、適當の長さで一層盛りで裏側仮止する。ルートパスは表側第1層盛り、左進法により全円周溶着しこの部分は裏はつりの際削除する。表側下層は Fig. 4 に示すごとく、漸進ブロック法（区切り溶接法）による。全溶接長を数ブロックに分割し、1ブロックずつ溶着完成後左方向に順次盛り。パス奇数番号は左進法、偶数番号は右進法により、最終パ

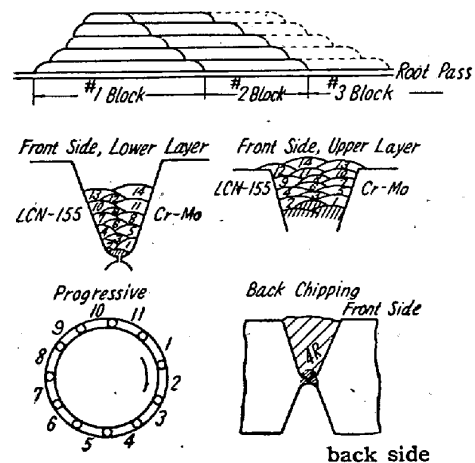


Fig. 4. Welding procedure with the similar metal rod.

溶接区分		タングステン電極径	溶接棒径	溶接電流	アルゴン流量	予熱温度*
仮表裏 下上裏上	付層層層層	5 mm φ	5 mm φ	180 Amp	10 l/mn	300°C
	付層層層層	〃	〃	190	〃	450~500
	付層層層層	〃	〃	200	〃	650~690
	付層層層層	〃	〃	220~230	〃	550~700
付層層層層	〃	〃	200~210	〃	600~700	

* 予熱温度はかなり上昇したが、実体の溶接にはこの方がかえって良好であった。

スまでアークは切らず連続パスとする。つぎに下層の上を同様に数ブロックに分割、ただしブロック間の継目は下層の継目とプラス、左方向に順次盛る。パス番号奇数は左進法、偶数は右進法により、やはり最終パスまでアークは切らず連続パスとする。裏はつりは旋盤加工により、底4 Rとする。裏側も同様にして順次施行する。

溶接後は溶接の歪取焼鈍とリムの LCN-155 の ageing (1200°C sol. treat.は溶接前に施行済み) を兼ね Fig. 5 に示すごとき予備試験やその他を参照して 800°C×24 h 加熱炉冷後両面を 2 mm 旋削してみたが、盛金部外観は良好であった。

X. 共金溶接部の材質試験

このようにして共金溶接した車盤を前回と同様にして縦断面のマクロ組織を調査した。車盤のリム部の切断には前回よりもさらに困難を感じた (ageing が施されているため) が、タングステンカーバイト工具にて大型プレーナーによりまず半分に縦断し、しかる後その断面を研磨仕上げした。王水腐蝕によつても、共金溶接のため、盛金とリムとの境界は中々はつきりしないが、さらに強く腐蝕して行く時は盛金とリムとの境界も判明してくる。Photo. 4 (B) はこれを示す。一般に、鋼塊の不純物の集積しがちな芯部に相当するところを孔あけ除去することなく据込 ring-forge した車盤の縦断面のマク

表中 C 0.70 とあるを C 0.07 に訂正す

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	W	Mo	Co	Cb	N
0.70	0.75	1.08	0.016	0.015	20.06	20.38	2.03	2.93	20.93	1.16	0.20

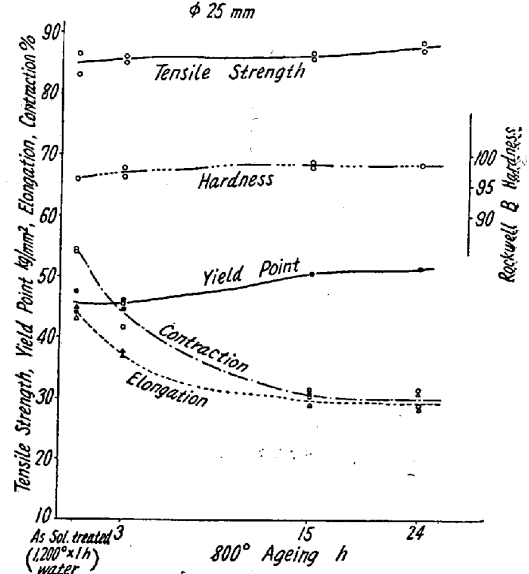
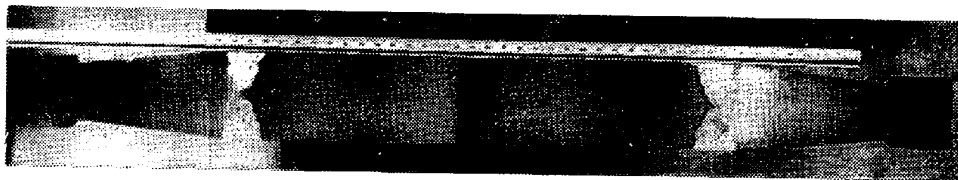


Fig. 5. Influences of ageing on the mechanical properties of LCN-155.

ロ組織に比し、かかる不純物の偏析が認められず、材質的に優秀なことが分る。また Photo. 5 に一例を示すごとく溶接各部の顕微鏡組織を詳細に調査したが、これらによりビードと母材間、各ビード間いづれもよく溶け合つていて溶接ははなはだ健全であり、これを、リムを Timken 16-25-6. で作った外国製車盤の実物調査結果²⁾

と比較するに、優るとも劣らないことを知つた。

つぎに車盤の各部より引張およびシャルピー試片を切出して高温試験を行つた結果を Table 1 (ボスからは試片をほとんど切出すことができなかったののでこれと同一チャージの同一寸法のボスを同様に熱処理したものから切出して試験した。) に、溶接部の硬度変化を Fig. 6 に



(A) First trial, sigma welded



(B) Second trial, welded with similar metal rods

Photo. 4. Macro-structures for longitudinal section of the composite wheels (etched by aqua regia)

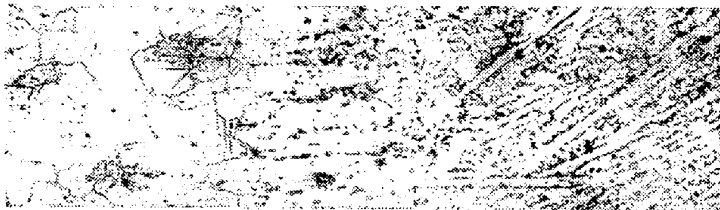
1) 出口, 鉄と鋼, 40 (昭29), 1120; 41 (昭30) 134

2) 出口, 日本航空学会誌, 2 (1954), No. 4, 24

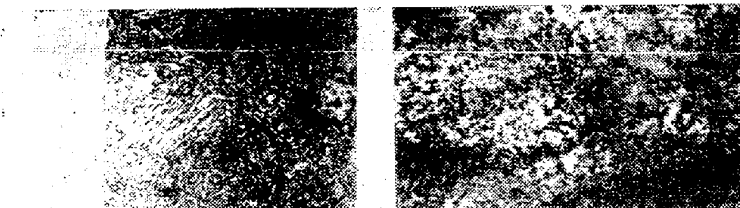
Table 1. High-temperature mechanical properties of the test pieces cut from the composite wheel.

Position	Direction	Test temp. °C	Yield point kg/mm ²	Ultimate tens.str. kg/mm ²	Elongation %	Contraction %	Charpy kgm/cm ²	Point of failure	Brinell hardness	
Boss Cr-Mo steel	Tangential	Room temp.	34.4	64.0	26.8	54.8	7.9, 8.1	1/2	179	
		450	24.0	59.3	20.0	52.0	14.0, 13.0	//		
		550	27.3	54.5	24.0	56.8	10.9, 10.7	//		
		650	17.5	37.0	34.0	79.1	9.9, 10.7	//		
		Room temp.	31.8	64.9	24.2	48.0	6.0, 6.0	//		170
		450	24.0	57.7	29.4	48.5	10.5, 10.5	//		
	500	22.1	62.3	21.0	48.0	11.9, 9.5	//			
	550	18.8	61.0	20.6	48.0	8.3, 10.1	//			
	600	16.9	47.6	26.0	64.8	8.9, 7.3	//			
	650	17.2	40.5	31.4	72.8	10.7, 10.7	//			
	Welded* part	Radial	Room temp.	41.1	65.0	5.7	5.7	1.2, 4.7	Deposit	241
			450	36.2	55.3	5.2	8.9	//	//	
550			32.7	50.8	5.7	11.3	2.9, 4.8	//		
600			26.8	42.5	4.9	8.1	//	//		
650			31.0	41.6	3.3	6.5	4.7, 4.8	//		
700			32.7	40.7	18.6	79.0	4.3, 4.8	Boss		
Rim LCN-155	Tangential	Room temp.	44.2	82.7	30.5	36.0	5.8, 5.3	1/2	217	
		450	36.2	67.2	27.6	29.1	7.3, 6.8	//		
		550	30.0	66.3	27.4	36.0	6.6, 7.1	//		
		600	31.8	65.5	26.2	29.1	6.5, 7.3	//		
		650	26.8	62.3	25.8	30.5	8.1, 7.3	//		
		700	33.2	58.0	25.1	37.2	8.1, 8.9	//		
		750	29.2	42.9	27.2	36.0	8.5, 7.7	//		
		800	27.0	38.9	27.9	36.0	//	//		

* Including the deposits at the middle part of the test pieces.



(A) LCN-155 rim ← → LCN-155 deposits



(B) (C)

LCN-155 deposits ← → Cr-Mo boss Core of Cr-Mo boss

Photo. 5. Micro-structures of welded parts

(Etched by { glycerin sol. of aqua regia for LCN-155 } { HCl sol. of FeCl₃ for Cr-Mo }

×100(1/2)

示す。文献³⁾に出ている一体型 LCN-155 車盤は径375

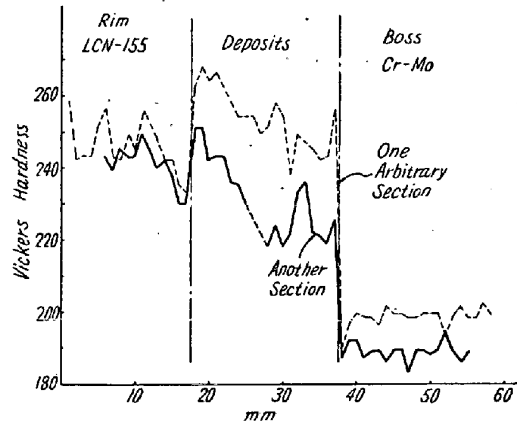


Fig. 6. Hardness distribution on the sections of composite wheel.

×厚 111mm であるのでこれと比較はできないが、リムの機械的性質はこの大型複合車盤の方がよいようである。またこれによつてみれば、リム部は高温にさらされるがボス部は比較的低温に保持される場合の両者の強度は概してつりあうことが首肯されるがただ盛金部で破断した場合の伸、絞、衝撃値がはなはだ低い点が実用上如何に影響するか、これは運転試験によ

3) H. C. Cross, J. W. Freeman, NACA, TN.

No. 1230

つても検討する必要がある。

XI. 総 括

以上のべたところを総括すればつぎのとおりである。

1) 超耐熱鋼 LCN-155 の大型鍛造品およびその溶接構造の生産技術を確立する目的で、外径 600×内径 300×厚さ 60mm のリムを LCN-155 で、そのボスを Cr-Mo 鋼で作れる大型複合車盤の製造研究を行った。

2) LCN-155 の溶解は、数回の小鋼塊の試験溶解の後、溶解原料や溶解の諸条件にとくに注意を払いながら 2t 高周波電気炉によつて行い、8角 350kg 鋼塊を溶製した。

3) これらの鋼塊を十分拡散焼鈍を施した後、鍛造温度および鍛造方法を検討して細心の注意を払いながら鍛伸および据込鍛造を進めたが、2,000 t 水圧機で $\phi 8'' \times l 540 \text{ mm} \rightarrow \phi 270 \times l 330 \text{ mm}$ に据込鍛造する際、端面に亀裂が発生した。マクロおよび顕微鏡組織の調査結果によれば、これは鋼塊芯部に不純物や炭化物等のいちじるしい偏析に基因する「もめ」が生じたためと推定された。

4) 前回の結果を参考にして LCN-155 を 2t 高周波電気炉にて再溶解したが、今度はなんら亀裂を生ずることなく据込、芯抜き、ring forge して所定のリムを仕上げる事ができた。

5) 熱処理は、リムは 1200°C sol. treat. を、ボスは焼鈍を施しておき、溶接後歪除去とリムの ageing とをかねて 800°C × 24h 加熱炉冷した。

6) 使用すべき AISI 309 Cb の溶接棒は当時内外とも入手難であつたために、日本特殊鋼においてシグマ一溶接用 $\phi 1.6 \text{ mm}$ 巻取線材を溶解から製線まで試作した。

7) 各種溶接予備試験結果によつてきめた開先に対し上記試作溶接棒を使用してシグマ一溶接を行つたが、棒の線径、材質がまだ十分均等でないため、溶接が断絶し

盛金がきたなく溶着不均一でうまく行かなかつた。よつて反対側の面はリンデ社製 310 棒を使用した。

8) この溶接車盤の切断には非常に困難を感じたが、その縦断面のマクロ組織を検するに、盛金の溶着はあまり良好ではなかつた。

9) かかる超耐熱鋼に対しては共金溶接の方がのぞましいので、さらに前回と同一寸法のリム、ボスおよび LCN-155 $\phi 5 \text{ mm}$ 溶接棒を作り、アルゴンアークタングステン電極法によつて溶接要領を十分検討後共金溶接を行つた。

10) これの縦断面のマクロおよび顕微鏡組織を検するに、盛金の溶着は良好であつた。また車盤の各部より切出した試片の高温機械的諸試験結果によれば、高温にさらされるリムと低温に保持されるボスとの強度関係はつりあつている。ただ盛金層で破断する際の伸、絞、衝撃値の小さいことの影響は運転試験にでもよつて検討しなければならぬだろう。

11) 以上の製造研究により、最初目的とした大型複合車盤の健全なるものを作ることができ、そのリムは芯抜きして ring forge するため材質的に優秀であり約 750~800°C の高温まで耐え、また一体型に比し高価なる超耐熱鋼が 1/3~1/4 節約できることとなつた。

本製造研究は昭和 28 年度通産省応用研究補助金を受けたものであり、この大型複合車盤は昭和 30 年 3 月第 2 回日本工業技術展において東京通産局長賞を授与された、附記して関係各位に謝意を表す。またシグマ一溶接に関する運輸技術研究所溶接部鈴木春雄博士の甚大なる御援助に対し厚く御礼申し上げます。

なお本研究の発表を許可されたる大河原社長に対し、また熱心に製造研究を遂行された安藤、塚本、阿部、布袋、田各課長松下係長その他関係諸氏に、また溶接に関しては河村部長、望月課長、柏原、関、増田各係員に深謝する。

(昭. 31—6 月寄稿)