加熱鋳型式連続鋳造法により製造された ステライト材の性質と応用

山崎 裕之*† 大野 篤美* 清水 亨**

*千葉工業大学工学部金属工学科

**大阪富士工業株式会社 OCC グループ

J. Japan Inst. Metals, Vol. 58, No. 9 (1994), pp. 1061-1066

Mechanical and Physical Properties of Stellite Rods Produced by Heated-Mold Continuous Casting Method (OCC)

Hiroyuki Yamazaki*, Atsumi Ohno* and Toru Shimizu**

*Department of Metallurgical Engineering, Chiba Institute of Technology, Narashino

**O.C.C. Division, OSAKA FUJI Corporation, Amagasaki

Stellite alloy rods produced by the heated mold continuous casting (Ohno Continuous Casting) method exhibit a unidirectional structure. The mechanical and physical properties of these products have been examined. It was found that the OCC stellite materials have superior wear, corrosion and shock resistance properties compared with those of weld-deposited stellite materials. Thus, it was proposed in this work that OCC rods with different cross-sectional shapes can be simply welded onto the objects which require wear resistance by using the existing joining techniques.

(Received March 10, 1994)

Keywords: Ohno continuous casting process, stellite, net or near net shape casting, rod with different cross-sections

I. 緒 言

一般にステライトと呼ばれている Co-Cr-W 系合金は、熱間、冷間を問わず硬く、優れた耐磨耗性、耐食性を有する材料として知られ、耐磨耗性が要求される製品の表面硬化肉盛溶接用の材料として、各種工業分野で広く用いられている。ステライトを用いた肉盛溶接は、Fig. 1(a)に示したように一般に TIG 溶接もしくは酸素-アセチレンガスを用いたガス溶接などにより何層かに肉盛を行い、その後、切削または研削加工により使用形状に成形して製品としている。しかしながら、ステライトの肉盛溶接は、ある程度熟練が必要であるとともに、極めて硬いために溶接後の加工に非常に手間が掛かる。そこで肉盛部の形状をもったステライトの棒材を Fig. 1(b)に示したように、直接母材に接合することにより、溶接による諸問題を解決し、さらに肉盛溶接後の加工工程も著しく簡略化できるものと考えられる。著者らは、すでにこの方法に用いるための肉盛部の形状を有したステライト棒材が、加熱鋳型式連続鋳造法 (OCC プロセス⁽¹⁾)により連続的に得られること、さらに得られた鋳塊は、等軸晶などの無い一方向凝固組織からなり、なおかつ巣や気泡などの鋳造欠陥の存在しない健全な鋳塊であるこ

Fig. 1 Comparison of the conventional method (a) with the proposed method (b).

† 千葉工業大学大学院生

とを報告⁽²⁾した。

本研究は、OCC プロセスにより得られたステライト鋳塊を有効に使用するために、その性質を明らかにすることを目的とし、さらにその応用として OCC ステライト鋳塊を母材に接合する方法について検討した。

II. 実 験 方 法

1. 試験片の作製

Table 1 は、本研究に用いたステライト No. 6 と他の代表的なステライトの組成および物性的性質を示したものである。ステライト No. 6 は、ステライトの中では比較的硬さが低く、各試験片の切り出し作業が容易に行える利点がある。

試験片は、ステライト No. 6 の OCC 鋳塊から切り出したものと、その比較材として、厚さ 20 mm の SUS316L ステンレス鋼にステライト No. 6 を肉盛溶接し、その部分を切り出したものを用いた(以下本論文では、これを肉盛金属と呼ぶ)。なお、溶接時には、健全な肉盛層を得るために、Ar ガスを用いた TIG 溶接を施し、その溶接条件は、予熱300°C、溶接電流 180 A(直流正極性)で、直径 6.4 mm の溶接棒で、手盛で5~6層の多層盛りした。各試験片の切り出しは、極薄砥石を用い、必要に応じて超硬合金製(JIS K10)の切削工具による加工および研磨布紙により表面仕上げを行った。

2. 腐食試験

ステライトは、優れた耐食性を有する材料として知られている。そこで、OCC 鋳塊と従来法の肉盛溶接した肉盛金属部分との耐食性について比較を行った。

試験片の形状は、12×14×4 mm であり、表面は JIS 400 番の研磨布紙で仕上げた後に、メタノールで洗浄し乾燥させた。そして、試験片全体を、35%塩酸水溶液に、室温(平均25°C)で 72 h 浸漬させて、浸漬前後の重量変化の測定および腐食後の試験片の外観を観察した。

比較材は、母材の希釈による影響が大きく、鉄とニッケルの増量が認められた母材との境界面から 1~5 mm 層の(a)と、ほとんど成分変化が見られなかった 6~10 mm 層の(b)の2種類の肉盛金属を用いた。**Table 2** に、試験に用いた各試験片の成分分析値を示した。

3. 摩耗試験

ステライトは、硬く優れた耐摩耗性を有した材料として知られ、特に金属間摩耗に優れた特性を示すと言われている。そこで、耐摩耗性を比較した。

Table 1 Chemical composition and physical properties of stellite alloys.

	Chemical composition (mass%)					Melting temperature (°C)	Density (kg/m ³)	Specific heat J/(kg·K)
	Co	Cr	W	C	Fe			
Stellite No. 1	Bal.	30	12	2.5	<3	1265	8480	393.3
Stellite No. 6	Bal.	28	4	1.0	<3	1290	8420	422.6
Stellite No. 12	Bal.	29	8	1.35	<3	1285	8470	410.0

Table 2 Chemical composition of specimens used for corrosion testing.

	Co	Cr	W	C	Fe	Ni
Welding rod	64.03	28.78	5.00	1.26	0.37	0.13
Deposited metal (a)	60.41	28.15	4.55	1.09	4.48	1.89
Deposited metal (b)	64.10	28.66	4.85	1.18	0.62	0.18
OCC rod	65.36	28.18	4.90	1.04	0.27	0.12

(mass%)

Deposited metal (a) was taken near the base metal and (b) near the surface.

試験には、ピン-ディスク式摩耗試験機のピン先に、板状の試験片が固定できるように改良したものを用いた。先ずピンの先に、厚さ 6 mm, 10 mm 角の試験片を取り付け、相手材の円盤の中心から 75 mm の位置に、試験片の中心がくるように固定した。

この時、相手材には、厚さ 15 mm, 直径 200 mm の S45C の調質材(平均硬さ: HRB97)を用いた。なお試験片の表面は、研磨布紙により表面粗さを Ra 0.2 μm とし、さらに相手材の表面粗さを Ra 1.2±0.1 μm に表面を仕上げた。

これらを用いて、試験片に 294 N の荷重を掛けながら、相手材を一方方向に回転させ、摺動速度 1.75 m·s⁻¹ で 1800 s 試験し、試験前後の試験片の重量変化および表面粗さを測定した。なお、肉盛金属は、母材の希釈による成分変化がほとんど認められなかった母材との境界面から約 8 mm 離れた箇所を摺動させ、これに対して、OCC 鋳塊はその長さ方向と垂直方向の2方向で相手材を摺動させた。

Fig. 2 に、各試験片の摺動面のミクロ組織の写真を示した。写真の白色の樹枝状組織が、タングステン、クロムを含むコバルト固溶体であり、その間には、同固溶体とクロム、タングステン複炭化物の共晶組織である。特に硬い複炭化物の状態が耐摩耗性に影響を与えるものと考えられる。また、ステライトは金属間摩耗に優れた材料であるため、潤滑油を用いて摺動させるとほとんど摩耗しなくなり、その結果から比較を行うことが困難であることから、本試験では無潤滑で摺動させた。

Fig. 2 Microstructures of the specimens and sliding direction during wear testing. (a) Sliding direction is parallel to casting direction of the rod and (b) perpendicular to casting direction (tested on transverse cross-sectional plane of the cast rod).

4. 衝撃試験

ステライトは、炭素を多く含有するために極めて硬い材料であるが、そのぶん靱性に劣る。そこで、耐衝撃性を比較した。試験には、294.2J 形のシャルピー衝撃試験機を用いた。

また一般には、試験片の中心に V 型もしくは U 型の切欠き部を設け、その裏側から衝撃を加えて試験を行っている。しかしながら本試料は、硬くその加工が困難であり、さらに脆性破壊が予想されたことから、切欠き部を設けると比較材との衝撃値の差が顕著にでないものと判断し、切欠き加工は行わずに、室温(約27.5°C)で試験片の中心に正確に衝撃を与えた。

なお、試験片に衝撃を与えた方向は、肉盛金属では、実際の使用状況を考え、母材方向から成長した組織と同一方向に衝撃を与えた。これに対して OCC 鋳塊は、これを母材に接合して用いた場合、鋳塊の長さ方向に対して垂直方向に衝撃が加わるものと考え、その方向に衝撃を与えた。

Ⅲ. 実験結果および考察

1. 耐食性に及ぼす凝固組織の影響

35%塩酸水溶液に、室温(平均25°C)で72 h 浸漬させた試験片の腐食減量を Fig. 3 に示した。このように、OCC 鋳塊は肉盛金属に比べて著しい耐食性の向上が認められた。腐食後の試験片を観察すると、Fig. 4 の OCC 鋳塊は、均一に全面腐食しているのに対し、肉盛金属は、部分的に腐食が進行している箇所が見られた。

ステライト No. 6 は、約 28 mass% のクロムを含有することから、このクロムが表面に薄く緻密な保護膜を形成するために、耐食性が優れているものと考えられる。肉盛金属において、部分的な腐食の進行が見られた理由は、このクロムが均一に含有されず、ビードや結晶粒界などでクロムの偏析が起こり、その周辺でクロムの希薄層が存在したためと考えられる。さらに、ブローホールなどの内部欠陥が存在した場合は、特に

Fig. 3 Results of corrosion test in which samples were immersed in a 35% hydrochloric acid solution at 25°C for 72 h. Deposited metal (a) was taken near the base metal and (b) near the surface.

Fig. 4 Surface appearance of the specimens after corrosion testing. Deposited metal specimen (a) was taken near the base metal and (b) near the surface.

その部分において腐食が進行すると考えられる。また、母材に近い1~5 mm 層の肉盛金属(a)では、母材の希釈による鉄の増量が認められたことから、その影響を受けたものと考えられ、6~10 mm 層の(b)より耐食性の劣化が認められた。

これに対し OCC 鋳塊は、均一な方向凝固組織を示していることから溶質の偏析が少なく、さらに巣や気泡などの腐食が進行するような箇所が存在しなかったために、全面腐食となり耐食性が優れていたと考えられる。

2. 耐摩耗性に及ぼす凝固組織の影響

一般に耐摩耗性は、組織が細かく硬く強度の高い材料であるほど優れた値を示すと言われている。本試験に用いた OCC 鋳塊は、Fig. 2 に示したように、肉盛金属に比べ組織が大きく、平均硬さは肉盛金属が H_v487 に対し、 H_v453 と低い値であった。このことから考えると、耐摩耗性は OCC 鋳塊が肉盛金属より劣ることが推測される。

しかしながら、荷重 294 N、摺動速度 $1.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で 1800 s、無潤滑で S45C と摺動させた結果、Fig. 5 に示したように、鋳塊の長さ方向に相手材を摺動させた OCC 鋳塊(a)は、肉盛

Fig. 5 Results of wear test (without lubricant). (a) Sliding direction is parallel to casting direction of the rod and (b) perpendicular to the casting direction (tested on the transverse cross-sectional plane). Rotating disk material: S45C, Load: 294 N Speed: $1.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, Time: 1800 s.

金属に比べ耐摩耗性の向上が認められた。これは OCC 鋳塊 (a) の組織が、摺動方向に平行に一方方向にんでいたことが影響したと考えられる。そこで摺動後の試験片の表面粗さを摺動方向に対して横切る方向に測定すると、OCC 鋳塊 (a) は Ra 2.2 μm , R_{max} 18.5 μm であり、肉盛金属の Ra 1.6 μm , R_{max} 16.2 μm に比べて表面が粗くなっていることがわかった。このことから OCC 鋳塊 (a) の場合、軟らかいマトリックス層での摩耗が先行し、この時凝着摩耗などにより摩耗粉が発生したとしても、複炭化物相が摺動方向に連続していたため、この摩耗粉による複炭化物の摩耗が起りにくく、ある程度マトリックス層での摩耗が進行すると、その後は硬い複炭化物により摩耗が抑えられるものと考えられる。なお、この場合の相手材の表面粗さは、OCC 鋳塊 (a) の時が Ra 2.8 μm であり、肉盛金属では Ra 3.3 μm となり、試験片の表面とは逆に、OCC 鋳塊 (a) を用いた摺動の方が面の荒れが少なかった。

しかしながら、同じ OCC 鋳塊であっても、鋳塊の長さ方向に垂直方向で相手材を摺動させた OCC 鋳塊 (b) の場合には、肉盛金属と比較して耐摩耗性が劣化した。これは、OCC 鋳塊 (b) では複炭化物相が周期的に存在していたことから、軟らかいマトリックス層で発生した摩耗粉により、硬い複炭化物までも摩耗され、その後の摩耗が進行したためと考えられる。このような摩耗形態は、肉盛金属においても生じていたと思われるが、組織が微細であったことから、その影響が少なかったと考えられる。OCC 鋳塊 (b) の摺動後の試験片の表面粗さを測定した結果、肉盛金属より荒い Ra 2.3 μm , R_{max} 26.9 μm であり、また相手材は肉盛金属と同等の Ra 3.2 μm であり、このことから組織の粗さが影響したことを示唆している。

3. 耐衝撃性と凝固組織の関係

Fig. 6 は、シャルピー衝撃試験による衝撃値を示したものである。OCC 鋳塊は肉盛金属に比べ83%も衝撃値が高くなることが認められた。ステライト No. 6 は、ステライト合金の中では比較的靱性に富んでいるとされているが、炭素を約1 mass% も含有するため一般に衝撃値は低く、Fig. 7 に示した試験後の破面の観察から、全体的に脆性破壊が起こっていたこ

Fig. 6 Results of the Charpy impact test (without notch).

Fig. 7 Fractured surfaces after the Charpy test.

とが明らかである。このような脆性破壊の場合、亀裂が生じるとそれが高速で進展してほとんど塑性変形を生じることなく破断する。そのため、衝撃エネルギーの吸収のほとんどが、初期の亀裂発生時に行われるものと考えられる。

一方、肉盛金属の破面観察からは、組織に沿った破断が認められた。これは、肉盛溶接した試験片に衝撃が加わる方向が、母材から成長した組織と同一方向であったために、衝撃初期に容易に組織に沿った亀裂が発生し、その結果衝撃エネルギーの吸収が少なかったと考えられる。また、肉盛金属においては、その破面にブローホールが存在する試料も見られ、このような欠陥が存在した場合、その箇所が亀裂の起源となり、さらに初期の衝撃エネルギーの吸収を著しく低下させたと思われる。

本研究で用いた OCC 鋳塊の試験片は、肉盛金属のそれに比べて軟らかく、このことが衝撃値に影響を与えたことが考えられる。また、OCC 鋳塊を母材に接合した場合は、衝撃は鋳塊の長さ方向に一方方向に成長した組織に対して垂直に加わることから、肉盛金属の試験片で見られた組織に沿った破断は起こらず、衝撃初期における亀裂の発生が起りにくい。その結果衝撃エネルギーの吸収が多くなったと考えられ、このことが衝撃値を高くした理由と思われる。さらに OCC 鋳塊には、亀裂の起源となる欠陥が存在しなかったことも、衝撃初期の亀裂の発生を抑制したと考えられる。

4. OCC 鋳塊の溶接への応用

OCC ステライト鋳塊を母材に対して適切な方法で接合すれば、従来から行われていたステライトの肉盛溶接より優れた性質を示すことが明らかとなった。そこで、実際に OCC 鋳塊を母材に接合する方法を検討した。

(1) 溶接による接合

溶接を用いる場合は、現在、肉盛溶接に使用している TIG 溶接機やガス溶接機をそのまま利用することができることから、その転換が容易であると考えられる。また、母材に棒材を接合する場合、接合部のみに溶接を施すことから、従来の肉盛溶接に比べて溶接に要する熱エネルギーを小さくすることが可能であり、母材温度の上昇を抑えることができるとともに、溶接温度の管理が比較的容易となる。さらに溶接熱による製品の歪みを少なくすることが可能と考えられる。Fig. 8 および 9 は、溶接により作製したサーマルカッターとスキッドレールの写真である。これらは実用化されているものである。

Fig. 8 に示したサーマルカッターは、化学繊維などの熱切断に用いられるもので、管状の母材内にはシース型ヒーターが内

Fig. 8 Cast strip by the OCC process and its application as a thermal blade (joined by TIG welding).

Fig. 9 Rectangular rod produced by the OCC process and its application as a skid rail (joined by TIG welding).

蔵され、刃先を約600℃に加熱して使用する。写真の製品は、SUS304 ステンレスパイプに、幅 12 mm、厚さ 3 mm の OCC ステライト板状鋳塊(ステライト No. 12)に研削加工を施し、それを小径のステンレス溶接棒を用いて TIG 溶接したものである。なお、この製品は、取り付け装置により刃の高さ、角度などが僅かながら異なっていたため、その製品ごとに鋳型を作製するよりも、ニアネットシェイプの鋳塊から成形する方がコスト的にも有利であり、このように板状鋳塊を用いた。従来から、ステライトを用いたカッター類への肉盛溶接は盛んに行われている。しかしその場合、刃先のみを施すことがほとんどであり、このように刃全体をステライトで作製することは、製品の歪みの発生や作業性を考えて行われていなかった。OCC 鋳塊を用いることにより刃全体をステライトで作製でき、そのことにより刃先が摩耗しても研磨することにより再使用が可能となった。

Fig. 9 に示したスキッドレールは、熱間鍛造を行う前の誘導加熱炉へのビレットの搬送に用いられる。従来からステライトの肉盛溶接により作製されていた。このレール上を搬送されるビレットの表面温度は、1000～1250℃に加熱されることから、

管状の母材内には冷却水を流して使用されている。写真の製品は、SUS316L ステンレスパイプに、幅 6 mm、厚さ 3 mm の OCC ステライト四角棒状鋳塊(ステライト No. 1)を、溶接棒を用いずに TIG 溶接のアーカ熱により母材と OCC 鋳塊の合わせ面を溶融し接合させたものである。現在、この肉盛部をセラミックスに代える研究も行われているが、破損した場合、ビレットに傷が付きやすいことや、破損や摩耗の修復を行うことが困難であるという問題がある。これに対し OCC 鋳塊をレールにした場合は、修復は肉盛溶接が可能であり、セラミックスなどのような問題は生じない。

(2) ろう付けによる接合

接合すべき材料および母材を溶融することなく接合する方法としてろう付け法がある。ろう付け法⁽³⁾は、溶接できないような薄肉母材への接合や、精密な接合も容易にでき、しかも製品の歪を少なく抑えて接合することが可能である。また、溶接作業は、熟練を必要とするが、ろう付け作業は、あまり訓練を要さない。

Fig. 10 に、一辺が 10 mm の OCC ステライト三角棒状鋳塊を、SUS316L ステンレス鋼に、ニッケルろう (B Ni-2) を用いて接合した例を示す。このようなろう付けは、同時に多数の製品の接合が可能であり、小部品を大量に製造するのに適していると考えられる。

(3) かしめ接合

溶接などでの接合が不可能な、しかも融点や熱膨張率の全く異なる材料との接合方法として、母材の締め付けによるかしめ接合がある。これは、単純な機械的な接合であるため自動化も非常に容易であると考えられる。

Fig. 11 に、幅 12 mm、厚さ 6 mm の OCC ステライト四角棒状鋳塊を、アルミニウム合金に接合した例を示した。なお、接合性をより高めるために OCC 四角棒状鋳塊を研削加工により台形に成形したものを用いた。従来、融点が低いアルミニウム合金などに対するステライトを用いた製品は作製されていなかったが、このように棒材のかしめ接合を用いれば、ステライトを用いた部分強化が可能となる。

Fig. 10 OCC triangular rod joined by brazing as an alternative method to the weld deposit technique.

Fig. 11 OCC rectangular rod used for inlaying.

IV. 結 言

OCC プロセスで得られたステライト鋳塊と従来から行われ

ているステライトの肉盛溶接による肉盛部との耐食性，耐摩耗性，耐衝撃性について比較した結果，以下のことが明らかになった．

- (1) OCC 鋳塊は肉盛金属に比べ，耐食性が優れている．
- (2) OCC 鋳塊の長さ方向に相手材を摺動させることにより，耐摩耗性は肉盛金属より向上する．
- (3) OCC 鋳塊の長さ方向に垂直に衝撃が加わった場合，ステライトの欠点とされている耐衝撃性が高くなる．
- (4) OCC 鋳塊を母材に接合する方法として，溶接，ろう付けおよびかしめ接合などが可能であり，これらを使用形状，用途に合わせて適切に用いれば，肉盛溶接より簡単にしかも従来の製造法では困難もしくは不可能と考えられていた製品も得られる．

文 献

- (1) 大野篤美：特許 1049146号．
- (2) 山崎裕之，大野篤美，清水 亨：日本金属学会誌，58(1994)，37．
- (3) 恩澤忠男：溶接技術(産報出版)，7(1992)，64．