

転がり軸受の損傷修復技術の開発 第2報：内部欠陥の抑制

Study on the Repair Method of Surface Damage for Rolling Bearings, Part2: Methods for Suppressing Porosity

日本精工（株） （正）児玉 春奈 （正）\*小林 大輔 （正）小俣 弘樹 （非）宮本 祐司

Haruna Kodama\*, Daisuke Kobayashi\*, Hiroki Komata\*, Yuuji Miyamoto\*

\*NSK Ltd.

1. はじめに

転がり軸受（以下、軸受）は、表面損傷が生じると一般的に交換、廃棄されるが、損傷部を修復し再利用することができれば環境負荷低減や省資源化に貢献することができる。

金属部品の修復・再利用技術には、極表層除去加工による手直しおよび新品部品組み込みによる修復と、溶接や溶射などの肉盛り技術による修復がある。軸受の損傷修復技術としては、極表面の転がり疲労に対しては前者が有効であり、はく離や摩耗等の表面損傷には後者が有効であると考えられる。肉盛り技術の1つとして、レーザクラディング（Laser Cladding, LC）がある。この手法はレーザを照射しながら、金属粉末やワイヤーを供給し、母材と熔融させることで肉盛りをする技術である<sup>1)</sup>。短時間で局所的に加熱するため、母材成分の希釈や熱影響を抑えることができる。特に、金属粉末供給によるLC加工は、粉末供給量の制御をすることで、より低い希釈率での肉盛りが可能であると考えられている<sup>2)</sup>。

前報では、表面損傷したスラスト軸受の軌道面をLC加工によって修復し、転がり疲労試験を実施した結果、LC加工は軸受の表面損傷修復技術として有効であることを明らかにした<sup>3)</sup>。大型設備に使用される軸受が予期せず損傷した場合、新品軸受の製造・納入には一定の期間を要する。本技術が確立できれば、環境負荷低減だけでなく、顧客における時間を含めたコスト削減にも貢献できると考える。本報では、産業機械で使用される軸受を想定し、円筒ころ軸受の軌道面にLC加工を実施することで、LC加工における課題の抽出および解決方法について検討した。

2. 円筒ころ軸受へのLC加工における課題

2.1 LC加工積層部の内部欠陥

試験軸受として円筒ころ軸受 NUP206（内径：30 mm，外径：62 mm，材料：JIS-SUJ2）の内輪を用いた。新品の内輪を洗浄後、軌道面全周にわたってLC加工を施した。Table 1にLC加工条件を示す。LC用粉末にはHöganäs社製のハイス鋼M2粉末（150-53 μm）を使用した。円筒ころ軸受の軌道面へのLC加工では、1周で全面を加工することができない。そのため、周方向に1周LC加工した後、軸方向に2.5 mm平行移動させ、計2周積層させて全面をLC加工した。LC加工後、軌道面を研削加工することで軸受としての形状を得た。試験前のLC軸受をFig. 1(a)に示す。軌道面表面に多数の欠陥が認められた。これらの欠陥はLC加工時に発生した内部欠陥が表面加工によって露出したものであると考えられる。福山ら<sup>4)</sup>は、レーザ粉体肉盛り溶接における内部欠陥は、粉末熔融時に予め粉末自身に蓄えられたガスや、外部から混入したガスにより気泡が生じ、気泡が外部に抜け出る前に熔融池が凝固することにより発生することを報告している。Figure 1(a)における内部欠陥は、特にLCの積層箇所を確認された。LCを積層させる場合、レーザの焦点距離が先に形成されたLC部と基材とでは異なり、レーザによる入熱が不均一となる可能性がある。そのため、Fig. 1(a)の積層箇所では十分な熔融時間が得られなかったことが、多数の欠陥が生成された要因の1つであると考えられる。

2.2 内部欠陥が転がり疲れ寿命に及ぼす影響

2.1のLC軸受内輪を用いて転がり疲労試験を実施した。外輪およびころはNUP206の新品を使用した。試験条件をTable 2に示す。Figure 1(b)に試験時間100 h経過後の軌道面表面を示す。軌道面表面に複数箇所のはく離が確認された。

Table 1 LC conditions

Laser nozzle size, mm	5×5
Laser output, kW	3.0
Powder feed rate, g/min	30
Processing speed, cm/min	100
Laser irradiation angle, °	0
Number of times processed	2
Lamination pitch, mm	2.5

Table 2 Conditions of rolling contact fatigue test

Maximum contact pressure, kN	5.0
Rotating speed, min <sup>-1</sup>	500
Lubricant	ISO-VG68

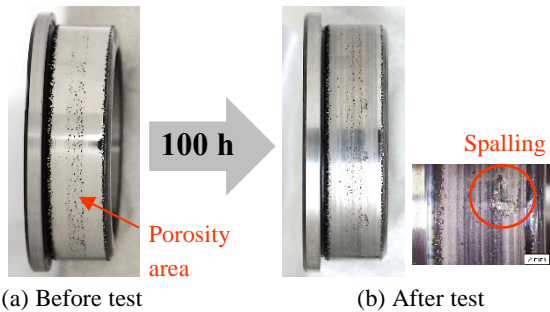


Fig. 1 LC bearing before and after rolling contact fatigue test

欠陥部からはく離していたことから、LC 軸受における欠陥は軸受寿命を低下させることが明らかとなった。以上の結果より、円筒ころ軸受への LC 加工において内部欠陥を抑制する必要がある。

### 3. LC 加工積層部の内部欠陥抑制方法の検討

#### 3.1 LC 加工条件による内部欠陥の抑制

円筒ころ軸受への LC 加工における内部欠陥抑制を目的とし、前項と同様に新品の NUP206 内輪を用いて LC 加工条件を検討した。Table 3 に LC 加工条件を示す。粉末および加工部を十分に熔融させるため、積層数とレーザー出力を変更した。また、レーザー照射が均一になるよう、レーザー照射角度  $\alpha$  を  $10^\circ$  と  $15^\circ$  に調整し、LC 加工を施した (Fig. 2)。Figure 3 に加工後の断面観察結果を示す。照射角度  $10^\circ$  において 2 周目と 3 周目の積層間に内部欠陥が認められたのに対し、照射角度  $15^\circ$  では内部欠陥は認められなかった。以上の結果より、レーザーの照射角度を調整することで積層箇所の熔融が改善され、内部欠陥の抑制に効果があることが示された。一方で、本条件で試作した LC 加工品に割れが認められた。高出力での加工による過大な応力付与が要因であると考えられる。

#### 3.2 内部欠陥抑制による転がり疲労寿命への効果

内部欠陥を抑制した LC 軸受内輪を用いて、Table 2 と同条件にて転がり疲労試験を実施した。LC 加工条件は、3.1 にて内部欠陥が抑制されたレーザーの照射角度  $15^\circ$  の条件に対し、割れが出ないように出力を 3.0 kW、走査速度を 90 cm/min に変更した。Figure 4 に試験前後の軌道面表面を示す。2.2 において内部欠陥が複数ある LC 軸受は、わずか 100 h で損傷した。一方、内部欠陥を抑制した LC 軸受は 300 h 経過しても損傷は認められなかった。以上の結果から、内部欠陥の抑制は軸受の転がり疲労寿命の向上に寄与することが示された。

Table 3 LC conditions

Laser nozzle size, mm	5×5
Laser output, kW	3.5
Powder feed rate, g/min	30
Processing speed, cm/min	100
Laser irradiation angle, °	10, 15
Number of times processed	3
Lamination pitch, mm	2.5

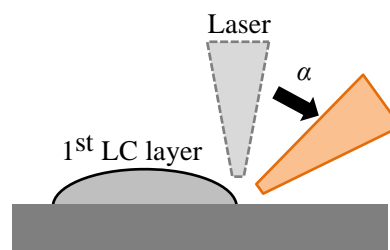


Fig. 2 Image of laser irradiation angle adjustment

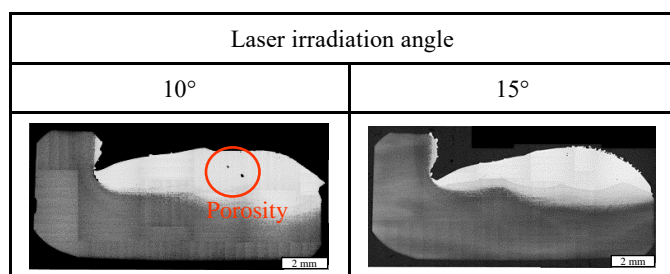


Fig. 3 Effects of adjusting laser irradiation angle

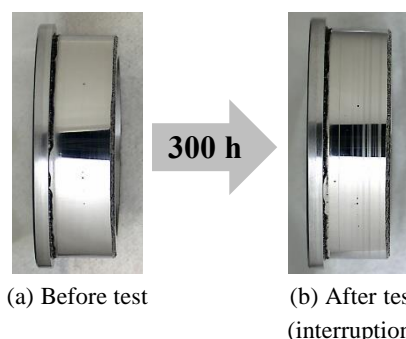


Fig. 4 LC bearing before and after rolling contact fatigue test

### 4. おわりに

本報では、産業機械軸受への LC の適用を目的とし、円筒ころ軸受の軌道面に LC 加工を実施した。転がり疲労試験により評価した結果、積層 LC 加工による内部欠陥が LC 軸受の転がり疲れ寿命を大きく低下させることが検証された。内部欠陥の抑制には、レーザー照射角度を調整し、積層部への均一なレーザー照射が有効であることを明らかとなった。また、内部欠陥を抑制することで LC 軸受の転がり疲労寿命が向上した。

### 文献

- 1) Abdulrahman, K.O., Akinlabi, E.T. & Mahamood, R.M. : Laser metal deposition technique: sustainability and environmental impact, *Procedia Manufacturing*, 21 (2018), 109-116.
- 2) 久米：レーザー 3 次元肉盛り装置による金型補修技術，日本塑性加工学会会報誌，3，34 (2020) 22-26.
- 3) 児玉・小林・名取・小俣：転がり軸受の損傷修復技術の開発，トライボロジー会議予稿集，東京 (2024) C28.
- 4) 福山・中村・薩田：レーザーを用いた再熔融処理による LMD 肉盛層の内部欠陥除去，精密工学会誌，88，4 (2022) 345-351.