

ラティス冷却構造付きすべり軸受 Cooled Pads with Lattice for Tilting Pad Bearings

三菱重工業（正）*嶋原 拓造 三菱重工業（正）梶田 翼 三菱重工業（正）亀山 裕樹

Takuzo Shigihara, Tasuku Masuda, Yuki Kameyama

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

1. はじめに

回転機械において高速化・小型化・高効率化の製品ニーズがあり、すべり軸受には高周速化・高面圧化が求められているが、軸受温度が高くなることへの対応が必要となる。その対策の一つとして、AM 技術を活用した軸受冷却構造の採用が挙げられる。冷却構造として、フィン¹⁾や軸受内部流路²⁾³⁾への冷却油供給により軸受温度を低減させる技術が報告されているが、背反として供給油量や給油圧が増加してしまう。そこで、本研究では高熱伝達率ラティス構造の流路を局所的に軸受内部へ設け、現状設計の油量・給油圧にて温度低減できる高冷却軸受を開発中である。本稿では、ティルティングパッド型ジャーナル軸受の試作および軸受要素検証試験結果について報告する。

2. ラティス冷却構造付き軸受コンセプト

すべり軸受はくさび形状の隙間を形成して油膜圧力を発生させるため、ティルティングパッド型軸受の場合、Fig.1のように隙間の狭いパッド出口側が軸受メタルのホットスポットとなる。よって、ホットスポット背面に高熱伝達率のラティス冷却構造を設けることで軸受メタル温度を低減し、荷重限界や周速限界を伸ばすことを狙う。ラティス構造に供給する冷却油量と熱伝達率の関係は、Fig.2 に示す構造単体の要素試験結果より、ラティス無し（空洞）よりも約2倍高い熱伝達率が得られ、ラティス構造が有効であることは確認できている。

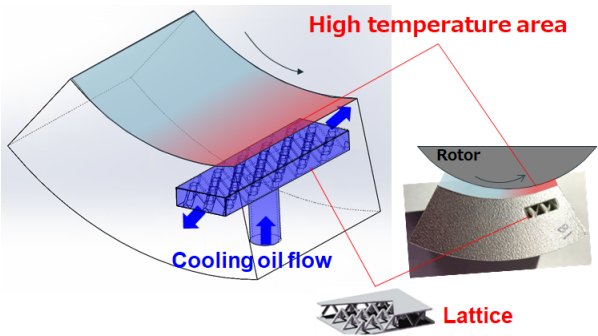


Fig. 1 Cooled pads with lattice for tilting pad bearings

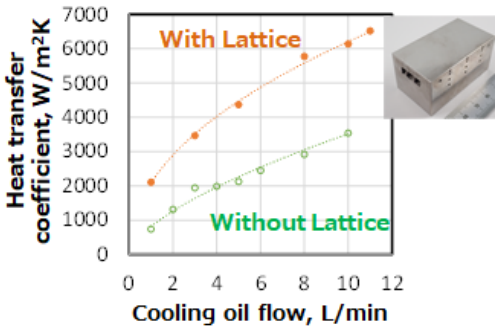


Fig. 2 Measurement results of lattice thermal conductivity

3. ラティス冷却構造付きジャーナル軸受要素検証試験

3.1 軸受試作および試験条件

軸受におけるラティス冷却構造の効果を検証するため、Fig.3 のように軸受パッドを AM 造形で試作し、既存のΦ120mm のティルティングパッド軸受に試作パッド1枚を組込んで軸受試験を実施した。試験条件を Table.1 に示す。回転数は15000rpmまで、軸受面圧は1.5MPaまで上昇させ、ラティス部へ供給する冷却油量を変化させた時のパッド表面近傍の温度変化を検証した。この時、軸受合計油量は一定とするためパッド入口油量（パッド間ノズル油量）は冷却油量分減らして試験した。また、冷却油温度は既存軸受の給油温度とし、パッド表面から深さ1.5mm位置の温度を熱電対により計測した。

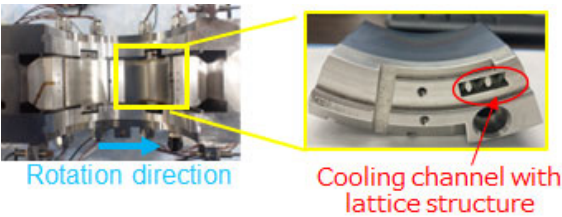


Fig. 3 Prototype bearing pad with lattice

Table 1 Condition of bearing test

Item	Units	Value
Bearing diameter	mm	120
Rotation speed	rpm	5000,10000,15000
Specific bearing load	MPa	~1.5
Cooling oil flow rate	L/min	0,5,10,15
Supply oil temperature	℃	48

3.2 検証試験結果

ラティス冷却ありと冷却なし（冷却油供給なし）における周方向温度分布計測結果の比較を Fig.4 に示す。冷却油を供給すると、ラティス冷却構造を設けたパッド出口側の温度が大きく低下した。冷却油量と計測点温度の関係を Fig.5 に示す。油量が増えるほど温度低下も大きくなり、ラティス冷却なしに対してラティス冷却ありでは約 6~9℃ 低下（冷却油量 5~15L/min）することが確認できた。さらに、Fig.6 に示す回転数と計測点温度低下量（冷却油量 10L/min）の関係より、高回転数で軸受温度が高くなるほど温度低下量が増加することも確認できた。今回の試験条件よりさらに高温となる高周速・高面圧条件では、より大きな冷却効果が期待できる。また、冷却油は従来軸受と同じ給油圧にて供給できることも確認した。

ラティス冷却効果による温度低下量を予測するため、THL 解析（軸受油膜特性解析）とパッド側の伝熱 FEM 解析を連成させた解析を実施した。ラティス部に境界条件として、冷却油温度および熱伝達率を設定した。試験結果の温度低下量と解析結果の比較を Fig.7 に示す。解析の方が温度低下を約 2℃ 大きく見積もる傾向ではあるが、冷却油量が増加（熱伝達率増加）するにつれて温度低下が収束していく傾向は一致している。

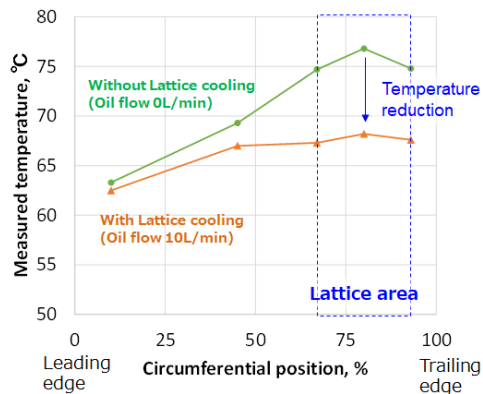


Fig.4 Circumferential temperature distribution (15000rpm, 1.5MPa)

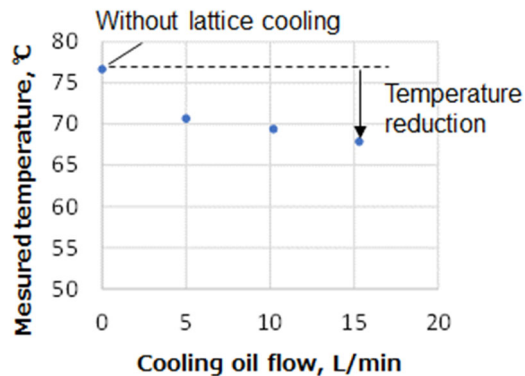


Fig.5 Cooling oil and measured temperature (15000rpm, 1.5MPa)

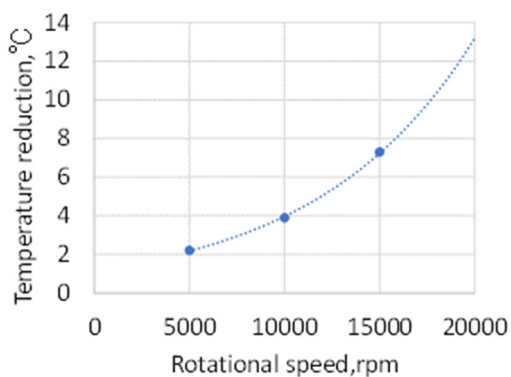


Fig. 6 Rotational speed and ΔT (1.5MPa, 10L/min)

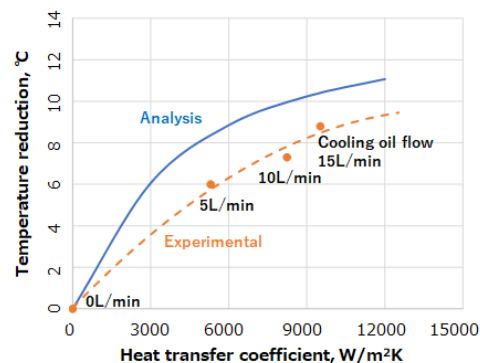


Fig. 7 Prediction of temperature reduction

4. まとめ

(1) ラティス冷却構造付き軸受パッドを試作し、ティルティングパッド型ジャーナル軸受試験により冷却効果を検証した。その結果、軸受合計油量や給油圧を増やすことなく、ラティス冷却構造により軸受メタル温度を低減できることが確認できた。

(2) 軸受温度が高くなるほど冷却効果が大きくなる傾向が確認でき、今回の試験条件よりさらに高温となる高周速・高面圧条件では、より温度低減できる見通しが得られた。

文献

- 1) Drik Schoenwald, Axel Spanel, Christoph Hoehnerbach, Martin Biesenbach, Performance of Additive Manufactured Hydrodynamic Tilting Pad Bearings with Internal Pad Cooling, Turbomachinery & Pump Symposia, December 8-10, 2020
- 2) Steven Chatterton, Paolo Pennacchi, Andrea Vania, Phuoc Dang, Cooled Pads for Tilting-Pad Journal Bearings, Lubricants 2019, 7, 92
- 3) Ludovico Dassi, Steven Chatterton, Paolo Pennacchi, Andrea Vania, Bianca Maria Colosimo, Paolo Pennacchi, Cooled pads with bioinspired gyroid lattice for tilting pad journal bearings: Experimental validation of numerical model for heat transfer, Tribology International 184 (2023) 108448