

8 ディーゼルエンジン向けチルタペットの表面硬化に関する研究

府山伸行, 寺山 朗, 大石 郁, 片平幸司*, 重信正和*

Study on surface hardening of a tappet made of chilled cast iron for diesel engines

FUYAMA Nobuyuki, TERAYAMA Akira, OHISHI Kaoru, KATAHIRA Koji* and SHIGENOBU Masakazu*

Diesel engine tappet requires high wear resistance. In this research, two surface hardening treatments, nitriding and DLC (diamond like carbon) coating, for the chilled tappet were investigated. The friction wear tests of the nitrided sample and the DLC-coated sample on the chilled cast iron were conducted and compared.

As a result, the DLC-coated sample showed the most excellent wear resistance because of the high matrix hardness of 65HRC. On the other hand, the nitrided sample had low wear resistance because the matrix had softened during nitriding. The wear-loss of the DLC-coated sample was as small as a tenth of that of nitrided sample.

キーワード: ディーゼルエンジン, チル鋳鉄, タペット, 窒化, DLC, 耐摩耗

1 結 言

発電用や建機のような産業機械用ディーゼルエンジンは、自動車用エンジンと比べ大きなトルクが必要である。加えて欧米の排ガス規制をクリアできる高出力・環境対応型の開発が急務となっている。OHV（頭上弁式）方式エンジンの動弁部品のうち、耐摩耗性が要求されるタペット（バルブリフター）は、鋳込み時に急冷して表面を硬化させたチル鋳鉄が使われてきた^{1)~3)}。近年、タペット表面への面圧力は増大傾向にあり、セラミックスや超硬合金を張り合わせた構造が開発されるなど^{4)~6)}、タペットの耐摩耗性向上は大きな課題となっている。

本研究では、従来チル層に付与できる表面硬化法として、窒化熱処理（DCプラズマ窒化）とダイヤモンド状非晶質炭素膜（DLC; Diamond-Like Carbon）コーティングの2手法を検討した。高性能ディーゼルエンジンへの適用に向け、試作した表面硬化チル鋳鉄タペットの断面硬度分布や、リングオンディスク式摩耗試験機による耐摩耗性などの基礎物性を報告する。

2 チル上への表面硬化層の形成

2.1 チル化

図1に示すタペットは一般的にチル鋳鉄が使われてきた。使用した鋳鉄の組成（重量%）はC: 3.0~3.6, Si: 1.8~2.5, Mn: 0.5~0.9, P: 0.15以下, S: 0.15以下, Cr: 0.8~1.25, Ni: 0.2~0.6, Mo: 0.4~0.6である。

チル鋳鉄は冷やし金による部分急冷により、表層が炭化鉄であるセメンタイト(Fe_3C)と呼ばれる硬くて脆い物

質が多く析出した組織となる。このため、タペットの表面は耐摩耗性に優れ、内部が強靱であるという特徴を持つ。また、チル化した組織は焼き入れ・焼き戻し処理を加えることで、耐摩耗性がさらに向上する。本研究の試作チルタペットも焼き入れ・焼き戻しを施し、硬さをHRC55~HRC65で調整した。

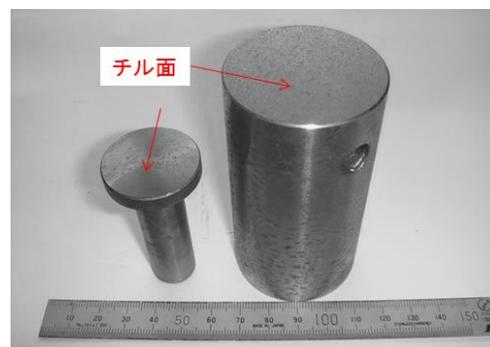


図1 ディーゼルエンジン用チル鋳鉄製タペット

2.2 チル+窒化

このチル層の耐摩耗性をさらに向上させるため、まずDCプラズマ窒化処理（日本電子工業㈱）を行った。窒化処理は表面から窒素を拡散浸透させ、窒化物を析出させ硬化層を形成させるものである。本窒化法は処理温度域が350~590°Cの範囲と広く、窒化雰囲気ガス中の窒素ガス濃度を自由に調整できることから、窒化層の最表面に緻密な $\epsilon-Fe_{2-3}N$, $\gamma'-Fe_4N$ の化合物層を、続いて拡散層をそれぞれ生成することができるとされる。

一般に鋳鉄への窒化データは多く存在するが⁷⁾、チル鋳鉄に対する窒化データは少ない⁸⁾。今回、上限硬さHRC65のチル層にプラズマ窒化した断面組織および硬さ

*日東工業株式会社

を調査した。窒化条件は、雰囲気ガス混合比率を $N_2 : H_2 = 3 : 1$ 一定とし、窒化温度を 450, 510 および 560°C、処理時間 2, および 10 時間で変化させた。

図2にチル層へのプラズマ窒化後の断面光学顕微鏡組織を示す。表面に窒素拡散層と推定される白色部位が観察された。化合物は 450°C-2h で 10 μm 程度形成され、処理温度・時間の上昇に従い、層厚さが 50 μm 程度まで拡大した。このようにチル層に対しても窒化可能であり、層厚さは処理条件で任意に調整できることがわかる。

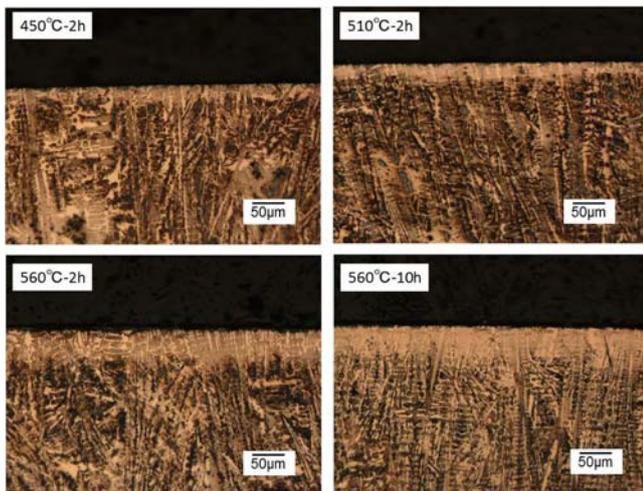


図2 チル+窒化 断面光学顕微鏡組織

図3に 560°C-2h で処理した窒化層断面の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真を示す。エネルギー分散型 X 線分析 (EDX) による元素分析の結果、窒素 (N) の検出精度は低いが約 10 μm の窒化物が形成していると推定される。

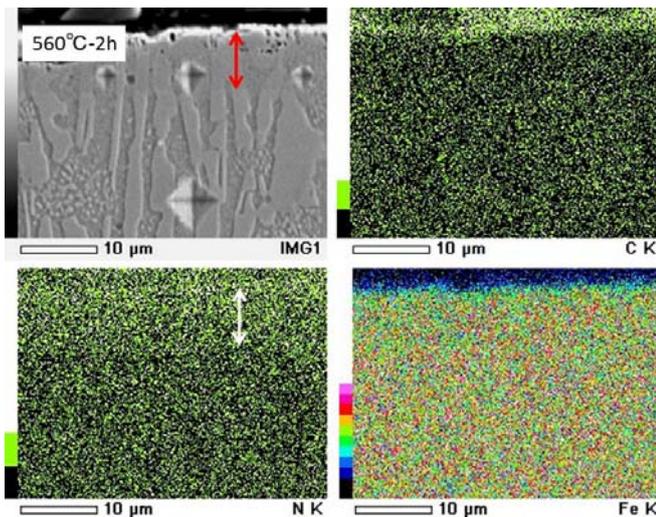


図3 チル+窒化 SEM-EDX 元素分析

図4に窒化処理後における表層断面のマイクロピッカース硬度分布を示す。窒化前のチル部の表面硬さは約 HRC65、深さ 5~10mm である。窒化後のチル最表層断面

の硬さは、1050HV 付近までに到達した。この窒化層深さは 50 μm 前後と推定される。ただし、これより内部は窒化前より軟化し、全窒化処理温度材で素材硬度を下回った。なお、表面からのロックウェル硬さ (HRC) も、処理温度が 450, 510, 560°C と上昇するに従い HRC60, 58, 53 と低下していた。

このようにチル層への窒化処理は、従来品より最表面から 50 μm 程度の厚さで硬度上昇するが、生地は軟化することが分かった。

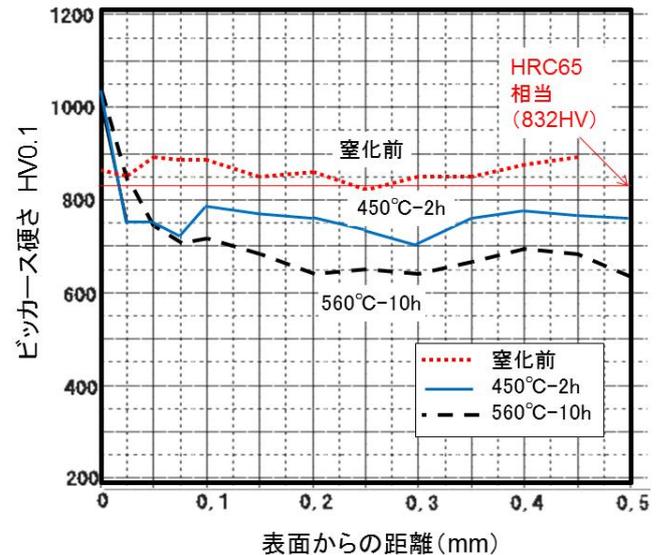


図4 チル+窒化 断面ピッカース硬さ

2.3 チル+DLC

次に、チル表面へダイヤモンド状非晶質炭素膜をコーティング (株東研サーモテック) し、耐摩耗性向上を試みた。DLC 膜は、PVD 法による金属含有 DLC (Metal included DLC : Me-DLC) を主体として構成された複合膜で、膜厚 1~3 μm を狙い形成した。この処理は、従来の DLC 処理に比べ、200°C 以下という低温で合成できるメリットがあり、窒化処理で問題となった生地硬さの低下を抑える効果が期待できる。

図5にチル層上に DLC 処理した断面の光学顕微鏡組織を示す。数 μm オーダーの膜が均一に生成していることが分かる。

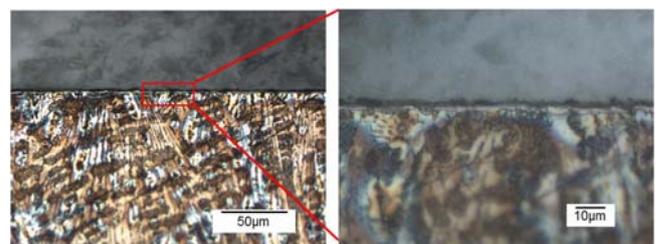


図5 チル+DLC 断面光学顕微鏡組織

SEM-EDXにより微細構造を分析したところ、**図6**に示すように、チル上に中間膜（Cr層およびW/C層）を介して、約 $2\mu\text{m}$ のW含有DLCが均一形成している。この中間膜は傾斜機能を有し、密着性を高めると推定される。このように、チル層の生地硬さを下げることなくDLC層が低温合成できることは大きな強みである。

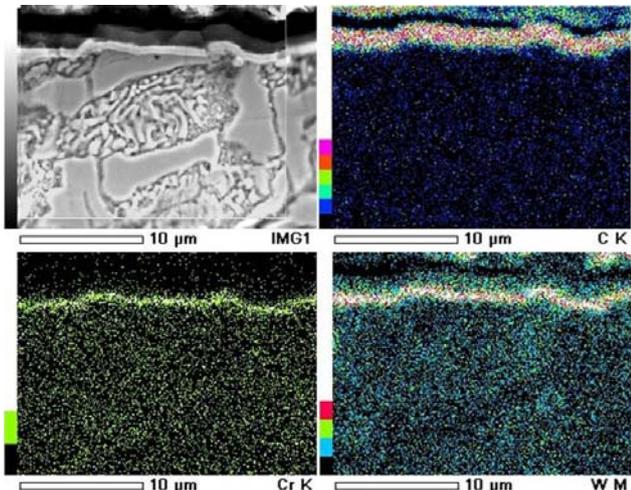


図6 チル+DLC SEM-EDX 元素分析

3 チル上に形成した表面硬化層の耐摩耗性

3.1 摩耗試験方法

試作した窒化およびDLC処理の表面硬化層の耐摩耗性を、**図7**に示すリングオンディスク式摩耗試験により評価した。タペット頂面切断部をディスク、カム材質と同等硬さ（HRC62）の工具鋼をリングに加工して使用した。ディスクは、従来の(a)チルのみ、試作した(b)チル+窒化、(c)チル+DLCの3種類を用意した。なお、(a)チルのみと(c)チル+DLCは生地硬さを上下限値のHRC55とHRC65で比較試験を行った。また、リングに熱電対を取り付け、試験中の温度上昇をモニターした。

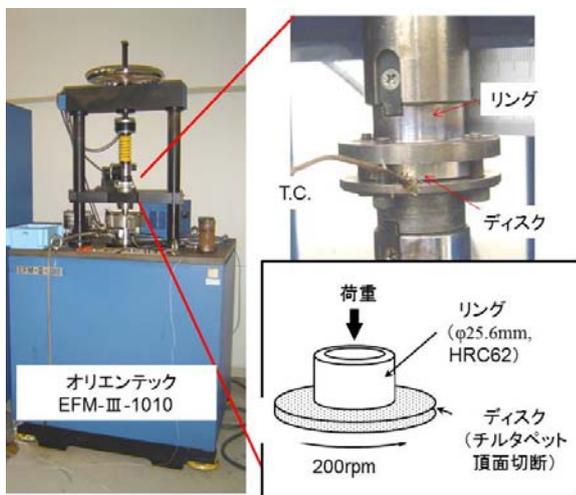


図7 リングオンディスク式摩耗試験

試験条件は、室温にて乾式環境下で、加圧力 2.45MPa 、時間 30min 、回転数 200rpm で行い、ディスクおよびリング摩耗減量、摩擦係数、試料温度などを評価した。摩耗面はSEM等により表面改質層の損傷状態を確認した。

3.2 リングオンディスク乾式耐摩耗特性

図8に乾式摩耗試験結果、**図9**にディスク摩耗面の外観を示す。ディスク摩耗減量は、(a)チルのみ、(b)チル+窒化が 20mg 前後減少しているのに対し、(c)チル+DLCは 2mg 以下とほとんど減少せず、大幅な優位性を示した。また、(c)チル+DLCは摩擦係数も約 0.4 と小さく、試験終了時点の試験片温度も 100°C を大きく越えず、摺動特性に優れている。

(c)チル+DLCでは、生地硬さが高い方【HRC65】が低い方【HRC55】と比べて、ディスク摩耗量が少ない。かつリング摩耗量も少なく、相手材攻撃性にも優れていた。このように、最表面層が硬質なDLCの場合、摺動特性を発揮するには生地硬さが重要であると考えられる。

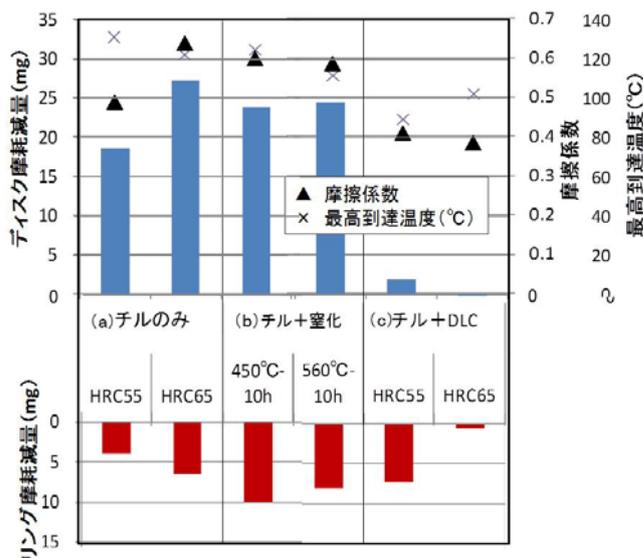


図8 乾式摩耗試験結果

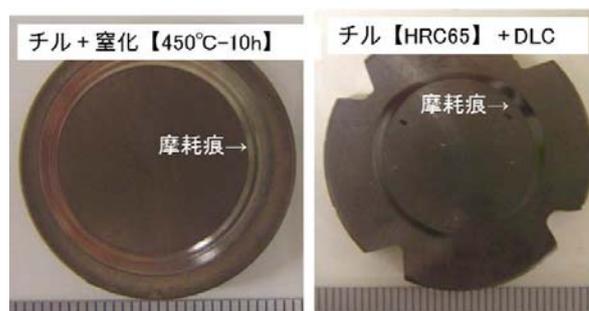


図9 ディスク摩耗面外観

図10に(b) チル+窒化【450°C-10h】の摩耗圧痕表面のSEM-EDX分析結果を示す。摩耗圧痕の窒素(N)検出量は、大幅に減少していることが分かる。つまり、本摩耗条件では窒化層を超えて摩耗しており、生地の鉄(Fe)が露出し表面改質の効果を失っていた。

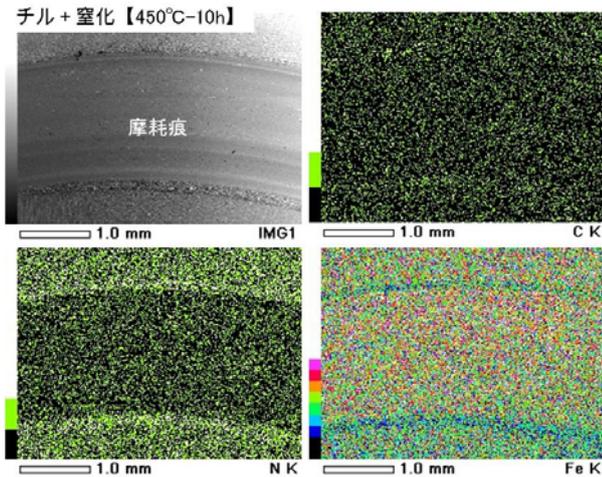


図10 チル+窒化 摩耗痕 SEM-EDX 元素分析

図11に(c) チル+DLCの摩耗圧痕表面のSEM-EDX分析結果を示す。耐摩耗性が最も良好であった、生地硬さの高い試料【HRC65】である。DLC膜の剥離は見られず、部分的に磨滅は進行しているものの、中間層のCr/W層で摩耗が停止していた。

一方、生地硬さの低い試料【HRC55】では、DLC膜が完全に磨滅し、圧痕表面に生地の鉄(Fe)が露出している部分が確認された。このように生地硬度を上げることで、生地の変形に起因する剥離を抑えるなどの報告もあり⁹⁾、耐摩耗性は向上すると推定される。

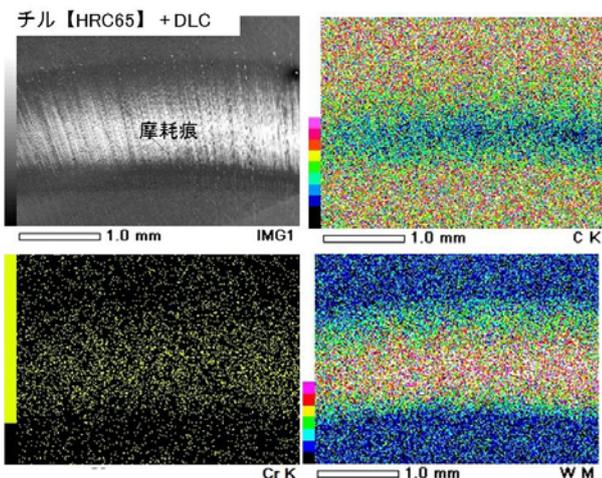


図11 チル+DLC 摩耗痕 SEM-EDX 元素分析

現在、DLC膜は自動車エンジン向けのタペット(バルブリフター)では、優れた摩擦係数により適用されてい

る^{10)・11)}。目的とする産業機械用ディーゼルエンジン向けには、低回転・高負荷に応える優れた耐摩耗性の他に耐ピッチング性も必要であり、今後評価していきたい。

4 結 言

本研究では、タペット表面のチル層上に窒化処理又は、硬化層の形成を試み、硬さ分布や摩耗特性を評価した。

(1) チル+窒化

チル層上へも窒化可能で、厚さは50μm程度まで任意に調整できた。窒化後の最表面層断面の硬さは、窒化前のチル部の硬度HRC65(約850HV)を超え、1050HV付近まで向上した。

一方、生地は窒化前より軟化し、HRC60程度に下がった。この影響もあり、従来のチル品より最表面層は硬化したが、乾式摩耗特性は窒化前と同等となった。

(2) チル+DLC

低温DLC製膜法(200°C)によって、窒化処理で問題となった生地硬度低下を防止し、中間膜を介して約2μmのDLC層を形成できた。

乾式摩耗試験の摩耗減量は、従来のチル品やチル+窒化品に比べ1/10まで減少した。かつ摩擦係数も約0.4と小さく、試験片の温度上昇も抑えられた。この良好な耐摩耗性は、コーティング前の生地硬さが高い程度(HRC65)向上した。

本研究内容の一部は、平成21年度ものづくり中小企業製品開発等支援補助金(試作開発等支援事業)の支援により行われたものである。

文 献

- 1) 西本：いすゞ技報，第78号，65
- 2) 小松他：自動車技術，9,32(1978)，869
- 3) 山本他：自動車技術論文集，33(1986)，114
- 4) 副島他：自動車技術論文集，2,42(2011)，402
- 5) 日経 マテリアル&テクノロジー 93.6, 61
- 6) 谷口：セラミックス，4,29(1994)，310
- 7) 森：鑄造工学，6,76(2004)，517
- 8) 伏見：熱処理，1,31(1991)，47
- 9) 特開2006-214314
- 10) 大原他：日新電機技報，53(2008)，46
- 11) 馬淵：トライボロジスト，8,58(2013)，55