



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	炭素鋼上への粉末パック処理法を用いたMAX相成膜に関する研究〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	藤崎, 大地
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16116号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93685
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Daichi_Fujisaki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 藤崎 大地

学 位 論 文 題 名

炭素鋼上への粉末パック処理法を用いた MAX 相成膜に関する研究
(A Study on formation of MAX-phase layer on carbon steels by powder pack method.)

近年のエンジンではオイルポンプ仕事量低減のための低油圧化・少吐出量化・低粘度化、過給機適用での高出力化に伴う未燃焼ガスによって生成される煤のオイル内混入、高トルク化によるチェーン張力の増加など、エンジン内部のチェーン部品の摩耗に対する環境はより過酷なものとなっている。チェーンだけでなく、工業製品の摺動部では摩擦・摩耗が生じており、全世界の全エネルギー消費における摩擦・摩耗によるエネルギー損失は 23 パーセントもあるという試算もあり、今後様々な過酷摩耗環境への適応できる新しいコーティングが必要である。耐摩耗性を目的としたコーティングの施工方法のうち、粉末パック法は安価で均一なコーティングが可能であるため、工業的に広く用いられている。

本論文は鋼製チェーンの耐摩耗性向上を目的として、V-Al-C 系 MAX 相コーティングの粉末パック法を用いた成膜法を検討するとともに、形成した MAX 相コーティングの耐摩耗性を評価したもので全 6 章から構成される。得られた成果は以下の通りである。

第 1 章「序論」では、工業的背景として金属チェーンの取り巻く環境をまとめ、摩耗と耐摩耗性コーティング技術、MAX 相の耐摩耗性とその形成手法についての調査結果を総括した。また、粉末パック法を用いた MAX 相の成膜についての可能性を検討し、本研究の目的を述べた。

第 2 章「炭素鋼上への粉末パック法を用いたバナジウム炭化物膜の形成とそのメカニズム」では、粉末パック法によるバナジウム炭化物膜の形成、成長挙動を調査し、その成長メカニズムを明らかにすることを目的とした。塩浴法を用いたバナジウム炭化物膜では、炭化物膜が外方成長する成長モデルが提案されており、拡散対を用いたモデルの検証からも V 炭化物膜の内方成長は確認されなかったが、粉末パック法では処理の初期に合金表面に形成した V が内部に拡散し、連続的な内部炭化物膜が形成すること、また、炭素量が少ない合金では内部炭化物膜は一部内向きに成長することを明らかにした。このような、粉末パック法を用いたバナジウム炭化物膜の形成とそのメカニズムを提案した。

第 3 章「炭素鋼上への粉末パック法を用いたアルミニウムを含む炭化物膜の形成とそのメカニズム」では、粉末パック法によるアルミニウムを含む炭化物膜の形成、成長挙動を調査し、その成長メカニズムを明らかにすることを目的とした。炭素量の多い炭素鋼では短時間で連続的なアルミニウムを含む炭化物膜が形成し、炭素量が少ない炭素鋼においても長時間の Al 粉末パック処理を行うことで連続的な炭化物膜が形成することが明らかになった。状態図を用いた拡散パスより、連続的な Al を含む炭化物膜の形成メカニズムを提案した。

第 4 章「炭素鋼上への粉末パック法を用いた V-Al-C 膜の形成とそのメカニズム」では、第 2 章および第 3 章で形成した炭化物形成手法を組み合わせることにより、V-Al-C 系 MAX 相の粉末パック法を用いた成膜を試みた。Al 拡散処理後に V 拡散処理を行うと、MAX 相は形成しなかった。一方、V 拡散処理時間を長くし、Al 拡散処理を低温で行うことで均一な MAX 相コーティン

グを形成することに成功した。また、その形成メカニズムを提案した。

第 5 章「粉末パック法で形成した V_2AlC 膜の耐摩耗性特性」では、一般的な軸受鋼材である SUJ2 表面に MAX 相コーティングを施し、その耐摩耗特性を評価した。その結果、V 炭化物と比較して MAX 相の摩擦係数は高く、摩耗体積も多くなった。これは、摩耗試験中の閃光温度が V 炭化物の方が大きかったため、プレート側の移着層によって V 炭化物の摩耗体積が減少したことに加え、プレート側のせん断抵抗が小さかったため、摩擦係数が V 炭化物の方が低くなったためと考えられる。本実験での摩耗条件では MAX 相の高耐摩耗性を示す際に見られる、摩耗面での明確なアルミナの形成が認められず、期待される摩耗特性はみられなかった。今後、アルミナの形成による高い耐摩耗性を示すと考えられる摩耗条件を検討し、耐摩耗性コーティング MAX 相の適用領域を明らかにする必要があることがわかった。

第 6 章「総括」においては、本研究で得られた結果を総括した。