

## 大阪技術研保有特許のご紹介 ～チタン材料の摩耗特性を改善できる浸鉄処理～

キーワード：軽量材料、耐食性材料、非磁性材料

### 特許出願公開情報

発明の名称：チタン・鉄固溶層の製造方法  
出願人：地方独立行政法人大阪産業技術研究所  
出願日：2023 年 3 月 28 日  
特許出願公開番号：特開 2024-139837  
発明者：道山 泰宏

### 適用製品

チタン材料は、高比強度（軽量）、高耐食性、非磁性といった特性から、宇宙、航空機用材料あるいは医療用材料として用いられていますが、しゅう動部品への適用例は少ないが現状です。この理由は、チタン材料が鉄鋼材料に比べて軟らかく、熱伝導率が低く、非常に活性な金属であるために摩擦相手材との凝着を起こしやすいからです。様々な表面処理が開発されていますが、多くは数  $\mu\text{m}$  ～数十  $\mu\text{m}$  と薄い膜や層のため、摩耗や剥離が起こりやすく、チタン材料の摩耗特性を改善するために十分とはいえません。

チタン材料をしゅう動部品として適用させるためには、剥離しにくく、研削加工後にも硬化層が残る厚い層の形成と、世の中に最も多く普及している鉄鋼材料との摩耗特性を改善する必要があります。これらの課題をクリアすることができれば、軽量で耐食性の高いベアリング、すべり軸受、バルブ部品などの機械部品や自動車部品、さらには非磁性を活かした磁場の影響を受けないインプラントや医療機器など、鉄鋼材料では適用困難であった分野にもチタン材料の用途拡大が期待できます。

### 発明の概要

チタン材料の摩耗特性を改善するための新しい表面処理法についてご紹介します。この処理方法は、チタン材料表面から鉄原子を固溶させ、鉄固溶層を形成させます。これは鉄鋼材料の浸炭処理において、鉄鋼材料表面から炭素を固溶させることと似ています。この鉄原子を固溶させる新しい表面処理法を以降は「浸鉄処理」と呼びます。

浸鉄処理を行ったチタン材料（JIS 2 種）の表面から内部方向に線分析し、X 線強度から鉄濃度に換算した結果および硬さ分布を測定した結果をそ

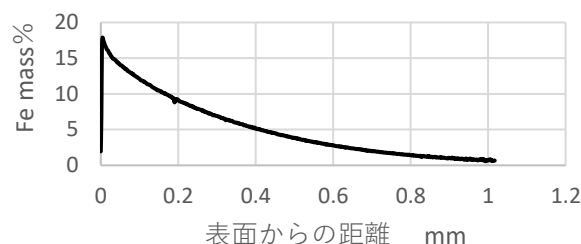


図1 線分析により求めた鉄濃度

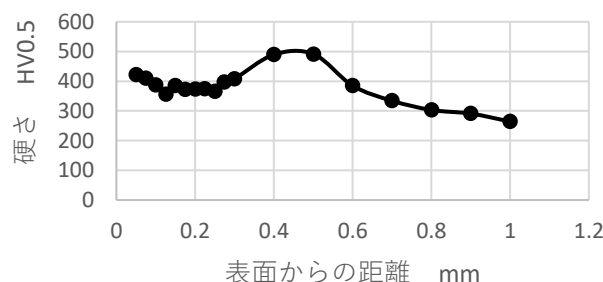


図2 硬さ分布測定結果

れぞれ図1 および図2 に示します。

鉄の濃度は、分析結果から最表面が18 mass%程度あり、内部へ向かって緩やかに下がっていき、1.0 mm 付近になると1 mass%程度になることがわかりました。一方、硬さは、表面から0.3 mm の幅にわたり400 HV 前後ですが、0.3 mm 以降490 HV まで大きく増加して0.5 mm 以降は緩やかに減少します。表面から0.6 mm の幅にわたり350 HV 以上の硬さがあり、図中には表示していませんが、表面から2.0 mm 位置では231 HV でした。最表面から0.4 mm 位置と0.5 mm 位置で硬さの増加がみられる現象は、Ti-Fe 合金において鉄の濃度が4～5 mass% の時に硬さが高くなるという報告<sup>(1)</sup>があることから、鉄の濃度における硬さの変化であると思われます。

浸鉄処理を施したチタン材料の摩耗特性に及ぼす鉄固溶層中の鉄濃度の影響を調査するために、浸鉄処理した試験片の研削加工前の最表面（未研削）および最表面から0.1、0.2、0.3、0.4 mm を研削加工により除去した各表面についてそれぞれ摩耗試験を行いました。摩耗試験は、Ball-on-Flat 型往復動式摩耗試験機を用いて、摩擦相手材料：直

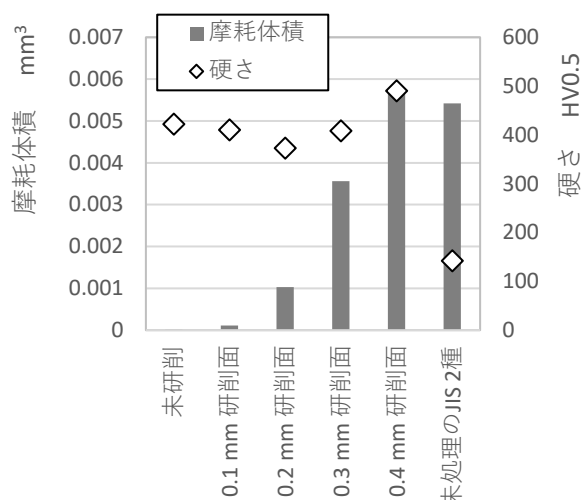


図3 摩耗試験結果

径 4.76 mm の SUJ2 製鋼球、荷重:0.98 N、振動数:2 Hz、振幅:5 mm、摩擦距離:18 m、無潤滑、温度:25 °C、湿度:50 %RH の大気中で行いました。

未研削および各研削後の表面での摩耗試験から得られた摩耗体積を図 3 に示します。また、図中には各表面位置の硬さの値も示しています。未研削と 0.1mm 研削面ともほとんど摩耗していませんでした。研削加工による除去量が増えるに従い摩耗体積は増加し、0.4 mm 研削面において最大となりました。ここで注目したいのは、最も軟らかい未処理の JIS 2 種(142 HV)と最も硬い 0.4mm 研削面(490 HV)の摩耗体積に大きな差がないことです。未処理の JIS 2 種の摩耗体積と大きな差がみられなかった最表面から 0.4 mm 位置は鉄濃度が 5 mass%程度であり、摩耗体積の減少がみられた表面から 0.3 mm 位置は 7 mass%程度であることから、チタン材料の摩耗特性を改善させるためには 7 mass%程度以上の鉄濃度が必要といえます。そして 0.1 mm 位置である 12 mass%以上の鉄濃度があれば、優れた摩耗特性を示すことがわかりました。

各試験片と摩耗試験を行った後の摩擦相手材である SUJ2 製鋼球のそれぞれの摩耗痕写真を図 4 に示します。6 種類の摩耗痕の形態は、摩擦材試験片が「未研削、0.1mm 研削面、0.2mm 研削面」と「0.3mm 研削面、0.4mm 研削面、未処理の JIS 2 種」で分類することができ、前者より後者のほうが摩耗痕の面積は大きく、より摩耗していると推定できます。また、前者には移着が明瞭に観察されませんが、後者には明瞭に観察できます。この移着について鉄濃度から整理すると、9 mass%より高い場合は少なく、それ以下の場合が多くなっているといえます。以上のことから、チタン材料と鉄鋼材料(摩擦相手材)の両方の摩耗量を減少させるためには、鉄固

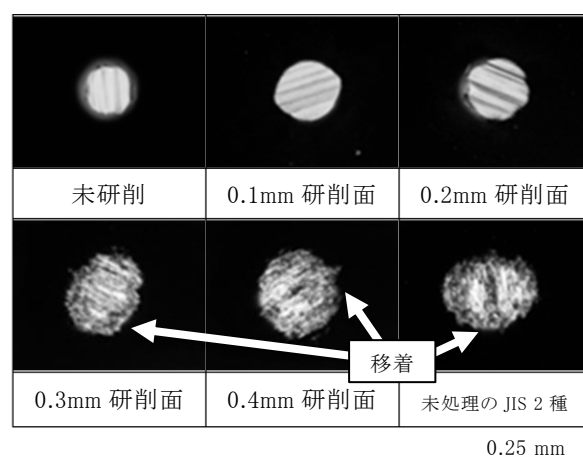


図4 各試験片と摩耗試験を行った後の  
SUJ2 製鋼球の摩耗痕写真

溶層中の鉄濃度を少なくとも 9 mass%にする必要があり、12 mass%以上に形成できれば優れた摩耗特性を示すことがわかりました。この結果より、摩耗を抑えたい側をどちらにするかなど、両者の凝着反応の抑制を考慮しながら鉄固溶層の形成を行えば、これまで困難であった研削加工を必要とする精密部品へのチタン材料の適用が期待できます。

なお、浸鉄処理の摩耗特性評価は無潤滑条件であるため、潤滑剤の塗布や摩擦相手材を別材料に変更するなど条件を変えれば 9 mass%以下の鉄濃度でも優れた摩耗特性を示す可能性があります。

## おわりに

鉄鋼材料の場合、塗装膜がわずかでも剥離すれば、そこから錆が発生することを、ほとんどの方が理解されています。一方、チタン材料の場合、表面処理膜にわずかな剥離が生じると、大幅な摩耗につながることを知っている方は少ないのが実情です。鉄鋼材料と異なりチタン材料の場合は、単純に硬さを増加させれば摩耗特性が改善されるわけではありません。当所では、チタン材料の摩耗特性を向上させる浸鉄処理の特許の実用化に向けて「共同研究」「受託研究」「サポート研究」などの研究開発支援メニューによる協力体制を整えております。

今回ご紹介の特許に関心をお持ちいただけましたら、各ページ下部に記載されているお問い合わせ先までお気軽にご連絡ください。皆さまのご活用を心よりお待ち申し上げます。

## 参考文献

(1)井上幸一郎、池田勝彦、小松伸也、杉本隆史、亀井清:鉄と鋼 84 (1998)790-796 .