

浸炭層の組織評価事例

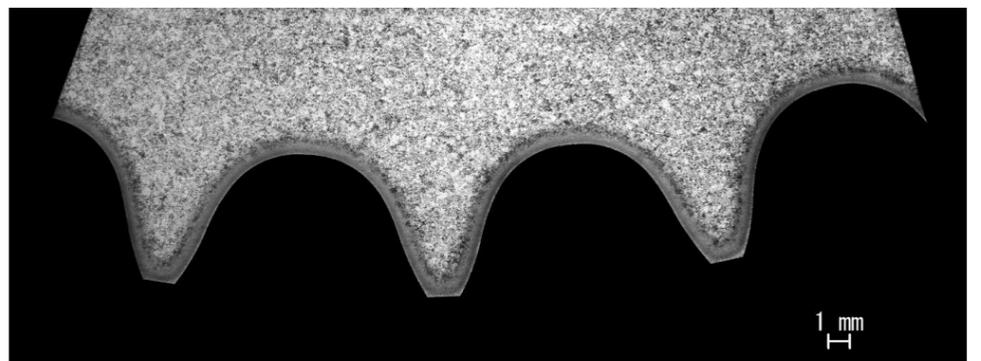
—断面組織観察、硬さ試験、EPMA定量分析、EBSDによる結晶相同定—

概要

- 浸炭処理された炭素鋼製の小型ギア部品を対象とした、浸炭組織評価事例です。
- 各種の組織評価試験から、以下の情報が得られました。
 - 1) 浸炭層厚さは約750 μm であるが、表面から300 μm の範囲に軟化層が生じている。
 - 2) 軟化層の炭素量は、0.8%を超過している。
 - 3) 軟化層には、オーステナイト相が分布しており、最表面にはセメントライトが晶出している。
- 浸炭層表面が軟化した原因は、過浸炭に起因する残留オーステナイトの生成によって、硬いマルテンサイト組織の分率が低下したためと推察します。
- すなわち、炭素濃度の上昇によってMs点、Mf点が共に低下し、室温に戻るまでにマルテンサイト変態が完了しなかったため、未変態のオーステナイト相が浸炭層中に残ったものと判断できます。
- このような組織評価試験は、材料の健全性評価や損傷原因調査における有効な手段の一つです。

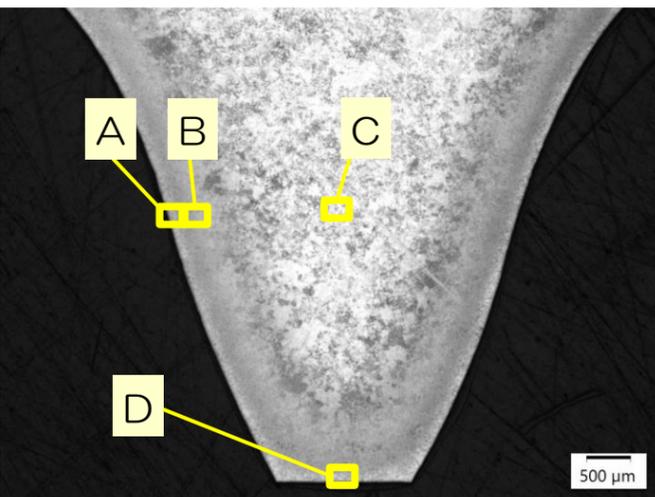


調査ギア

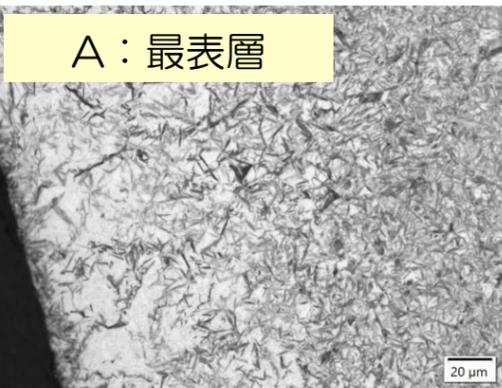


断面マクロ組織

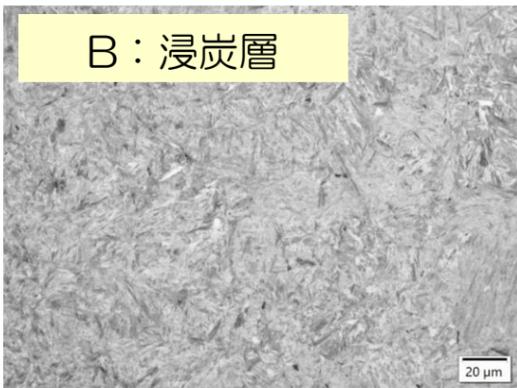
調査1：浸炭層の断面組織観察



- ギア歯表面の断面试験片を作製し、組織観察を行いました。
- 低倍率観察像より、浸炭層の厚さは約750 μm と見積られます。
- 浸炭層は典型的な鉄鋼材の焼入れ組織です（写真B）が、最表面には、マルテンサイトと明色の素地とが混じった組織が観察されます（写真A）。
- エッチング条件を変えて観察したところ、ごく最表面にだけ、塊状の組織が存在していました（写真D）。調査3で後述するとおり、この塊状組織はセメントライトと推定されます。



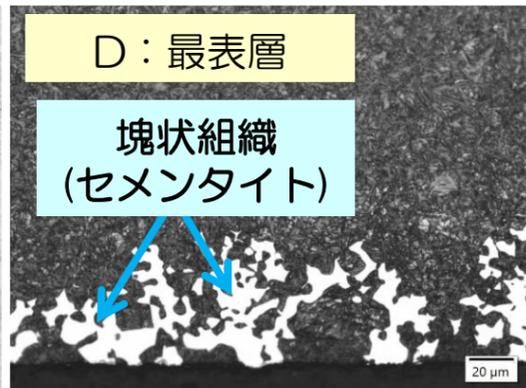
A：最表面層



B：浸炭層



C：非浸炭部



D：最表面層

塊状組織
(セメントライト)

D：エッチング条件を変えて観察

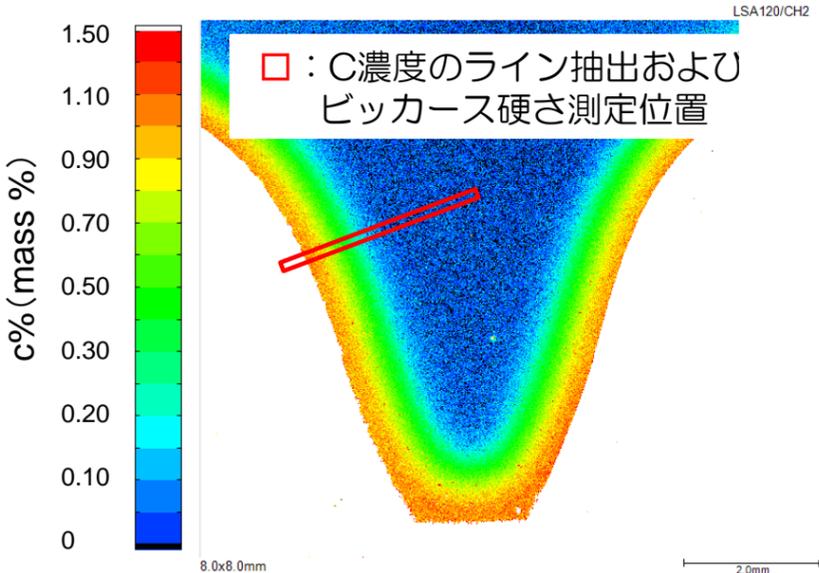
断面ミクロ組織



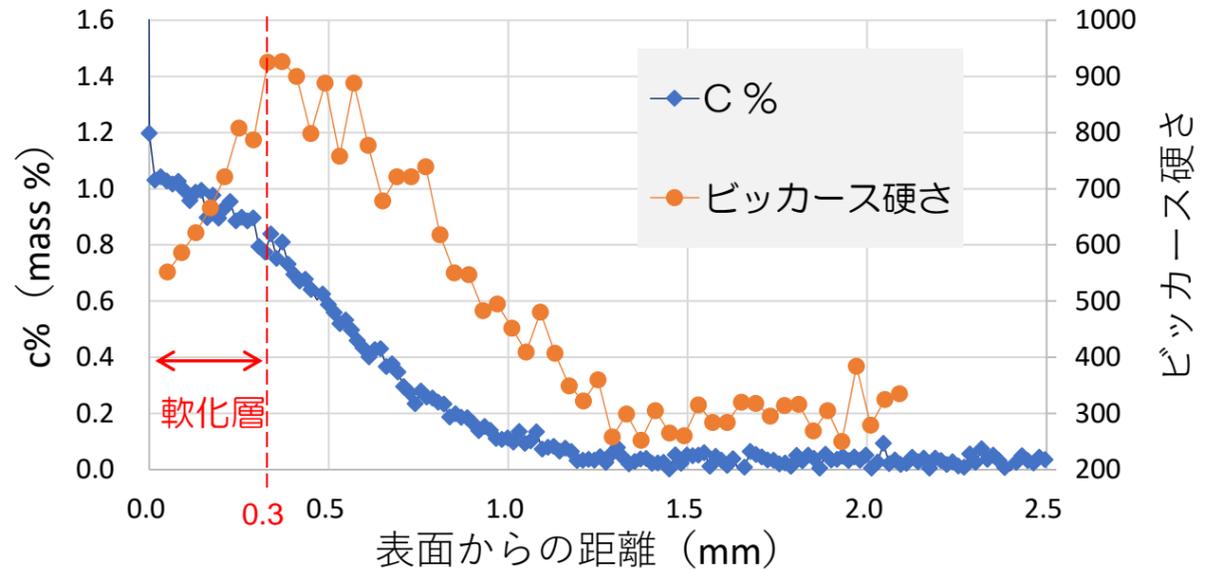
調査2: 浸炭層の硬さ測定及び炭素濃度分析

- 浸炭層の硬さ（ビッカース硬さ）と炭素（C）濃度とを測定しました。
浸炭層が薄いため、炭素濃度測定は、EPMAによる定量マップ分析を採用しました。
- 硬さは、表面から約 300 μm の位置が最も硬く（約925 HV）、最表面側は軟化しています。
- 炭素濃度は、ギア的最表面が最も高濃度で1.0 %超、軟化層全域が0.8 %以上でした。
- 一般に、炭素鋼は、炭素量約0.8 %のときに焼入れ硬さが最高値となると言われています*。

*一般的な炭素鋼の焼入れ硬さと硬さとのバランスにおける、実用上の目安濃度です。



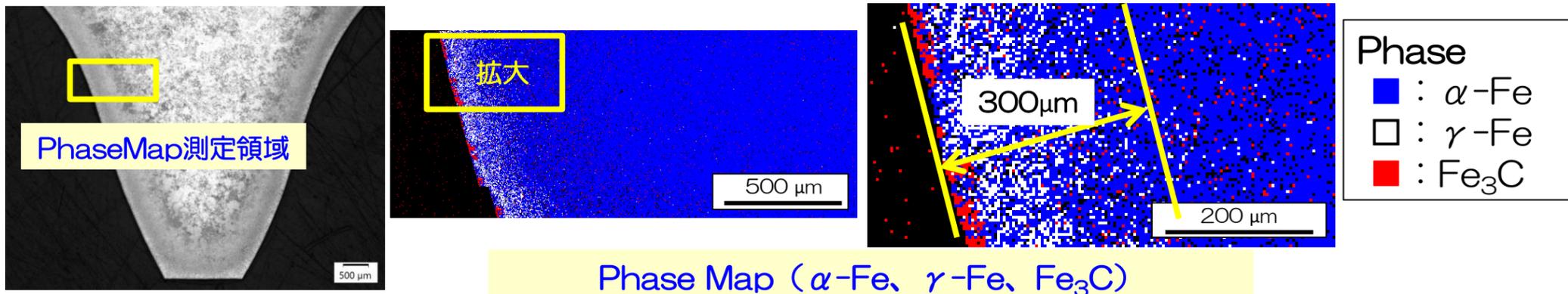
EPMAによる炭素定量マップ



硬さ測定値と炭素濃度の重ね書き

調査3: 浸炭層の結晶相定性評価 (EBSDによるPhase Map分析)

- EBSDによるPhase Map分析を行い、浸炭層硬さと残留オーステナイトの関係を評価しました。
- Phase Mapにより、軟化層に相当する表面300 μm の領域に、オーステナイト相 (γ 相) が分布すること、また、最表面層にはセメンタイト (Fe_3C) が晶出していることが分かりました。
- 軟化層におけるオーステナイト相の量は、硬さの分布と負の相関にあることが分かります。



まとめ

- 浸炭処理された炭素鋼製の小型ギア部品を対象として、浸炭組織評価を行いました。
- 組織観察や硬さ試験と併せて、EPMAによる炭素濃度分析やEBSDによるPhase Map分析を行い、浸炭層表面に軟化層が生じた原因を考察しました。
- 鋼は、炭素量の増加と共にマルテンサイト変態のMs点とMf点が共に低下し、Fe-Cの二元系の場合、炭素量0.6 %以上でMf点が室温以下になります。
Mf点が室温以下になると、材料が冷却されて室温になっても、オーステナイト→マルテンサイトへの変態が完了せず、材料中にオーステナイト組織のままで残留しやすくなります。
- ギア部品最表面の炭素量は1.0 %を超過しており、過浸炭となっていたことが示唆されます。
したがって、軟化層が生じた原因は、過浸炭に起因する残留オーステナイトの影響と考えられます。

<参考文献>

- 1) 牧 正志：まてりあ Vol.54 No.11 (2015), 鉄鋼の相変態 - マルテンサイト変態編 I - 鉄合金のマルテンサイト変態の特徴 -
- 2) 横瀬 啓二：ぷらすとす Vol.4 No.38 (2021), 浸炭・浸炭窒化焼入れによる鋼の表面硬化

