

# 二相鋼の表面硬化処理法の検討と歯車特性の向上

## Examination of Surface Hardening Process for Dual Phase Steel and Improvement of Gear Properties

福岡 和明 F K OKAK u JFE 条鋼 仙台製造所 研究開発部 主任部員  
富田 邦和 OMI A Ku u JFE 条鋼 仙台製造所 研究開発部長・博士(工学)  
白神 哲夫 SHIRAGA t u JFE 条鋼 研究主監・博士(工学)

### 要旨

疲労強度の向上と熱処理後のひずみ低減を目的として開発した二相鋼の、化学成分、組織形成、浸炭特性、並びに熱処理ひずみに及ぼすフェライト分率の影響を述べた。さらに、表面硬化処理法の最適化による疲労強度向上について検討した結果、真空浸炭窒化後に二段ショットピーニングを行うことで、従来材に対し 29%の疲労強度向上が得られた。疲労強度向上の寄与率を評価したところ、鋼種変更が 9%、熱処理変更（真空雰囲気と窒素添加）が 12%、二段二段が

化の要求から、  
1. また、自動車用途においてはノ  
熱処理による歯車のひずみが問題と

## 2. 二相鋼の特徴

### 2.1 二相鋼のメリット

二相鋼のメリットは以下の 3 点である。

- (1) 従来の製造方法およびラインをそのまま使用可能
- (2) 従来鋼よりも浸炭焼入れでの熱処理ひずみが抑えられるため、不良率の低減が期待できる。従来は製造ラインにて歯面研磨などで歯型修正

2)。

JFE 条鋼は、トランスミッション用ギヤや足回り用ギヤを対象に、高強度化とともに、静粛性を考慮し、浸炭焼入れ時の歯車の変形を抑え、ギヤノイズを低減することを目標に「二相鋼」を開発した<sup>3,4)</sup>。

本論文では、「二相鋼」の特徴と、さらにこの「二相鋼」を用いて表面硬化処理の最適化を検討し、歯車の疲労強度向上を図った結果について報告する。

を行っていた場合には、その工程省略も可能となる。さらに、二相鋼は従来鋼と同等の浸炭特性を備えており、疲労強度は従来鋼と同等以上である。

### 2.2 化学成分および浸炭特性

二相鋼の成分例として、JIS SCM420 相当材の成分を表 1

表 1 二相鋼の化学成分例

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb
Steel	0.21	1.43	0.43	0.61	0.78	0.021
0	0.21	0.21	0.76	1.10	0.18	—

はそのまま残留する。このように、内部のマartenサイト変態を少なくすることにより、変態膨張を緩和し、変形を抑える点に二相鋼の特徴がある。

写真 1 に従来の条件 ( 図 2 ) で浸炭した、二相鋼と SCM420 の浸炭焼入れ後の組織を示す。二相鋼の組織は SCM420 と同様に高炭素量まで高

サイト単相組織であるが、内部は、マartenサイト組織中に二相鋼の成分の特徴としては以下の点の特徴が分散した組織となっている。

図 3 には、表 1 の二相鋼成分をベースに、S 添加量を変えて調整による焼入れ性コントロールは S 添加量が 0.25% の場合に深さが

最大となり、それ以上

A<sub>3</sub> 変態点を上昇させる元素である。A<sub>3</sub> 変態点を上げると、従来浸炭の焼入れ温度で浸炭内部組織がフェライト ( 以下、F ) とフェライト ( 以下、F ) の二相組織となる。その結果、後焼入れ時にフェライトもなうマartenサイト変態の量が少なくなり、変態膨張を抑制することが可能となる。なお、内部にフェライトが形成されると硬さの低下が予想されるが、S のフェライト固溶体を使ってフェライト硬さを高めることで硬さ低下を抑制している。

図 1 は二相鋼の浸炭時の組織形成について説明する。図 1 から行われている浸炭条件にて浸炭する場合、従来鋼では浸炭加熱時に 単相域まで加熱される。その結果、炭素濃度を少し下げて焼入れられるが、焼入れ温度でも浸炭炭素濃度が上昇した表層付近から、炭素濃度が炭素濃度のままである内部まですべて 単相組織が維持される。これに対し、二相鋼は、変態点を上昇させており、浸炭加熱時の部位においても 単相であるが、焼入れ温度に下降時には内部の非浸炭領域は と の二相の領域に入ると、焼入れると はマartenサイト変態するものの、

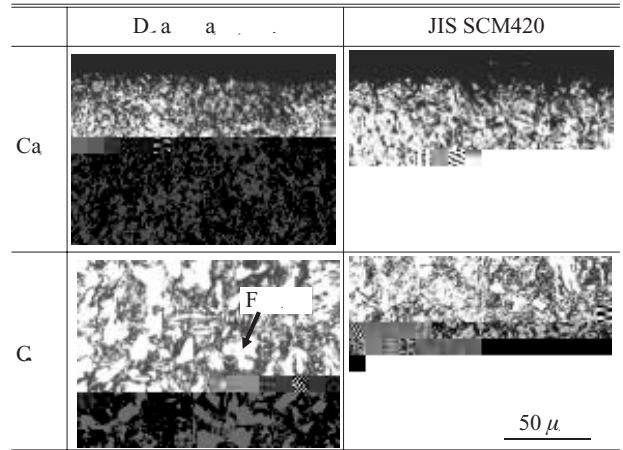


写真 1 二相鋼の浸炭後の組織

P t 1 M r t u r f b u r d d u d d u t

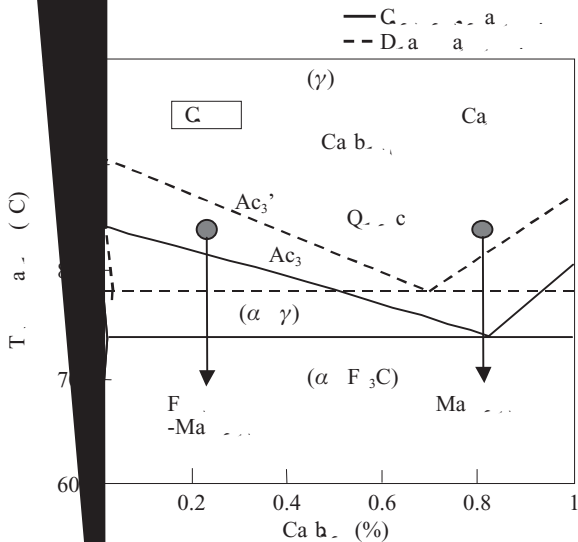


図 1 二相鋼の浸炭時における組織変化

F . 1 P t r f t f d u t d u r b u r

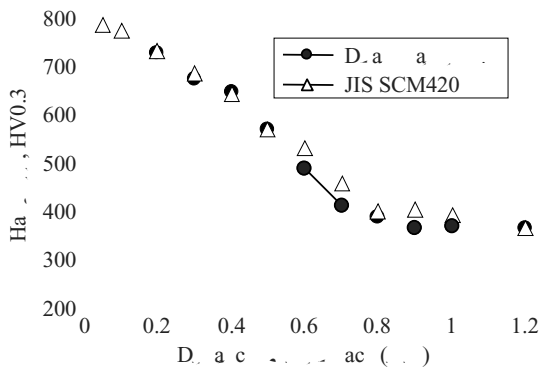
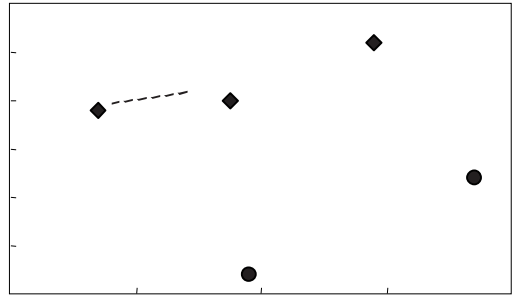


図4 浸炭焼入れ後の硬度分布

F .4 H rd d t\*but ft \* \*bu\* d u

### 2.3 浸炭焼入れによる変形

図5に二相鋼寿命が決まることが多い。

ピッチング破壊における亀裂の発生には次の2通りが考えられる。1つは表面

亀裂が発生しやすくなる<sup>6)</sup>。これより、表面での亀裂発生については粒界酸化の抑制が最も重要と思われる。さらに歯面同士は接触と同時にすべりを生じ、表面に引張応力が加わる。その応力を緩和するために、圧縮の残留応力を高めることも有効と思われる。

転動面においては、歯車同士の接触による温度上昇により表面直下で低温焼もどしが起こる<sup>7)</sup>。浸炭により炭素を多く含んだマルテンサイトは低温で焼もどされると、炭化物やセメントナイトに分解し、その周囲は炭素濃度が低下し、軟化が生じる。表面に粒界酸化などの亀裂発生サイトが少ない場合、最大ヘルツ応力のかかる表面直下の軟化部より亀裂が発生し、破壊に至る場合が考えられる。

この表面直下の亀裂発生については焼もどし軟化の抑制が重要となる。そのためには鋼材に焼もどし軟化抑制元素を添加する必要がある。さらに固相  $\text{Ca}$ 、 $\text{O}$ 。こ

ピーニング条件を示すが、今回は圧縮残留応力を最も効果的に付与するため、投射速度の速いエアノズルタイプのハードショットピーニング<sup>9)</sup>を採用し、従来と同一サイズの粒径でショット後、粒径の小さいショットピーニングを行う二段ショットピーニングとした。

二相鋼についてはこれらの表面硬化処理を行った後、ローラーピッチング試験を実施した。図8に試験片と試験条件を示す。一方、比較鋼であるSCM822Hについては従来のガス浸炭のみを施し、ローラーピッチング試験に供した。

図9に試験結果を示す。SCM822Hを用いて従来の表面硬化処理であるガス浸炭のみを実施したものに対し、二相鋼に真空浸炭窒化処理を行い、さらに二段ショットピーニ

焼もどし軟化の抑制を図った。なお、浸炭温度および焼もどし温度は従来と同一条件である。

次に、圧縮残留応力を付与し、表面での亀裂発生を抑制するためにショットピーニングを実施した。表3にショット

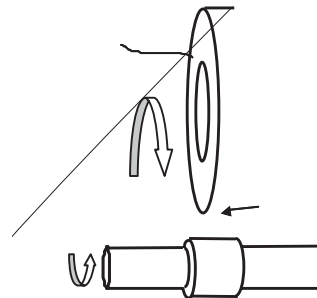


表2 供試鋼の化学成分

b 2 C t f t f f t u t t (mass%)

Steel	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ac <sub>3</sub> (°C)
DP	0.23	1.75	0.42	1.52	0.38	0.15	899
SCM822	0.22	0.25	0.75	1.15	0.36	—	816

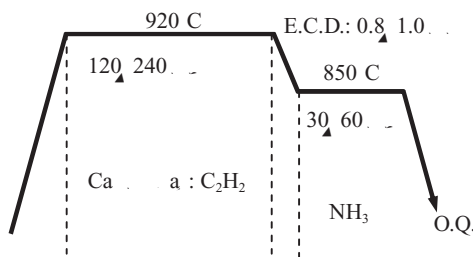


図7 真空浸炭窒化条件

F .7 C dt f uu b t d r ( r: 160°C × )

ングを行うことで、疲労限が約 29%向上することが確認できた。

### 3.3 貞圭

れる。

ローラーピッチング

炭窒化と二段ショット

る。二相鋼は SCM

二相鋼のガス浸炭窒

、さらに窒素を添加

認められた。

化後に二段ショット

化後に二段ショット

。また、写真 3 には

を示す。粒界酸化が

の熱処理材に対して、

理材の方が疲労強度

、真空浸炭窒化材に

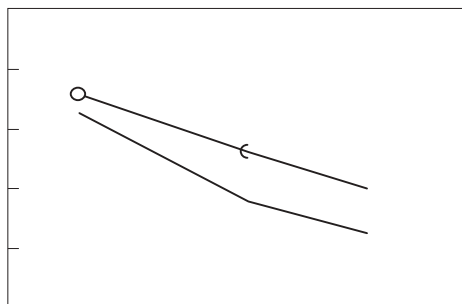
ローラーピッチング

空とし、さらに二段

より疲労限は約 13%

グによる疲労強度向

る効果によるところ



が大きいと考えられるが、図 15 に示すように今回実施した二段ショットピーニングでは通常の 1 段ショットピーニングに比べて最表層の圧縮残留応力が 300 MPa 程度高くなっている。

以上の検討に基づき、疲労強度向上へ寄与した因子とそれぞれの寄与率を整理した結果を表 4 に示す。鋼種変更による疲労強度向上効果は 9%、表面硬化処理を従来のガス浸炭