

脱炭防止による疲労特性向上を活用した高強度ばね用鋼の開発

Development of High Strength Spring Steel with Excellent Fatigue Property by Suppressing Decarburization

1. はじめに

直径 20 mm を超える比較的大径の棒鋼を素材とするコイルばねは、鉄道車両や産業機械・建設機械などに使用されている。コイルばねの圧縮引張の繰り返しに伴って、ばねを形成する棒鋼はねじり応力と、曲げ曲げ戻し応力を受ける。これらの応力はいずれもばね表面で最大となるため、ばねの疲労強度特性には、鋼材の表面状態が大きく影響を及ぼす。

図 1 にばね疲労試験後の破断面外観を示す。破断は、コイル内径側の表面を起点として発生している。

一方コイルばねは熱間で成形を行い、コイル形状を成した後に、直接焼入れによって強度を付与されるプロセスが多く存在し、熱処理後の脱炭を表面に残したまま使用されるため、脱炭による表面の硬度低下、さらにはこれに起因するばねの疲労強度低下が問題となる。すなわち、多くのコイルばねにおいて、熱間成形—焼入れ後の脱炭を抑制することが重要である。

本報では、ばね用鋼に対して、Sb および Sn を添加し、焼入れ後の脱炭抑制を検討した。脱炭低減効果、実ばねの疲労特性への影響について述べる。

2. 微量元素添加による脱炭抑制

表 1 に供試鋼の組成を示す。同等の組成を有するばね用鋼について、Sb および Sn を添加したもの (SbSn 添加鋼)、

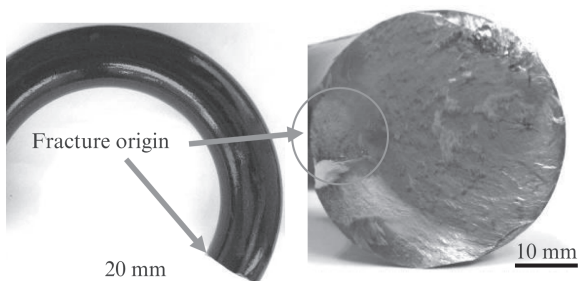


図 1 コイルばね破断面外観

Fig. 1 Appearance of broken coil spring

表 1 供試鋼の主要化学組成 (mass%)

Table 1 Chemical compositions of steel examined (mass%)

	C	Si	Mn	Cr	Sn	Sb	Others
SbSn free	0.54	0.26	0.35	1.06	—	—	Mo, Nb
SbSn added	0.53	0.26	0.35	1.03	added	added	

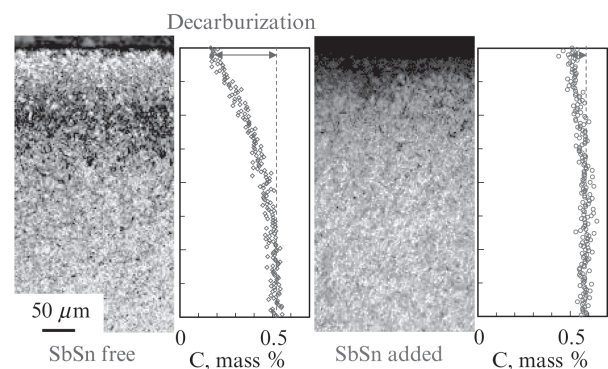


図 2 焼入れ焼きもどし後の脱炭状況に及ぼす Sb, Sn 添加の影響

Fig. 2 Effect of Sb and Sn addition on decarburization after quenching and tempering

無添加のもの (SbSn 無添加鋼) を供試鋼として用いた。図 2 に、鋼材を熱間圧延後、900℃で 15 分加熱し、60℃で油冷した後の断面ミクロ組織観察結果、ならびに Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) 測定結果から得た C の濃度分布を示す。EPMA 測定結果から、SbSn 無添加鋼の表層の C 濃度は約 0.2%、脱炭深さは約 0.3 mm であった。これに対して SbSn 添加鋼では表層の C 濃度は約 0.45%、脱炭深さは約 0.1 mm であり、Sb, Sn 添加による脱炭抑制効果を確認した。Sb および Sn の添加により、C の拡散係数が減少し、脱炭が抑制されたと考えられる。

3. 脱炭抑制鋼の特性

3.1 ショットピーニングによる残留応力の付与

コイルばねにおいて、ショットピーニングは疲労特性向上を目的とした一般的な処理である¹⁾が、脱炭層では降伏応力が著しく低下し、ショットピーニングによる残留応力の付与も著しく劣化する。図 3 に焼入れ焼きもどし—ショットピー

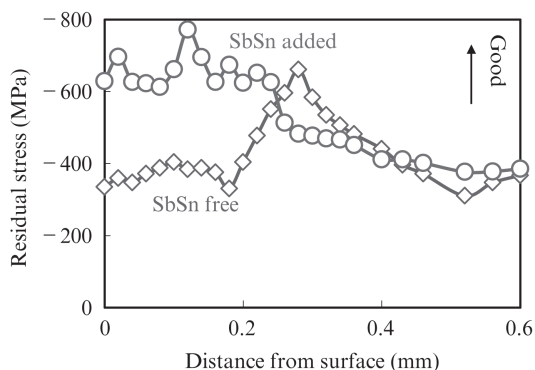


図3 ショットピーニング後の残留応力分布

Fig. 3 Distribution of residual stress after shot peening

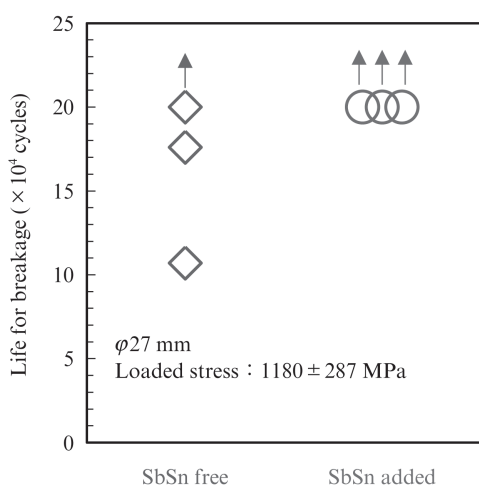


図4 コイルばねの疲労特性

Fig. 4 Fatigue property of actual coil spring

ニング後の圧縮残留応力分布を示す。最大主応力方向の圧縮残留応力は、SbSn 添加鋼では表層から深さ 0.2 mm の範囲で $-600 \sim -800$ MPa だったのに対して、SbSn 無添加鋼では -300 MPa ~ -400 MPa の範囲であった。SbSn 添加鋼の圧縮残留応力は現行材に比べて約 300 MPa 高い値であった。前節で述べたとおり、SbSn 添加鋼では同領域で明確に脱炭が認められており、この結果は、Sb および Sn の添加により脱炭が低減した効果であると考えられる。

3.2 コイルばねの疲労特性

本技術に基づく鋼材を素材として、株式会社スミハツ様との共同開発としてスミハツ様にてコイルばねを製作いただいた。図 4 に、これらの鋼材を使用して制作した実ばねの、圧縮引張繰り返し疲労試験の結果を示す。SbSn 無添加鋼で

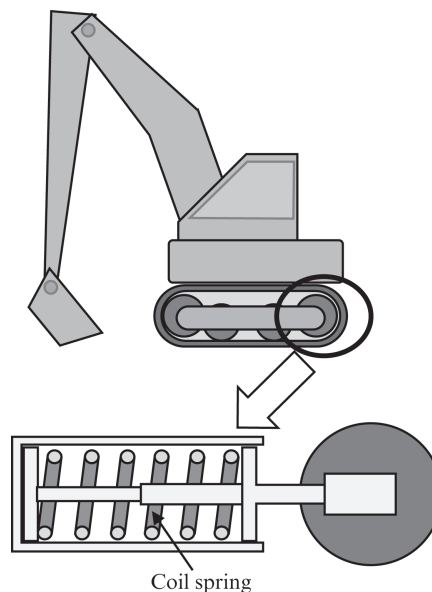


図5 建機用コイルばねの使用例

Fig. 5 An example of coil spring application

は破断寿命が不安定であったのに対して、SbSn 添加鋼は安定的に優れた寿命を示した。

このような優れた特性が認められ、本技術は図 5 に示す建築機械の足回り部品としてご採用いただいた。

4. おわりに

本報では微量元素添加による脱炭抑止機構を活用した新しい高強度ばね用鋼について紹介した。鋼材の脱炭特性に及ぼす Si, Cr などの合金元素の影響はこれまでに数多く調査をされているが、これら元素は焼入れ性をはじめとする材料特性そのものに及ぼす影響が大きく、実用鋼においてその添加量を変化させることは必ずしも容易ではない。一方微量元素添加によれば鋼材の他の特性を小さく抑えることが可能で、種々鋼材への適用も可能である。今後お客様における高機能の発現に努め、お客様にご愛顧いただける高性能ばね用鋼を積極的に開発・製造・販売していく所存である。

参考文献

- 1) 丹下彰, 阿久津忠良, 高村典利. ばね論文集. 1991, vol. 1991, no. 36, p. 47-53.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール スチール研究所 棒鋼・線材研究部
 TEL : 086-447-3938 FAX : 086-447-3936
 ホームページ : <http://www.jfe-steel.co.jp/products/bousen/index.html>