金属浸透被膜によるばねの耐腐食性能の向上*

Effect of Diffusion Coating on the Corrosion Resistance of Spring Steel

小曾根敏夫**・加藤 英明**・岩田 守正**

Toshio OZONE・Hideaki KATO・Morimasa IWATA

懸架ばねの腐食に起因する疲労は、実際の場合において比較的早期に剥離してしまう塗膜によつては十分に防ぐことができない。塗膜に代るものとして、金属の拡散浸透処理による強固な被膜をばね鋼表面に形成させ、今回主にその耐腐食性能について調べた。拡散浸透被膜は、熱処理前のばね鋼に溶射被覆を行なった後、そのままの状態でもオーステナイト域まで加熱する過程で短時間に形成される。今回、溶射材料としてAl及びNi-Alを用いた。

このようにして得た拡散浸透被膜の厚さは約50 μ mで、いずれの場合も金属間化合物となっており、その硬さもAlの場合でHV550、Ni-Alの場合でHV600と高く、さらに腐食に対しても僅かに膜厚を減じる程度でピットを形成しないことがわかった。さらに、浸透被膜が50 μ m程度の場合には、熱処理後のショットピーニングの効果をそのまま維持し、疲れ特性を阻害しないことも明らかになった。

Fatigue fracture of springs especially for automotive suspension is frequently caused by corrosion, from which it is difficult to prevent the spring surface by coating due to peeling off in an early stage. As a substitute for coating, the application of diffusion coating of Al and Ni-Al alloy was brought into experiment.

Diffusion coating layer of about 50 μ m in thickness was observed after heating the specimens with metal sprayed layer at a temperature of austenite region for 10 minutes. After that, the specimens were quenched into oil as usual, then they were tempered at 450°C to be shot-peened.

The diffusion coating layers were found to consist of intermetallic compounds such as Fe₂Al₅ (η phase) for Al coating and Ni₃Al (γ' phase) for Ni-Al alloy coating. The hardness of the Al diffusion coating layer was HV550 and for Ni-Al alloy coating it was HV600.

When a corrosion test was made under cyclic exposures between salt spray and air for 20 days, the specimens with diffusion layers exhibit no corrosion pit on the surface, but etch-pits of about 0.13 mm in depth were found on the surface with no diffusion coating layer. It was also found that the thickness of metal sprayed layers prior to heating is responsible for the amount of residual stress on the surface after shot peening.

But in case that the thickness of metal sprayed layer was restricted to a thickness within 50 μ m, the effect of shot peening was maintained, giving the specimens a fatigue strength equivalent to that with no diffusion layer. The thickness of 50 μ m of metal sprayed layer is just enough to be fully absorbed into steel, leaving no scale to interfere in shot peening after heat treatment.

1. ま え が き

懸架ばねの軽量化については、特にコイルばねにおいてその耐へたり性の改善を中心に進められてきた。しかしそれに伴う耐疲労性の向上については、特に

手を打たれていないのが現状である。

懸架ばねの耐疲労性を考えるうえで欠かすことのできないのが、ばねの腐食に起因する疲労破壊で、これを解決しない限り、実際のばねの耐疲労性を向上したことはならない。

これまでばねの腐食に起因する疲労を防ぐ手段としては、塗料・塗装の改善に力が注がれてきたが、実際の車に取付けられた懸架ばねをみると、塗膜は比較的

* ばね技術研究会 昭和58年度春季講演会にて発表

** 中央発條株式会社 (Chuo Spring Co., Ltd.)

早期に剥離してしまうことが知られている。したがって、ばねを腐食から守るには、塗膜に代って、剥離することのない強固な耐腐食性被膜をばね表面に付与することが有効と考えられる。このような被膜は一般に金属の拡散浸透で得ることができるが、従来の方法では高温に長時間保持する必要があった。

今回の実験は、熱間成形前のばね鋼表面に予め目的とする金属を溶射しておき、その状態でオーステナイト域にまで加熱する間に形成された拡散浸透被膜（以下浸透被膜という）について主にその耐腐食性能を調べた結果である。このように形成された浸透被膜は、加熱過程で発生する脱炭を防ぐだけでなく、ばね鋼表面で化学的に安定な硬い金属間化合物となることが期待される。

2. 試験片の処理

溶射による被覆処理は、ばね鋼の熱処理に先立って実施される。今回実験に用いた溶射材料は、拡散浸透性と金属間化合物の形成のしやすさを考慮して、Al 及び Ni-Al の 2 つとした。また実験に供したばね鋼は、丸鋼には SUP 7 の C.G. 材（センタレスグラウンド材）、また平鋼は SUP 6 とした。

溶射に際しては、図 1 に示したように、溶射被覆とばね鋼の密着性を増すためにブラスト処理を施し、その後溶線式ガス溶射により約 50 μm 、100 μm の厚さに溶射した。

次に溶射により被覆されたばね鋼を 850～1000℃ までの各温度に加熱し、それぞれその温度で 10 分保持し

図 1 試験片の処理工程

た後、油中に焼入れ、さらに 450℃ で焼もどしを施した。試験片はその後すべてにショットピーニングを施した後、供試材とした。

3. 実験経過と結果

3.1 拡散浸透被膜の厚さ

溶射により約 50 μm の厚さに被覆されたばね鋼 (SUP 7) を、各オーステナイト化温度で加熱した時の加熱温度と拡散浸透被膜の厚さの関係を図 2 に示す。Al 溶射、Ni-Al 溶射いずれの場合も、拡散浸透は低い温度から始まっており、実用上のばね鋼の処理条件で十分適用可能なことを示している。写真 1, 2 に 950℃

図 2 拡散浸透膜厚の加熱温度による変化

写真 1 Al 拡散浸透処理サンプルの表面状態 (950℃ 処理品) ×200

写真 2 Ni-Al 拡散浸透処理サンプルの表面状態 (950℃ 処理品) ×200

図3 Al 浸透被膜の組成 (950℃ 処理品)

図4 Ni-Al 浸透被膜の組成 (950℃ 処理品)

で浸透させた時の状況を示す。またこの処理においていずれの場合も脱炭は全く観察されなかった。

3.2 浸透被膜の組成

浸透被膜の組成をX線回折により深さ方向に調べた950℃処理品の結果を図3, 4に示す。X線にはCuのK α 線を用いた。

組織はいずれも金属間化合物をなしており、Alの場合にはFe₂Al₅(η 相)、FeAl(β_2 相)、またNi-Alの場合には、Ni₃Al(γ' 相)から成っている。さらにこれら金属間化合物の硬さは、Alの場合でHV 550、Ni-Alの場合で、HV 600であった。

3.3 ショットピーニングによる残留応力

ばねの疲れ寿命の向上に有効に作用するショットピーニングの効果を、今回の実験のようにばね表面部に浸透被膜が存在する場合について、残留応力分布を測定して評価した。

図5, 6にそれぞれAl, (950℃), Ni-Al (950℃) 浸透被膜がある場合の、ショットピーニングによって形成された残留応力分布を示す。図中に示されている膜厚は、熱処理前の段階における溶射被膜の厚さであり、実線のみで示された分布は、溶射被覆のある試験片と同時に熱処理、ショットピーニングされた溶射のない

試験片のものである。なお、浸透被膜のある試験片の残留応力は、電解研磨により被膜部を除去した後、X線回折法により測定した。

図5, 6から明らかのように、溶射被覆のない場合に比べ、被膜厚が増加するに従い圧縮残留応力は減少する傾向にある。しかしその分布形状に変わりはなく、被膜厚が50 μ m程度の場合には、溶射被覆層はほとんど浸透するため、ショットピーニングの効果を減ずる程度は少なくなったものと考えられる。

3.4 拡散浸透被膜の耐腐食特性

一般に金属間化合物は化学的に安定で、種々の腐食環境に侵され難いという性質を有している。

今回耐腐食性の評価方法として、3時間の塩水噴霧と21時間の大気放置を1サイクルとする腐食試験を採用し、10サイクル、20サイクルで試験を実施した。試験に供した材料はSUP7のC.G.材で、前述したように950℃から焼入れて、焼もどし、ショットピーニング後に試験した。写真3は10サイクル後の腐食状況を示す。

写真3からもわかるように、浸透被膜を有するサンプルでは僅かに膜厚が薄くなる程度で腐食ピットは全く認められない。それに反し、拡散浸透被膜のないも

図5 Al 浸透被膜のある時の残留応力 (950℃ 処理品)

図6 Ni-Al 浸透被膜がある時の残留応力 (950℃ 処理品)

のでは、10 サイクルで 0.08 mm 程度の腐食ピットが形成されている。さらに 20 サイクルになると、その差は著しく、被膜のないもので 0.13 mm の腐食ピットが観察されたのに対し、浸透被膜のあるサンプルでは、さらに膜厚が薄くなることはあっても腐食ピットは形成されなかった。

一方、稀れに見られる拡散浸透被膜に不連続が存在する場合の腐食試験 20 サイクル後の腐食状況を写真 4 に示す。この場合でも、腐食雰囲気さらされる鋼素地は深く侵食されることなく、腐食ピットをつくらない。

3.5 疲れ特性

材料の疲れ特性は表面状態によるところが多い。先にみたように、拡散浸透被膜がある場合は、ショットピーニングの効果は僅かに損なわれるものの、脱炭がなく表面が硬い被膜で覆われていることからの寄与が期待される。

今回実験に用いた疲労試験片は、板厚 8 mm、板幅 50 mm の SUP 6 平鋼で、疲れ試験は協会型高速リー

溶射なし

Al 拡散浸透処理

Ni-Al 拡散浸透処理

写真3 腐食 10 サイクル後の腐食状況 ×200

フ疲れ試験機 (1,000 rpm) を用いて、130 kgf/mm² の曲げ応力に相当するセッチングの後、65±50 kgf/mm² の繰返し曲げ応力を付加して実施した。その結果を図 7 に示す。

図 7 から明らかなように、浸透被膜を有するサンプルの疲れ強さは、被膜のない従来のものとはほぼ同等で、特に最初の溶射被覆の厚さが 50 μm 程度の場合には全く問題がない。

写真 4 Al 浸透被膜に不連続がある場合の 20 サイクル後の腐食状況 ×200

図 7 拡散浸透被膜がある場合の疲れ特性

4. ま と め

1) Al, Ni-Al 溶射被覆の後, 950℃ から焼入れることにより, 約 50 μm の拡散浸透被膜が形成され, それらは硬さがそれぞれ HV 550, 600 程度の金属間化合物

となっており, 加熱による脱炭は認められない。

2) ショットピーニングによる圧縮残留応力については, 溶射被覆の厚さが 100 μm 程度の場合, 熱処理時に浸透しきれない被覆が残る, それがショットピーニングの効果を阻害するため残留応力は低下するが, 被覆厚が 50 μm の場合には僅かに低下する程度である。

3) 浸透被覆のある場合には, 20 サイクルの腐食条件でも腐食ピットは発生しないが, 被膜のない従来のものでは 10 サイクルで 0.08 mm, 20 サイクルで 0.13 mm の腐食ピットが認められる。また浸透被膜に不連続がある場合でも, 浸透被膜が僅かに薄くなる程度で鋼素地には腐食ピットは形成されない。

4) 浸透被膜の存在は疲れ特性にあまり大きな影響を与えず, 特に溶射被膜厚さが 50 μm 程度の場合には全く問題にならない。したがって実際のばねに適用した時は, ばね本来の疲れ特性を維持し, 実質的に腐食疲労を起さないという効果を有することになる。