

第3回 オイルテンパー線

住友電気工業(株) 山尾 憲人

オイルテンパー線は、常温で伸線した線を連続的に真っすぐな状態で油などの冷媒で焼入れした後、焼戻しを施して製造される。欧米では Oil Quenched and Tempered Wire あるいは Oil hardened and Tempered Wire と呼ばれており、これがOTの語源となっている。しかし、最近では焼入れ剤や加熱技術の進歩から水溶性焼入液や水への焼入れ技術が確立しているため、油以外の冷媒を用いて製造されることがあり日本工業規格(G 3560, G 3561)でも水焼入品も規格に含むと規定している。

オイルテンパー線の特徴

ピアノ線や硬鋼線がパーライトと呼ばれるフェライト(炭素をほとんど含まない鉄)およびセメンタイト(鉄と炭素の化合物)が層状に配列された組織を伸線加工し、その際の加工硬化により強度を得ているのに対し、オイルテンパー線は焼入れ時に生じる硬くて脆いマルテンサイト(鉄中に炭素が過飽和に固溶した組織)を焼戻すことによって、微細な炭化物を析出させた焼戻マルテンサイトとし、高い強度と靱性を得ている。

この焼戻マルテンサイト組織を有するオイルテンパー線は ①耐疲労性と耐へたり性に優れる ②降伏比が高い ③太い線径域でも高い強度を得ることができるという特徴を有している。

オイルテンパー線の種類

オイルテンパー線は、弁ばね用オイルテンパー線とばね用オイルテンパー線に大別される。このうち弁ばね用オイルテンパー線は特に厳しい耐疲労性が求められる自動車エンジンの弁ばねやクラッチ、トルクコンバーター用ばねに使用される。これらのばねには高い応力が数百万から数千万回以上も負荷されるため、線の内部に存在する非金属介在物や線表面の微細な疵が起点となって疲労破壊に至る恐れがある。そこで非金属介在物の組成制御(無害化)を目的に製鋼時に転炉または電炉で溶解した後、レードルにて炉外精錬を実施している。それに圧延後に綿材表面に存在するきずや脱炭等の表面欠陥を除去するために、綿材表面部全周を100~150μm取り除く皮剥工程を採用するとともに、全長でのきず保証を行う目的で渦流深傷が実施されている。

一方、ばね用オイルテンパー線は弁ばね用オイルテンパ

ー線ほど厳しい耐疲労性が要求されない懸架ばねや一般ばねに用いられているため、これらの工程が全て適用されるわけではない。

日本工業規格では表1に示す弁ばね用オイルテンパー線として JIS G3561、ばね用オイルテンパー線として JIS G3560が規格化されている。さらなる耐疲労特性等の向上を目的に、シリコンクロム鋼をベースにして炭素やシリコン等の量を増やしたり、バナジウムやモリブデン等を添加した新鋼種が開発実用化されている。

ワイヤーの断面形状については圧倒的に丸断面が多いが、密着高さの軽減や軽量化を目的に弁ばねやクラッチ用ばねに卵型あるいはこれに類似した形状が用いられている。さらにプレス機で使用されるばね用に長方形や台形のものも製造されている。

オイルテンパー線使用時の注意

焼戻しマルテンサイト組織は遅れ破壊を起こしやすいという問題がある。遅れ破壊とは、破断荷重以下の引張荷重が負荷された状態で突然破壊に至るもので、表面に存在するきずや不可避な凹凸などの先端部が応力集中部となり、鋼中に侵入した水素原子が集まってくる結果、この部分が脆くなることに起因した現象である。このため、水素を発生する酸洗やメッキなどの表面処理をオイルテンパー線に適用してはならない。また、水素が発生するような環境、例えば発錆や腐食が起きる環境下では使用してはならない。

さらに水素が発生する環境下でなくても遅れ破壊が起こることが知られている。すなわち、ばねに成形するとばねの内側に引張りの残留応力が生じる。高強度なオイルテンパー線の場合、この大きさは1000MPa以上になることもあり、コイリング後そのままの状態では遅れ破壊に至ることがある。従ってコイリング後は速やかに残留応力除去のため熱処理を行う必要がある。この残留応力除去を確実にこなす必要から、熱処理温度ピアノ線に比べて高い温度である400℃程度が採用されている。

このように注意をしなければならない点があるものの、耐疲労性や耐へたり性の向上等得られるメリットは大きいことから、オイルテンパー線が適用される範囲は年々拡大している。

表1 JISに規格化されているオイルテンパー線

規格	規格	記号	化学成分 [mass%]								
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	V	
弁ばね用	G3561	弁ばね用炭素鋼 オイルテンパー線	SWO-V	0.60~ 0.75	0.12~ 0.32	0.30~ 0.90	0.025 以下	0.025 以下	—	0.20 以下	—
		弁ばね用クロムバナジウム鋼 オイルテンパー線	SWOCV-V	0.45~ 0.55	0.15~ 0.35	0.65~ 0.95	0.025 以下	0.025 以下	0.80~ 1.10	0.20 以下	0.15~ 0.25
		弁ばね用シリコンクロム鋼 オイルテンパー線	SWOSC-V	0.51~ 0.59	1.20~ 1.60	0.50~ 0.80	0.025 以下	0.025 以下	0.50~ 0.80	0.20 以下	—
ばね用	G3560	ばね用炭素鋼 オイルテンパー線	SWO-A	0.35~ 0.88	0.10~ 0.35	0.30~ 1.20	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—
			SWO-B	0.35~ 0.88	0.10~ 0.35	0.30~ 1.20	0.030 以下	0.030 以下	—	—	—
		ばね用シリコンクロム鋼 オイルテンパー線	SWOSC-B	0.51~ 0.59	1.20~ 1.60	0.50~ 0.90	0.035 以下	0.035 以下	0.55~ 0.90	—	—
		ばね用シリコンマンガン鋼 オイルテンパー線	SWOSM-A SWOSM-B SWOSM-C	0.56~ 0.64	1.50~ 1.80	0.70~ 1.00	0.035 以下	0.035 以下	—	0.30 以下	—