

第12回 小物ばねのショットピーニング

日本発条(株) 丹下 彰

小物ばねの定義は明瞭ではないが、ここではコイルばねを対象として、おおよそ線径φ1.0以上φ5.0以下をイメージして述べることにする。ここでφ1.0以上とした理由は、φ1.0以下の小物ばねでは疲労強度向上のニーズが少なく、またショットピーニングによるばねの変形が無視できなくなり、ショットピーニングが行われる例が少ないためである。勿論φ1.0以下の小物ばねであっても微細なショットを用い、投射速度を下げる加工条件であればショットピーニングによる疲労強度向上が可能であるが、ここでは割愛する。また、近年先進的な疲労強度向上を目的として微細ショットを用いた多段ショットピーニングが行われる報告が多いが、ここでは多段ショットピーニングについても触れないことにする。したがって、厳密な定義はできないが疲労強度の向上を目的とした一般の小物ばねの普通ピーニングを行う際の留意点について記す。

ショットピーニング加工条件

ばね工業会によるJIS「ショットピーニング」原案作成委員会でのばねのショットピーニング方法の調査によれば、内燃機関用コイルばねの普通ピーニング条件は表1のようになっている。ただし、これはあくまで参考であり守らなければならないものではないことを強調しておく。

表1 参考としての小物ばねの普通ピーニングの条件

| ばねの寸法 (mm) | ショット | | アークハイト | カバレッジ |
|---------------|-----------|--------------|----------------|-------|
| | 径(mm) | 呼び硬さ (HV) | | |
| 線径 2.0~5.0 | 0.45~0.80 | 580~800 | 0.25~0.50mm(A) | 85%以上 |

投射装置

ショットの投射装置は遠心式と空気式に大別される。それぞれの特徴を記すと、遠心式の利点はインパーと呼ばれる羽根車でショットを加速し投射することから、単位時間に大量のショットを比較的広い面積に投射することが可能である。したがって、大量のばねに短時間でショットピーニングすることが可能で生産性がよい。投射可能なショットサイズの目安はφ0.2以上とされているようである。一方、空気式の場合は通常0.4MPa前後の高圧の圧縮空気中によって、ノズルよりショットを加速投射するものである。したがって、投射される領域は遠心式に比べはるかに狭い反面、投射密度は非常に大きい。また、ノズルを用いることから投射する箇所を確実に効率よくショットピーニングすることが可能となる。また後に述べるショット材の種類の制約については、遠心式ではガラスビーズなどの軽いショットや脆いショットは適さない。一方、空気式では目安としてφ1.0以上の重い(鋳鋼、カットワイヤ)ショットは適さない。小物ばねに対して遠心式か空気式かの選択は以上のことを考慮して選択されることとなる。

小物ばねの場合、生産性と均一なショットピーニング加

工を目的として、ばねのハンドリング方式として図1に示すタンブラ式が多く用いられる。すなわち、多数の小物ばねをショットピーニング加工中にエンドレスゴムベルトやドラムによってかき回し、ばね表面全体を均一にショットピーニング加工しようとするものである。この方式の永遠の課題はばねとばねとが絡み合いショットが当たらない部分が出てしまうことである。勿論、加工を中断し絡みをほぐし再加工することや、絡み防止治具をばねに取り付けるなどの試みはあるが、生産性の点から魅力的な解決法ではない。小物ばねでは加工によるばねの変形が重要となることから投射速度やショットサイズも適正に選択する必要があることはいうまでもない。

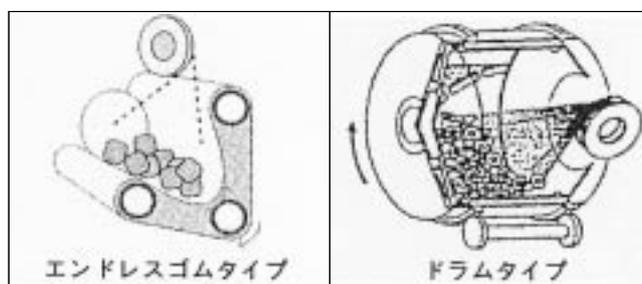


図1 タンブラ式の例

ショット材

ショット材として鋳鋼ショットやカットワイヤそしてコンディションドカットワイヤが多く用いられる。その他ガラスビーズやセラミックショットなどがあるが、ここでは鋼のショットに限りその種類を表2~8に紹介する。

小物ばねに対するショットの選択として第一に考慮しなければならないことはショットの大きさである。参考資料として、(財)日本ばね工業会編「小物ばねの耐久性に関する調査報告書 昭和59」を紹介する。これは、種々の線径のSWPBとSWOSCを用いたコイルばねの疲労強度が最大となるショットサイズとアークハイトとの関係を調べたものである。図2, 3より、ばねの線径が小さいほど疲労強度向上には小さなショットが適していることがわかる。ショット硬さ選択の指針は、ショット硬さはばね硬さより硬くすることでよい。

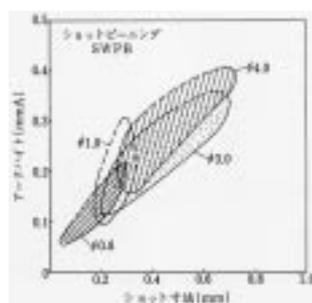


図2 ばねの線径と最適ショットピーニング条件

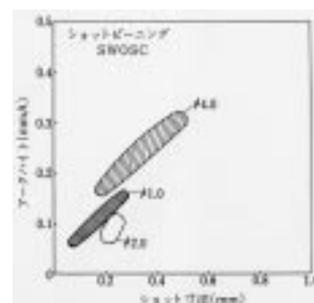


図3 ばねの線径と最適ショットピーニング条件

表2 鋳鋼ショットの種類および粒度分布

| ふるい呼び ⁽¹⁾ 寸法(μm) | 粒径番号 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | SS400 | SS330 | SS280 | SS240 | SS200 | SS170 | SS140 | SS120 | SS100 | SS80 | SS70 | SS60 | SS50 | SS40 | SS30 | SS15 | SS9 | SS4 |
| 4750 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4000 | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3350 | 90%以上 | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2800 | 97%以上 | 90%以上 | | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2360 | | 97%以上 | 90%以上 | | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | | | 97%以上 | 90%以上 | | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 1700 | | | | 97%以上 | 85%以上 | | 5%以下 | 0 | | | | | | | | | | |
| 1400 | | | | | 97%以上 | 85%以上 | | 5%以下 | 0 | | | | | | | | | |
| 1180 | | | | | | 97%以上 | 85%以上 | | 5%以下 | 0 | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | 96%以上 | 85%以上 | | 5%以下 | 0 | | | | | | | |
| 850 | | | | | | | | 96%以上 | 85%以上 | | 10%以下 | 0 | | | | | | |
| 710 | | | | | | | | | 96%以上 | 85%以上 | | 10%以下 | 0 | | | | | |
| 600 | | | | | | | | | | 96%以上 | 85%以上 | | 10%以下 | 0 | | | | |
| 500 | | | | | | | | | | | 97%以上 | | | 10%以下 | | | | |
| 425 | | | | | | | | | | | | 85%以上 | | | 0 | | | |
| 355 | | | | | | | | | | | | 97%以上 | 80%以上 | | 10%以下 | | | |
| 300 | | | | | | | | | | | | | | 80%以上 | | 0 | | |
| 250 | | | | | | | | | | | | | 90%以上 | | | 10%以下 | | |
| 180 | | | | | | | | | | | | | | 90%以上 | 80%以上 | | | |
| 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | |
| 125 | | | | | | | | | | | | | | | 90%以上 | | 10%以下 | |
| 106 | | | | | | | | | | | | | | | | 70%以上 | | |
| 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 75 | | | | | | | | | | | | | | | | 90%以上 | | 10%以下 |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | 70%以上 | |
| 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 50%以上 |

表3 鋳鋼ショットの硬さ

| 呼び硬さ (HV) | | | | | | | | | | | | | 許容差 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 250* | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 | 850 | ±50 | |

*はASTMによる

表4 カットワイヤショットに用いる線材の寸法

| 名称 | 呼び径 (mm) | | | | | | | | | | 線径許容差 (mm) | 切断長さ許容差 |
|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|---------|
| | CW | — | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | ±0.02 |
| 1.1 | | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | ±0.03 | ±15% |
| 2.1 | | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | ±0.04 | ±10% |

表5 カットワイヤショットの化学成分(%)

| 材質 | C | Si | Mn | P | S | 備考 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| ステンレス鋼以外 | 0.39~ | 0.10~ | 0.30~ | 0.035 | 0.035 | |
| | 0.96 | 0.35 | 0.90 | 以下 | 以下 | |
| ステンレス鋼 | | | | | | JISG4308による |

表6 カットワイヤショットの硬さ

| 呼び硬さ (HV) | | | | 許容差 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|
| 350 | 500 | 580 | 700 | ±50 |

表7 コンディションドカットワイヤショットの種類と質量

| 名称 | 呼び径 (mm) | | | | | | | | | | 質量 ⁽¹⁾ (mg/粒) | 質量許容差 |
|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------|-------|
| | CCW | — | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | | |
| 1.1 | | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | ±15% | |
| 2.1 | | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | ±10% | |

⁽¹⁾但し、 $\pi=3.14$, d は呼び径(mm), ℓ は切断長さ(mm), ρ は密度で7.8(g/ml)とする。原則として $\ell=d$ であるから、質量は $6.12 \times d^3$ から求めてもよい。

表8 コンディションドカットワイヤショットの硬さ

| 呼び硬さ (HV) | | | | | 許容差 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 350 | 500 | 580 | 700 | 800 | ±50 |

アークハイトとカバレッジ

図2, 3より疲労強度向上には小物ばねほど小さなショットが適しているが、これに伴い小さなばねにとって最適なアークハイトは小さいものとなることもわかる。ここでアークハイトは本来ショットピーニングの管理に用いられるものであって、疲労強度の判断に使用されるものではないことに注意を要する。ただし、ショットサイズや投射速度が同一のばね同士の比較においてはアークハイトが大きいほどばねに当たるショットの数が多いことが予想され、カバレッジが大きいすなわちより均一なショットピーニングが施されることになり、この場合にはアークハイトが大きいほど疲労強度が高くなると考えられる。

図4にJSMA SD001解説資料, カバレッジ90%でのショットサイズとショット速度そしてアークハイトの関係を引用する。ショットピーニング条件を決定する際の参考になるであろう。

カバレッジの測定は基本的に被加工物すなわち小物ばねの表面を観察することが望ましい。一方、カバレッジは目視検査となるため厳密に定量化することは困難であり、その値が100%, フルカバレッジに近いほど難しくなる。そこで、次の計算法を紹介する。タンブラ式でショットピーニングを行う場合において、比較的カバレッジの測定が容易な50%程度のカバレッジ C_1 となるショットピーニングを行いこの時の投射時間 T_1 を計測しておく。 T_1 のN倍の投射時間 $N \times T_1$ でのカバレッジ C_N は次の式で与えられる。

$$C_N = 1 - (1 - C_1)^N$$

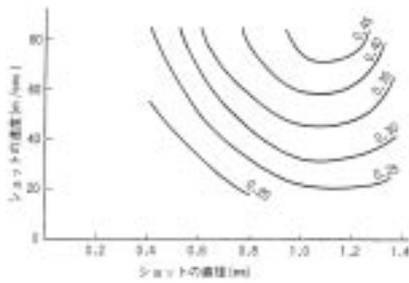


図4 カバレッジ90%におけるアークハイト

例えば、 $C_1=0.5$ (50%)となる投射時間が10分であるとすると、20分の投射時間では $C_2=0.75$ (75%)となり、40分の投射時間では0.94 (94%)となる。

残留応力測定

ショットピーニングの加工が十分に行われたかを判断するためにX線応力測定法がもっぱら用いられる。本測定での小物ばねに対する留意点として、X線照射野の大きさがある。すなわち細い線径に対しては小さな照射野とする必要があ

る。資料として図5に示すばね論文集47号58頁にあるものを紹介する。コリメータ径 D_c (照射野の大きさ)と線径 D_p との比 D_c/D_p と測定された残留応力の関係が示されている。 D_c/D_p が大きくなるほど残留応力は小さく測定される傾向がある。一方あまりに小さい D_c では測定のはらつきが大きくなる。そこで、 D_c/D_p として $1/2 \sim 1/3$ の範囲を推奨している。



図5 線径に対するコリメータ径の比と残留応力の関係