

高 Si 硬引線の回転曲げ疲労強度に及ぼす 微小ストレート切欠きの方向性の影響

名城大学[院] ○南部紘一郎 名城大学 猿木勝司 (株)東郷製作所 近藤 覚

Influence of directional angle of a small straight notch on rotating bending fatigue strength of high Si hard-drawn wire

Koichiro NAMBU and Katsushi SARUKI and Satoru KONDO

1. 緒言

従来ばね線材として使用されているシリコン・クロム・バナジウム鋼オイルテンパー線に比べコスト面で有利となる高 Si 硬引線のばね線材への適用が検討されている。ばね材料として用いる場合は、はじめから含まれている非金属介在物などのほかに、加工工程、搬送工程中に生じる後天的な疵が微小欠陥として強度を低下させる場合があることを考えておく必要がある。しかしそれらによって低下した疲労強度は材料の表面上にショットピーニングを施し、それによって得られる表面硬化や残留応力の効果を有効利用することによって改善できる可能性がある。また、高 Si 硬引線はパーライトの伸線組織を有していることから疵の方向によって疲労強度が異なる可能性がある。そこで本研究では高 Si 硬引線に微小なストレート切欠きをつけて疲労試験を行い、その切欠きの方向性による疲労強度の低下率、またショットピーニングによる疲労強度の改善効果について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材および試験片

供試材には高 Si 硬引線を用いた。化学成分を Table 1 に示す¹⁾。

Table 1 Chemical composition (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.83	0.9	0.76	0.014	0.007	0.01

試験片は線径 4mm、長さ 635mm で平滑試験片のほか、試験片中央にストレート切欠きをつけたものを使用した。切欠きは角度 60 度、切欠き先端半径は 0.25mm の刃物で切削によりつけた。切欠き深さは 0.1mm とし、切欠きの方向は軸に対し 90° 60° 45° 30° の 4 種類とした。試験片は切欠きをつけただけのもの (RN 材)、切欠きをつけてからショットピーニング処理をしたもの (RN→SP 材)、ショットピーニング後に切欠きをつけたもの (SP→RN 材) とした。

2.2 ショットピーニング条件

ショットピーニング方法にはコンベア回転カゴ方式を用いた。投射材はラウンデッドカットワイヤー (直径 0.4mm、硬さ 550~600 HV) を用いた。投射条件は、投射速度 50m/s、投射時間 120sec であり、この条件でショットピーニングを行った場合はアークハイトが 0.165~0.18mmA でフルカバレッジとなった。

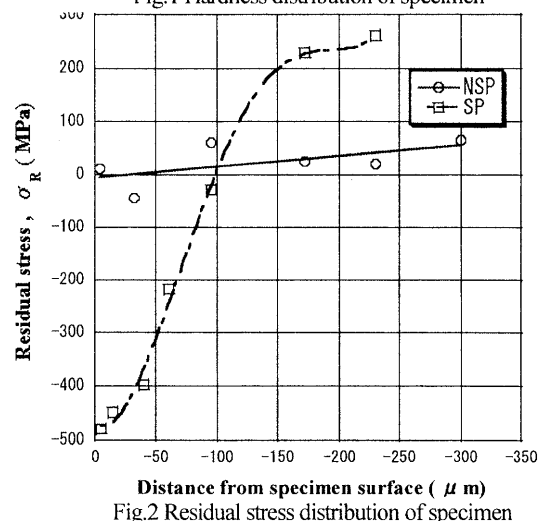
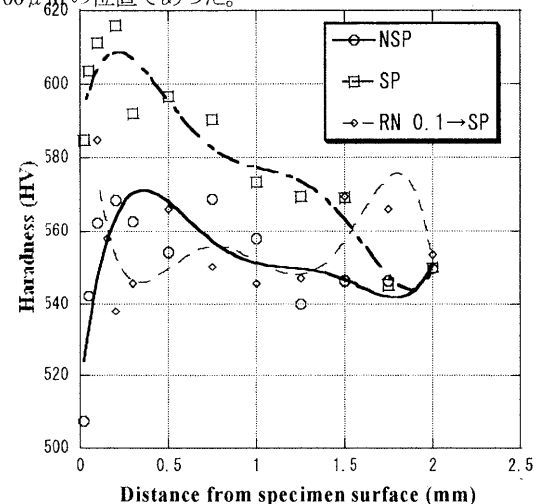
2.3 疲労試験方法

試験機には中村式回転曲げ疲労試験機を用いた。試験に当たっては較正曲線を用い所定の応力を負荷した。

3. 実験結果と考察

3.1 断面硬さ、残留応力

Fig.1 に断面硬さ測定の結果を示す¹⁾。表面硬さ (表面から 0.02mm の位置) は未処理材 (以下 NSP と表記) が 507HV であるのに対し、SP 材は 585HV であり、ショットピーニングによって表面の硬さが約 HV80 (15%) 上昇した。また、RN→SP 材の表面硬さは 584HV となり、平滑材とほぼ同じ値であった。ただし、SP 材では表面から 0.2mm の深さまで硬さが上昇したのに対し、RN→SP 材では硬さが低下した。Fig.2 に残留応力測定の結果を示す¹⁾。未処理材の残留応力がほとんど 0 であるのに対し、SP 材では最表面に -470MPa の圧縮残留応力があった。また、クロッシングポイントは深さ 100 μm の位置であった。



3. 2 S-N線図

Fig.3には未処理材 (NSP) の平滑材と切欠き材 (RN 材) の結果を合わせて示した。高 Si 硬引線の耐久限は平滑で 470MPa, RN 90° で 410MPa となり耐久限は 14%低下した。60° 45° 30° では角度が小さくなるにつれて、高い応力でも切欠きから破断せず、切欠き以外すなわち平滑部から破断する傾向を示した。これらの場合耐久限直上ではいずれも切欠き以外から破断し、耐久限は 445~450MPa と平滑材並みであった。Fig.4 に平滑材にショットピーニングした試験片 (以下平滑 SP と表記) とショットピーニング後に切欠きをつけた試験片 (SP→RN) の結果を示す。耐久限は平滑 SP で 690MPa, SP→RN 90° で 470MPa となり耐久限は 32%低下した。60° 45° 30° ではほとんどが切欠きからの破断であったが、耐久限は 710~690MPa と平滑 SP とほぼ同じ値となった。

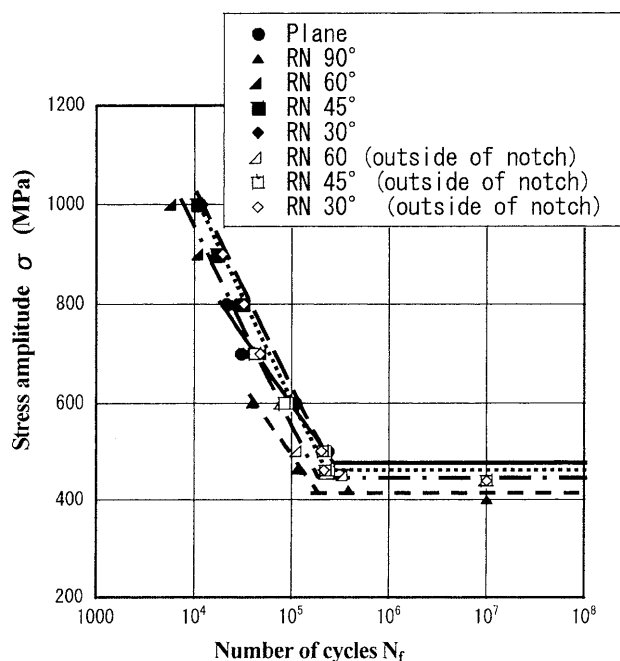


Fig.3 S-N relation (Non shotpeened specimen)

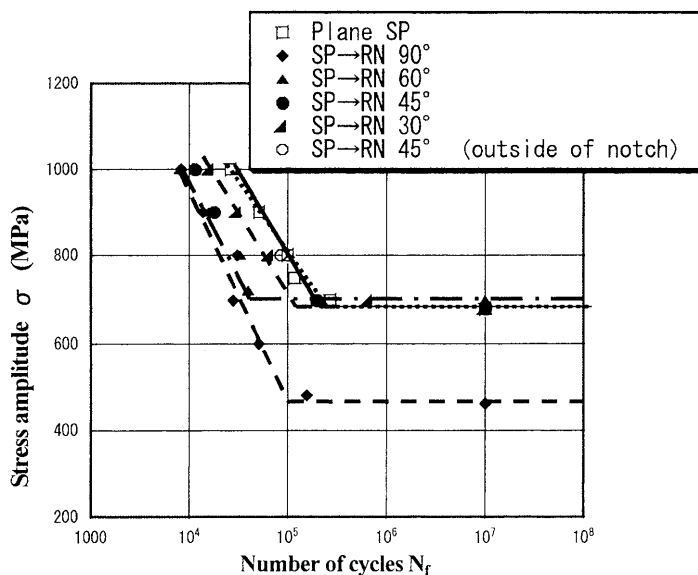


Fig.4 S-N relation (SP→RN specimen)

3. 3 耐久限の推定

表面の微小欠陥、き裂、介在物が存在する場合の耐久限度を評価する村上の式²⁾を用いて耐久限 σ_w の推定を行った。

$$\sigma_w = \frac{1.43(HV + 120)}{(\sqrt{area})^{1/6}} \dots (1)$$

$area$: 表面微小欠陥の投影面積

(1)式を用いた結果、RN 90° の推定値は 389MPa となった。実験値は 410MPa であるから、その差は約 5% であり、比較的近い値が得られた。RN 60° 45° 30° では投影面積は同じであるが切欠きから破断しなかったためこの式で推定することはできなかった。

次に残留応力を平均応力と考え、平均応力が存在する場合の村上の式を用いてショットピーニングしたものの耐久限の推定を行った。

$$\sigma_w = \frac{1.43(HV + 120)}{(\sqrt{area})^{1/6}} \cdot \left[\frac{1 - \frac{\sigma_r - \sigma_w}{\sigma_r + \sigma_w}}{2} \right]^\alpha \dots (2)$$

$$\alpha = 0.226 + HV \times 10^{-4}$$

SP→RN の残留応力値と硬さは、それぞれその深さでの残留応力値と硬さを用いた。(2) 式を用いて推定した結果 SP→RN 90° では 440MPa となった。実験値は 470MPa であるから、その差は 6% であり比較的近い値が得られた。SP→RN 60° 45° 30° では切欠きから破断するが耐久限は低下しなかった。ちなみに中心部断面で考えると 60° 45° 30° の切欠きの断面積は 90° の場合と比較すると 65~57% となり、これを採用しても推定値は 430~435MPa とかなり低くなり、実験値の 60~65% となった。

今回の場合、斜め切欠きについては村上の式を用いて推定することができなかった。これについては高 Si 硬引線が伸線組織であるため異方性を有することや形状係数について考察する必要があることが考えられる。

4. 結言

- 1) 表面硬さはショットピーニングにより HV80 程上昇し、残留応力は表面に最も付与され、その値は -470MPa であった。
- 2) NSP および SP→RN では 90° 方向にストレート切欠きをつけた場合には耐久限がそれぞれ 14%、32%低下するのに対し、60° 45° 30° の場合、耐久限は平滑材とほぼ同等となった。
- 3) NSP および SP→RN の 90° では耐久限はそれぞれ(1)、(2)式で比較的近い値が推定できた。一方 60° 45° 30° では実験値と推定値の差が大きいため、高 Si 硬引線が異方性を有することや形状係数について考察する必要があることが考えられる。

5. 参考文献

- 1) 南部紘一郎 猿木勝司 間野日出男『日本機械学会東海支部講演論文集』No.073-1, 155~156 頁、(2007)
- 2) 村上 敬宜『微小欠陥と介在物の影響』、養賢堂 (1993)