

高靱性ラックバー用材料の開発

Development of Material for High Bending Rack Bar

亀井 亮 M. KAMEI 太田敦彦 A. OHTA

If an excessive load from tires exerts impact on a rack bar, it will be fractured and will become impossible to steer. Therefore, the breakage mode of fracture is not a desirable breakage mode in view of safety.

If a large amount of load acts on the tires, cracks will appear on the rack. By keeping the cracks from progressing at the boundary of induction hardened layer and non-induction hardened layer, the breakage mode of rack becomes bending.

The bending mode of rack enables the driver to keep minimum steering ability.

This paper introduces the development of rack material with high bending microstructure produced by using controlled cooling process which keeps cracks from progressing.

This material is low cost compared to current material and will have the breakage mode of bend.

Key Words: high bending rack bar, breakage mode of bending, controlled cooling treatment, low cost

1. はじめに

ラックバーはラック&ピニオン式ステアリングギヤを構成する部品のひとつで、ピニオンシャフトの回転を直線運動に変換し、タイヤを進行方向に動かす役割をする。そのため、ピニオンシャフト側からは、ハンドルを動かす時に生じる操舵トルクが作用する。一方、車が縁石に乗り上げた場合や路面のギャップを拾った場合には、タイヤ側から衝撃的な荷重が作用する。

タイヤ側から過大な荷重がラックバーに作用すると、ラックバー全体に曲げ応力が発生する。き裂が高周波焼入れされた歯底を起点に発生するまで荷重を負荷すると、き裂の進展によっては図1のようにラックバーが二分割に破断する。二分割に破断した破損形態の場合、操舵ができなくなるため、安全面から考えた場合、好ましい破損形態とは言えない。

一方、図2のようにき裂が発生してもラックバーが二分割に破断しない場合もある。ここで、き裂が発生しても外観上曲がった状態を曲がる破損形態と称し、曲がる破損形態となるラックバーを曲がるラックバーと称す。図2のように曲がるラックバーとなれば、最低限の操舵が可能であり、安全面からは好ましい状態と言える。

本報では、曲がるラックバーとなる調質処理材を使ったラックバー(以下調質ラックバーと称す)から、曲がる破損形態となるために必要なメカニズムを求めた。そして、その知見から低コストで、かつ、曲がる破損形態となる信頼性が向上する高靱性ラックバー用材料を開発したので紹介する。



図1 二分割に破断したラックバー
Rack bar in breakage mode of fracture

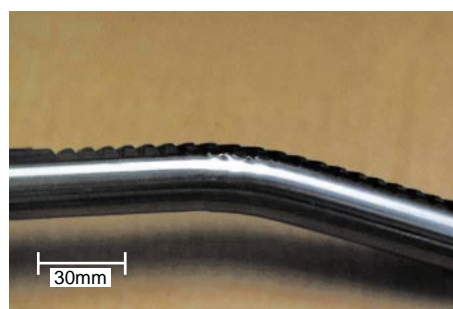


図2 曲がる破損形態のラックバー
Rack bar in breakage mode of bending

2. 曲がる破損形態となるメカニズム

図3は曲がる破損形態となった調質ラックバーのき裂が発生した部分を軸方向に切断し、拡大したものである。なお、図3中のA部はラック歯部を高周波焼入れした部分(以下高周波焼入れ層と称す)、図3中のB部は焼き境の部分(以下中間層と称す)、図3中のC部は高周波焼入れによる熱

影響を受けていない部分(以下未焼入れ部と称す)である。

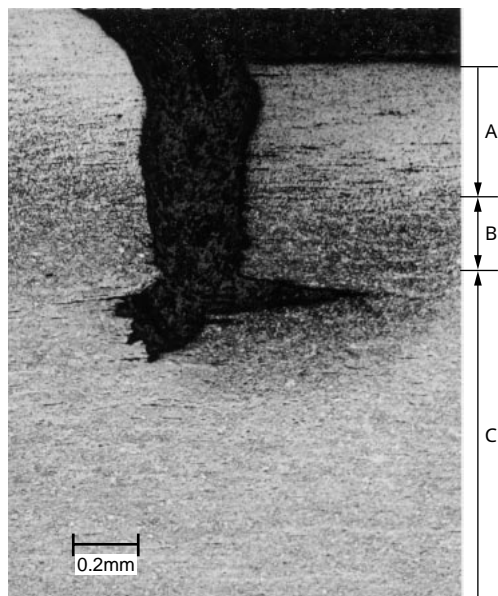


図3 き裂発生部の拡大
Enlargement of a crack generating area

歯底を起点に発生したき裂は高周波焼入れ層および中間層を貫通し、未焼入れ部で滞留している。調質ラックバーで使用している調質処理材は、高温焼戻しで靱性の高いソルバイト組織が得られるが、そのソルバイト組織が図3でき裂が滞留している部分に存在する。き裂の伝播に必要なエネルギーは靱性の高い(延性)材料ほど大きくなる¹⁾ことから、ソルバイト組織の存在が未焼入れ部でき裂が滞留する理由である。したがって、曲がる破損形態のラックバーを得るには靱性の高い組織を有する材料が必要であり、従来の調質処理材よりも安価に靱性の高い組織を有する材料が要求される。

調質処理で得られるソルバイト組織がある深さ(以下ソルバイト層と称す)はラックバーで使用している材料の焼入れ性とラックバーの径を考えると、ラックバーが細い場合でも芯部までソルバイト組織は得られない。したがって、中間層と接する未焼入れ部は靱性の高いソルバイト組織と靱性の低いフェライト+パーライト組織が共存している状態となる。図4は歯底断面のマクロパターンを模式的に示したものである。図4の場合、高周波焼入れ層から中間層を進展し未焼入れ層に達したき裂がソルバイト組織で滞留せず、フェライト+パーライト組織を進展し、最悪の場合、図1のように二分割に破断する可能性もある。破断する可能性を限りなく低くする、つまり、安全性に対する信頼性を向上させるためには、中間層と接

するすべての部位でソルバイト組織があることが好ましい状態と言える。図5は曲がる破損形態とするために理想的な歯底断面のマクロパターンを模式的に示したものである。したがって、靱性の高い組織の層を従来よりも深くすることも要求される。

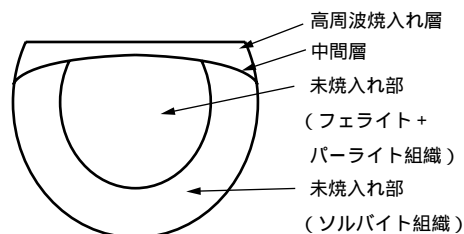


図4 ラックバーの歯底断面
Root section of rack bar

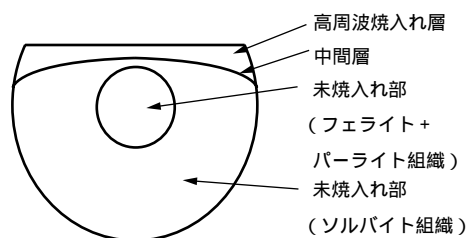


図5 理想的なラックバーの歯底断面
Ideal root section of rack bar

3. 高靱性ラックバー用材料の開発

3.1 制御冷却処理の開発

靱性の高い組織を得るには、何らかの熱処理が必要となる。そこで、調質処理以外で靱性の高い組織を得る方策を検討した結果、制御冷却処理という熱処理を開発した。

図6は制御冷却処理と調質処理の熱処理サイクルを示す。制御冷却処理は調質処理と同様、焼入れと焼戻しを行うが、焼入れと焼戻しを連続して実施することが特徴である。

靱性の高い組織は調質処理よりも高温で焼戻しすることにより、短時間でも調質処理の焼戻しと同等の品質を得ることが可能となった。そして、熱処理時間を短縮したことで低コストが達成できた。

靱性の高い組織が得られる深さは、焼入れ時の冷却方法を工夫した。調質処理よりも焼入れ強度が向上する冷却方法²⁾を採用したことにより、焼入れ性の同じ材料を使用した場合、調質処理よりも靱性の高い組織が得られる深さが深くなった。そのため、図5のように中間層と接する未焼入れ部で容易に靱性の高い組織が確保できるようになった。

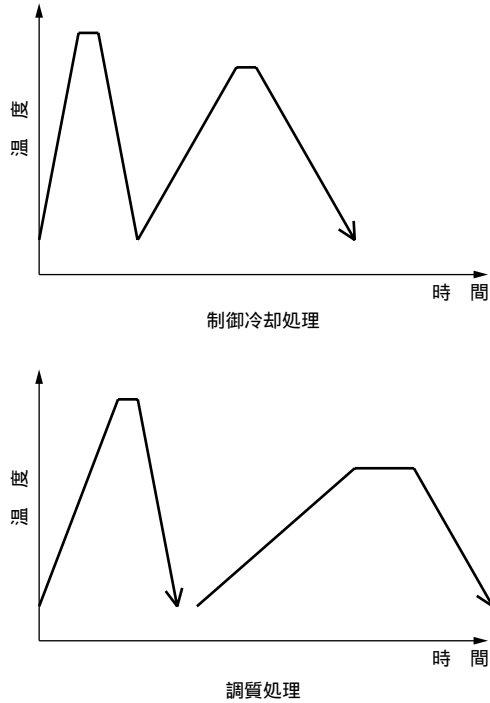


図6 熱処理サイクル
Heat treatment cycle

3.2 制御冷却処理材の材料特性

制御冷却処理した材料(以下制御冷却処理材と称す)の機械的特性を、調質処理材とラックバーが二分割の破断の破損形態となる非調質鋼で比較した。

衝撃特性はシャルピー衝撃試験で確認した。試験片はJIS Z 2202の3号試験片を用い、容量300Jのシャルピー衝撃試験機で評価した。ラックバーはき裂発生部位が高周波焼入れされた状態であるため、試験は切欠き面を高周波焼入れしたもので評価した。図7は試験片の軸方向断面のマクロパターンを示す。なお、高周波焼入れ層の深さは切欠き底から矢印方向に1mmを目標とした。また、制御冷却処理材および調質処理材での靱性の高い組織は中間層から矢印方向に2mm深さ(切欠き底からは矢印方向に3mm深さ)まで得られている品質のものを供試した。(3点曲げ試験および曲げ疲労試験も同様の熱処理品質条件で試験を実施している)

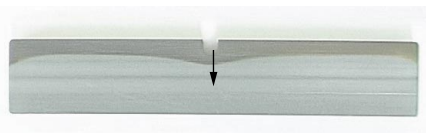


図7 シャルピー衝撃試験片
Test piece for charpy impact test

図8はシャルピー衝撃試験の結果を示す。

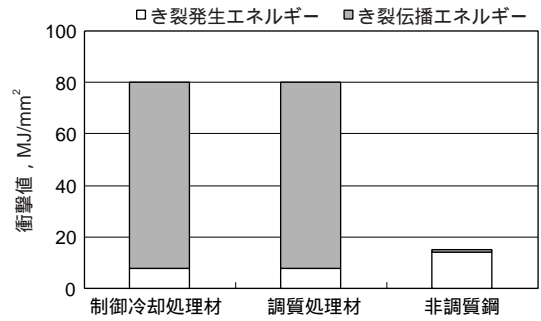


図8 シャルピー衝撃試験結果
Charpy impact test data

制御冷却処理材は調質処理材と同等の衝撃値で、非調質鋼に比べて4倍以上の衝撃値であった。また、制御冷却処理材は調質処理材と同様にき裂伝播に要するエネルギーが高かった。

曲げ特性は3点曲げ試験で確認した。図9は3点曲げ試験の結果を示す。

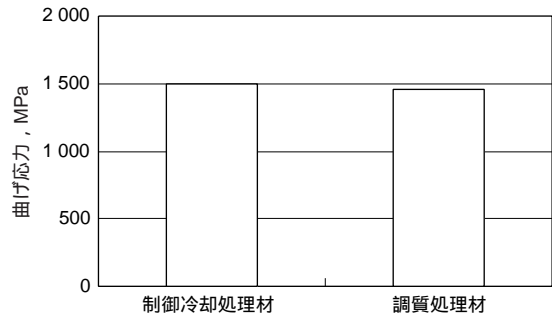


図9 3点曲げ試験結果
Three points bending test data

制御冷却処理材は調質処理材と同等の曲げ強度であった。

疲労特性は曲げ疲労試験で確認した。曲げ疲労試験は一般に回転曲げ疲労試験で実施されることが多いが、ラックバーでの曲げ疲労特性はあまり反映できない試験である。そこで、ラックバーでの曲げ疲労特性に近い曲げ疲労特性が得られる片振りの曲げ疲労試験を実施した。図10は曲げ疲労試験片の軸方向断面のマクロパターンを、図11は曲げ疲労試験の結果を示す。

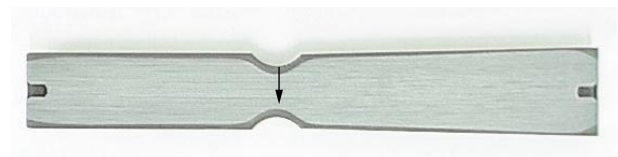


図10 曲げ疲労試験片
Fatigue test piece

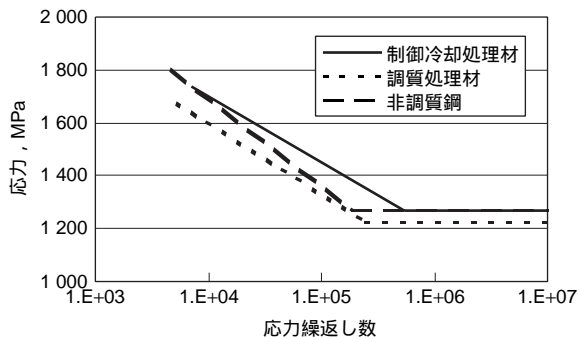


図11 片振り曲げ疲労試験結果

Fatigue limit under pulsating bending test data

制御冷却処理材の曲げ疲労強度は調質処理材よりも優れ、非調質鋼と同等であった。

制御冷却処理材は調質処理材と比べると、衝撃特性、曲げ特性、疲労特性いずれも同等以上の機械的特性を有している材料であった。

3.3 ラックバーの評価

制御冷却処理材を使ったラックバーで曲げ試験を実施し、ラックバーの性能を確認した。試験は曲げ強度に有利な熱処理品質(上限品)と不利な熱処理品質(下限品)のもので実施した。図12は試験結果を示す。なお、図12中の破線は最低限必要な曲げ荷重の水準を示す。

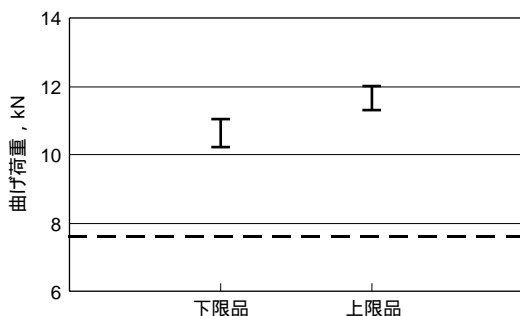


図12 ラック曲げ試験結果

Bending test data

曲げ試験の結果、制御冷却処理材を使ったラックバーは量産で想定可能な熱処理品質の水準では問題なかった。また、上限品、下限品とも試験後の破損形態は図2の曲がる破損形態となり、目的を達した。

4. おわりに

本報では、未焼入れ層が靱性の高い組織である場合にラックバーが曲がる破損形態となることを見出し、従来の調質処理材よりも低コストで同等の品質が得られる制御冷却処理材を開発した。

制御冷却処理は調質処理に比べて熱処理時間の短縮が可能となり、消費エネルギーが削減できるので、環境に配慮した熱処理である。

制御冷却処理材を使ったラックバーは、安定して曲がるラックバーとなり、常に最低限の操舵性を確保しているため、従来よりも高い安全率を有している。

当社では、今後も性能向上やコスト低減だけでなく、安全や環境に配慮した開発を継続していきたい。

参考文献

- 1) 河本 実：材料試験，朝倉書店(1965)62。
- 2) 日本熱処理技術協会：熱処理技術便覧，日刊工業新聞社(2000)306。

筆者



亀井 亮*
M. KAMEI



太田敦彦*
A. OHTA

* 総合技術研究所 トライボロジー研究部