

© 1986 ISIJ

過冷オーステナイト状態の軸受鋼切削加工 のための熱間鍛造からの連続熱処理

論 文

藤岡 康夫*・室 博*²

Continuous Heat Treatment from Hot Forging on the Machining of Bearing Steel in Supercooled Austenitic State

Yasuo FUJIOKA and Hiroshi MURO

Synopsis:

A new machining process, called auscutting, has been developed in which the cutting operation is performed in supercooled austenitic state during quenching. In this paper, the optimum heat cycle condition which saves much thermal energy and time in the continuous process for manufacturing bearing races from hot forging to auscutting is investigated from the viewpoint of the quenched structure. Furthermore, under the obtained optimum heat cycle condition, the machinability and the rolling fatigue life are investigated.

The results obtained are summarized as follows:

(1) The optimum heat cycle process with auscutting is (hot forging)→(air cooling to 650°C)→(slow heating to 850°C and soaking)→(quenching to 200°C)→(auscutting)→(air cooling). Thermal energy in this process with auscutting is about 36% less than that in the conventional process.

(2) Under the optimum heat cycle, the machinability in auscutting is not worse than that under the conventional heat cycle and the rolling fatigue life is about 3-4 times longer than that under the conventional heat cycle.

1. 緒 言

高炭素クロム軸受鋼を用いて軸受の内外輪を製造する工程は、圧延素材—熱間鍛造—球状化焼なまし—切削加工—焼入れ—焼もどし—研削加工というのが一般的である。この工程には多くの加熱・冷却工程が含まれており、その熱サイクルを模式的に示すと Fig. 1 a)のごとく多大の熱エネルギーを必要としている。

これに対し著者らはオースカッティングと称する方法を考案し、提案した^{1)~3)}。それは焼入冷却途中の過冷オーステナイト状態で切削加工を行い、加工終了後室温まで冷却することによりマルテンサイト変態を起こさせ、焼入硬化を完了させる方法である。この方法によれば熱間鍛造熱を利用した炭化物の球状化処理によつて切削加工前の焼なましを省略することができ、Fig. 1 b)に示した熱サイクルのように、大幅な熱エネルギーの削減と工程時間の短縮が期待できる。

本研究においては、熱間鍛造終了後から連続してオースカッティングを行うまでの熱処理条件について種々実

験し、省エネルギーの立場から、最も熱エネルギーが少なく、かつ最短時間でしかも製品の品質にとつて望ましい最適熱サイクル条件をマイクロ組織、転がり疲労寿命及び被削性の観点から検討した。また、得られた熱間鍛造熱利用の最適熱サイクル条件における熱エネルギー消費量を従来工程の場合と比較した。

2. 球状化熱処理実験

2.1 試験片及び実験方法

高炭素クロム軸受鋼の球状化焼なまし処理は、切削を容易にし、かつ焼入れ・焼もどし後優れた耐転動疲れ性と耐すべり摩耗性を得るための重要な作業の一つである⁴⁾といわれており、特に切削加工を容易にする目的で、硬さが HRB 95 以下となるよう長時間の加熱及び冷却工程を必要としている。

一方、焼入冷却途中の過冷オーステナイト状態で切削加工を行うオースカッティングにおいては、球状化焼なまし後の硬さは問題とならず、焼入れ後の組織が良好であれば良いと考えられる。そこでまずマイクロ組織の観点

昭和 55 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 60 年 10 月 2 日受付 (Received Oct. 2, 1985)

* エヌ・テー・エヌ東洋ベアリング(株)総合技術研究所 (General Technical Laboratory, NTN Toyo Bearing Co., Ltd., 1380 Higashikaizuka Iwata Shizuoka pref. 438)

*² エヌ・テー・エヌ東洋ベアリング(株)総合技術研究所 工博 (General Technical Laboratory, NTN Toyo Bearing Co., Ltd.)

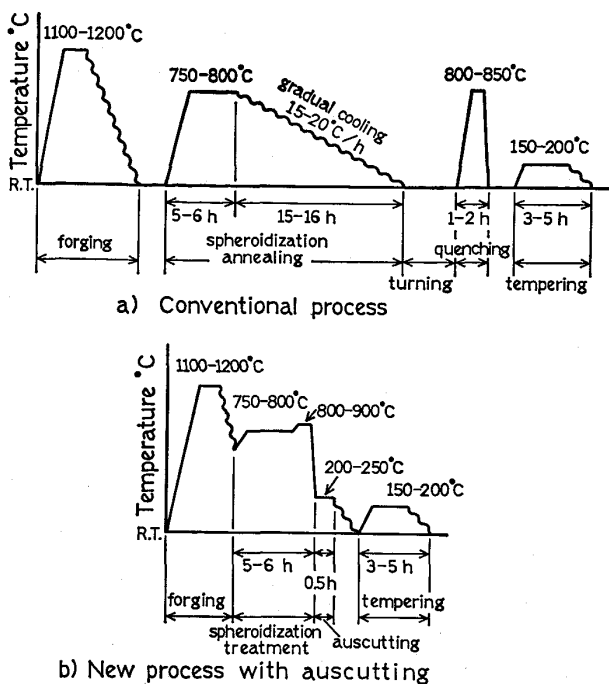


Fig. 1. Comparison of thermal energy in the manufacturing process of bearing races between the new process with auscutting and conventional one.

から熱間鍛造後連続してオースカuttingを行うことを前提に 1) 網状セメントタイトが析出しない, 2) 炭化物が球状化する, 3) 炭化物が均一に分散するの 3 項目を満足する省エネルギーを考慮したオースカutting用最適熱サイクル条件を調査した。

試験片として市販の高炭素クロム軸受鋼 (SUJ3) 材から, 7 mm 角で長さ 20 mm の角棒を作製した。試験片は熱間鍛造状態を想定して電気炉中で 950°C に約 1 h 加熱し, 炭化物がマトリックス中にすべて溶け込んだ均一オーステナイト状態とした。その後 Table 1 に示す条件で熱処理を行い, ミクロ組織を観察した。表中の

Table 1. Continuous heat cycle conditions from hot forging.

No.	heat cycle condition
a	950°C → 850°C(s.b.) × 1h → W.Q.
b	950°C → 780°C(s.b.) × 2h → W.Q.
c	950°C → 650°C(s.b.) × 10min → 780°C(s.b.) × 2h → W.Q.
d	950°C → 650°C(s.b.) × 1 min → 780°C(s.b.) × 2h → W.Q.
e	950°C → 230°C(s.b.) × 10min → 780°C(s.b.) × 2h → W.Q.
f	950°C → 230°C(s.b.) × 40min → 780°C(s.b.) × 2h → W.Q.
g	950°C → A.C. → 780°C(s.b.) × 2h → W.Q.
h	950°C → A.C. → 780°C(e.f.) × 2h → W.Q.
i	950°C → W.Q. → 780°C(s.b.) × 2h → W.Q.
j	950°C → W.Q. → 780°C(e.f.) × 2h → W.Q.

W. Q. : Water quenching
A. C. : Air cooling
s. b. : Salt bath
e. f. : Electric furnace

保持時間はすべて設定温度のソルトバス及び電気炉中に装入してからの時間を示す。Table 1 の条件を選んだ理由は次のようである。すなわち, これまで熱間鍛造後の球状化焼なましに関する研究は種々⁵⁾⁶⁾なされているが, 被削性の観点からいずれも焼なまし後の硬さに重点があり, 焼なまし後の硬さを度外視して焼入れ後のミクロ組織のみを考慮した球状化熱処理実験は少ないと思われる。本研究のごとく過冷オーステナイト状態で切削加工する方法の実用化においては, ミクロ組織として必要なのは焼入れ後の製品の品質を損なわない程度のミクロ組織であり, 従つて従来の球状化焼なまし条件よりは大幅に熱処理時間を短縮することも可能と考えられる。そこで本実験では省エネルギーの立場から, できるだけ可能な時間短縮を目的に従来焼なまし後硬さの点で問題外とされていた熱サイクルの中からその可能性をさがした。

2.2 実験結果及び考察

条件 a~j までのミクロ組織写真を Photo. 1 にまとめて示す。

条件 a, b は 950°C から直接 A_{r1} 点 (開始温度約 740°C⁷⁾) 上の温度域に約 10°C/s の速度で冷却した場合であるが, 網状セメントタイトが析出しており, また素地のマルテンサイトも非常に粗い組織となり, 熱エネルギー的には優れていても組織上好ましくないといえる。

条件 c, d は 950°C からいつたん A_{r1} 点以下の 650°C まで冷却後再び 780°C に加熱保持した場合であるが, 網状セメントタイトも析出せず, 微細球状化炭化物が均一に分散している。650°C での保持時間は, 条件 d のように 1 min と非常に短くても球状化されている。

条件 e, f は 950°C の均一オーステナイト域から 230°C のソルトバス中へ急冷し, 鋼の組織を過冷オーステナイト状態とした後, 約 10 min 及び約 40 min 保持して再び 780°C のソルトバス中に加熱し 2 h 保持したものである。温度的には A_{r1} 点以下に十分冷却されているにもかかわらず網状セメントタイトが析出しており, あたかも 950°C から 780°C に直接冷却したのと同じ状態となつている。これは過冷オーステナイトが急速加熱により再び安定なオーステナイトに戻り, 780°C で保持する間に網状セメントタイトが析出したものと考えられる。230°C での保持時間が 10 min, 40 min と変化しても, 組織上の変化は認められない。

条件 g, h は 950°C から空冷を行い, 約 10 min 後 (この時の試験片温度が約 100°C) に g は 780°C のソルトバス中で急速加熱 (加熱速度: 約 35°C/s) したもので, h は 780°C の電気炉中で加熱 (加熱速度: 約 100°C/min) したものである。g では網状セメントタイト

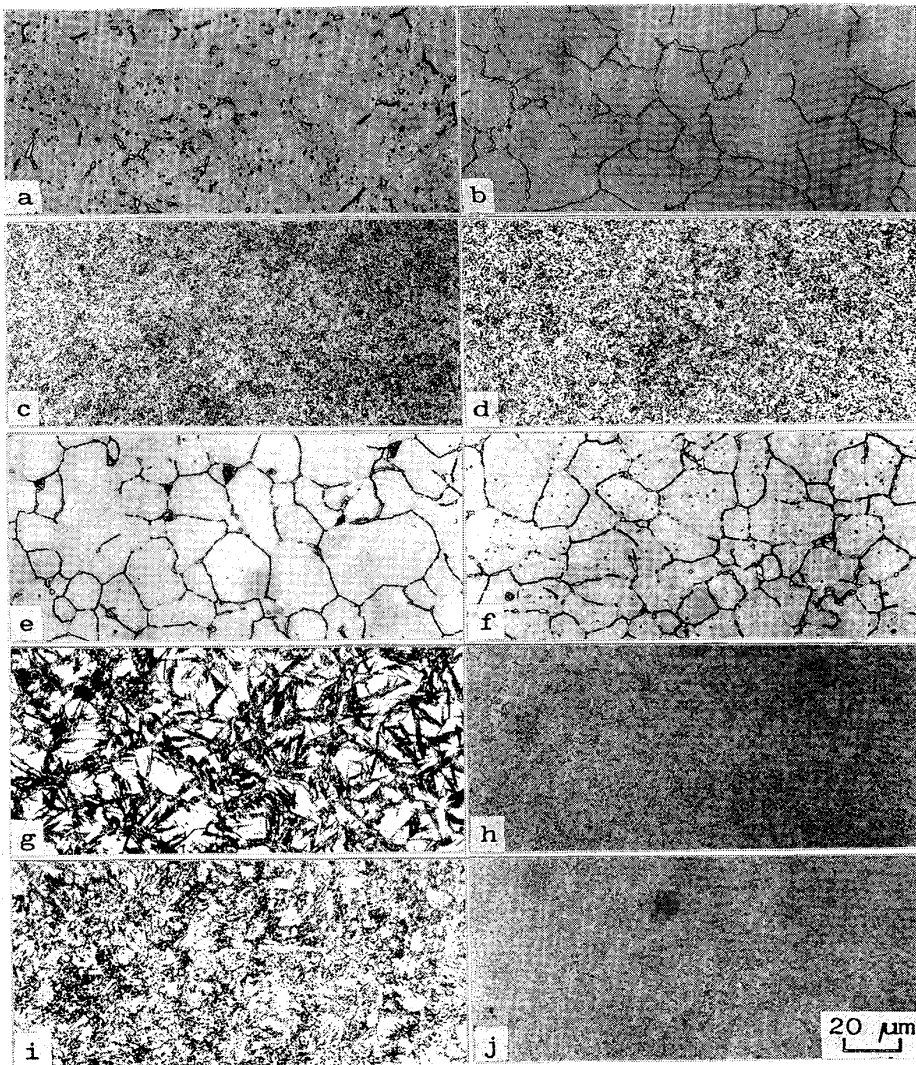


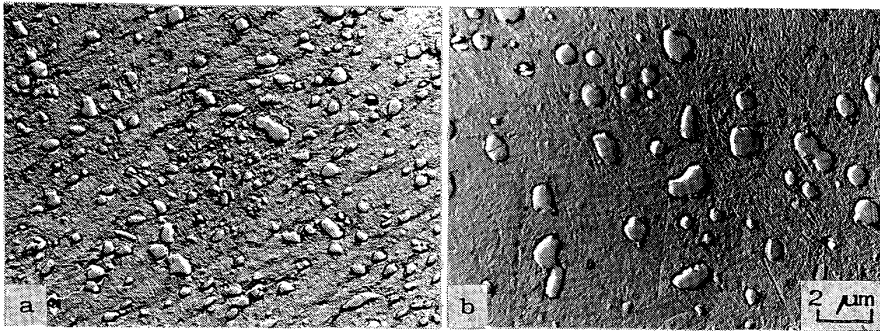
Photo. 1. Optical micrographs under continuous heat cycle conditions (a~j) from hot forging.

は認められないが、少量の細かい炭化物が偏在しており、全体が粗いマルテンサイト組織になつている。これは試験片が小さいために空冷中にパーライト変態が完了せず、一部過冷オーステナイト状態のまま急速加熱されたことによるものと考えられる。一方hは網状セメンタイトの析出もなく球状化された炭化物がほぼ均一に分散しており、780°Cへの加熱速度が比較的遅いため、加熱中に炭化物の球状化が進行したものと考えられる。

条件 i, jは950°Cから水冷し前組織としてマルテンサイト状態にした場合であるが、iのようにその後急速加熱した場合は炭化物が偏在しており良好な球状化組織とはいえない。この場合もjのように徐熱することによつて初めて良好な球状化炭化物の分散状態が得られる。

以上のように熱間鍛造から焼入れまで連続した熱処理工程で、網状炭化物が析出せず球状化した炭化物が均一に分散しているマイクロ組織を得るためには、熱間鍛造後

いつたん A_{r1} 点以下の温度域に冷却し、オーステナイトからフェライト+セメンタイトへの変態を行わせることが必要であるが、その時間は650°C×1minでもよいことがわかつた。均一オーステナイト状態からいつたん A_{r1} 点以下の例えば650°Cに冷却すればマイクロ組織が改善されることは、高温真空浸炭法の結晶粒微細化処理⁹⁾の例やベイナイト変態を利用した球状化炭化物の微細化処理⁹⁾の例からも理解できるが、熱間鍛造から連続したオースカッティング用工程では従来工程では問題とした球状化焼なまし後の硬さを問題としないため、極めて短時間で所定のマイクロ組織を得ることができるといえる。 A_{r1} 点以下への冷却温度域としては後に続くオースカッティング用加熱を考えると、熱エネルギー的に高温でかつ短時間保持の方が良く、結局等温変態曲線のノーズ近辺の約650°Cまで冷却するのが最適であると考えられる。



a : Optimum heat treatment
b : Conventional heat treatment
Photo. 2. Electron micrographs showing spheroidized carbides after heat treatment for auscutting.

2.3 製造工程への適用

以上の結果より、オースカッティングを取り入れた軸受製造ラインを考察した場合、[熱間鍛造]→[650°C の温度まで空冷]→[850°C の加熱炉中で徐々に加熱及び均熱保持]→[200°C の温度域へ急速冷却]→[オースカッティング]→[空冷]という工程が、使用する熱エネルギーを最小とし、なおかつ球状化炭化物が均一に分散した焼入組織が得られる最適な熱サイクルと考えられる。

そこで、軸受型番 6320 の内輪素材 (内径 100 mm, 外径 136 mm, 幅 47 mm) に熱電対を埋め込み、実際に各工程に要する時間を計測した。その結果、Fig. 2 に示したように 950°C から 650°C までは約 2.5 min, 650°C から 850°C までは約 13 min の時間を要した。650°C から 850°C までの加熱に要する時間は使用する加熱炉の熱容量によつて異なると考えられるが、均熱時間 (約 40 min) を含め加熱炉に装入して約 50 min ~ 60 min 保持すればよいと考えられる。

本最適熱サイクルでオースカッティングを行つた 6320 内輪素材の炭化物を電子顕微鏡により観察した結果を Photo. 2a に示した。比較のため、オースカッティング用標準熱処理品 (従来どおりの方法で球状化焼なましを実施し、その後 850°C 加熱でオースカッティングを行つたもの) を Photo. 2b に示す。両者とも硬さは HRC 65 で十分焼入硬化している。一方球状化炭化物粒の平均径は標準熱処理品が約 0.5 μm であるのに対

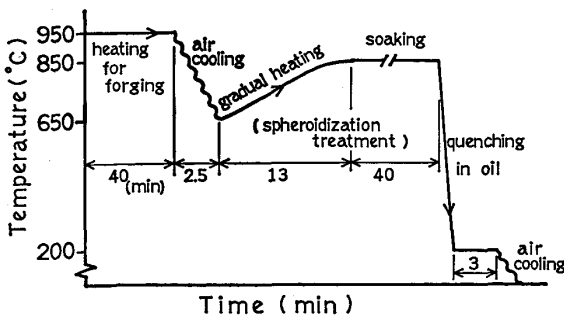


Fig. 2. Required time of heat treatment in the continuous process from forging to auscutting.

し、本熱サイクル品は約 0.25 μm と非常に細かくなつてはいるが、網状セメントタイトの析出もなく炭化物がほぼ均一に分散しており、焼入組織としては問題がないと思われる。

3. 被削性の評価試験

3.1 試験片及び実験方法

オースカッティングの被削性についてはすでに報告¹⁾しているが、これらはすべて従来どおりの球状化焼なましを施した材料に対してオースカッティングを行つた場合のものであり、今回新たに熱間鍛造から焼入れまで連続した熱サイクルにおけるマイクロ組織の違いが被削性に及ぼす影響について調べた。

試験片として 6320 軸受内輪素材を用い、Fig. 3 中の①~⑥に示した各熱サイクル条件で切削試験を行い、被削性の良否を調べた。被削性の評価基準として、工具動力計を用いて切削時の切削抵抗を計測した。

図中①, ②, ③はオースカッティング用の熱サイクル条件を示しており、①は従来どおりの球状化焼なまし材にオースカッティングを行つたもの、②は本研究で求め

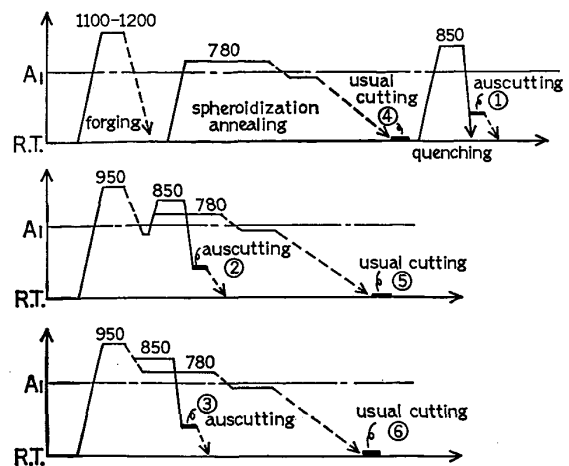


Fig. 3. Schematic heat treatment conditions for cutting experiment of auscutting and usual cutting specimens.

た熱間鍛造熱を利用した省エネルギーの連続熱サイクル条件で行ったもの、③は比較として行ったもので網状セメントイトが析出しており、ミクロ組織的には好ましくないものである。

また、オースカッティングとの被削性を比較する目的で④⑤⑥の熱サイクル条件下での通常切削も行った。④は従来どおりの球状化焼なまし処理を施したもので硬さは HRB 92，⑤は熱間鍛造熱を利用した省エネルギー球状化焼なまし処理を行ったもので硬さは HRB 96，⑥は網状セメントイトが析出するような条件で焼なまし処理を行ったもので硬さは HRB 102 である。

切削試験は以下の条件で実施した。

切削速度： $V=120$ m/min

切込み： $Dc=1.0$ mm

送り： $f=0.2$ mm/rev

工具材質：黒セラミック工具

工具形状：[-5, -6, 5, 6, 45, 15, 1.6]

3.2 実験結果及び考察

Fig. 4 に切削抵抗3分力の測定結果を示す。オースカッティングの場合は①，②，③それぞれ熱サイクル条件が異なり球状化炭化物の粒度や分布状態が異なっても、主分力，背分力，送り分力ともにほとんど変化がなく，切削抵抗に差は認められない。一方，通常切削の場合は④の従来どおりの球状化焼なましが一番切削抵抗が

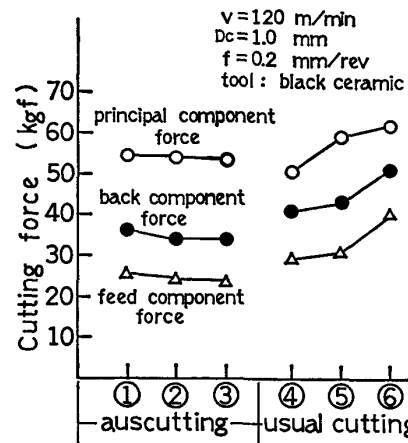


Fig. 4. Effect of heat cycle condition on the cutting force in auscutting and usual cutting.

小さく，省エネルギーを狙った⑤の微細球状化炭化物が分散したものや⑥の網状セメントイトが析出しているものは主分力，背分力，送り分力共に大きく切削抵抗が大きくなっている。

軸受鋼球状化焼なまし材の通常切削における被削性に関しては従来から研究がなされており，炭化物粒度が大きいほどすなわち硬さが低いほど工具寿命が長い¹⁰⁾といわれている。JIS でも SUJ3 の切削用熱間仕上鋼材の球状化焼なまし硬さは HRB 95 以下と規定されており，被削性の観点から炭化物粒度を大きくし硬さを低くする

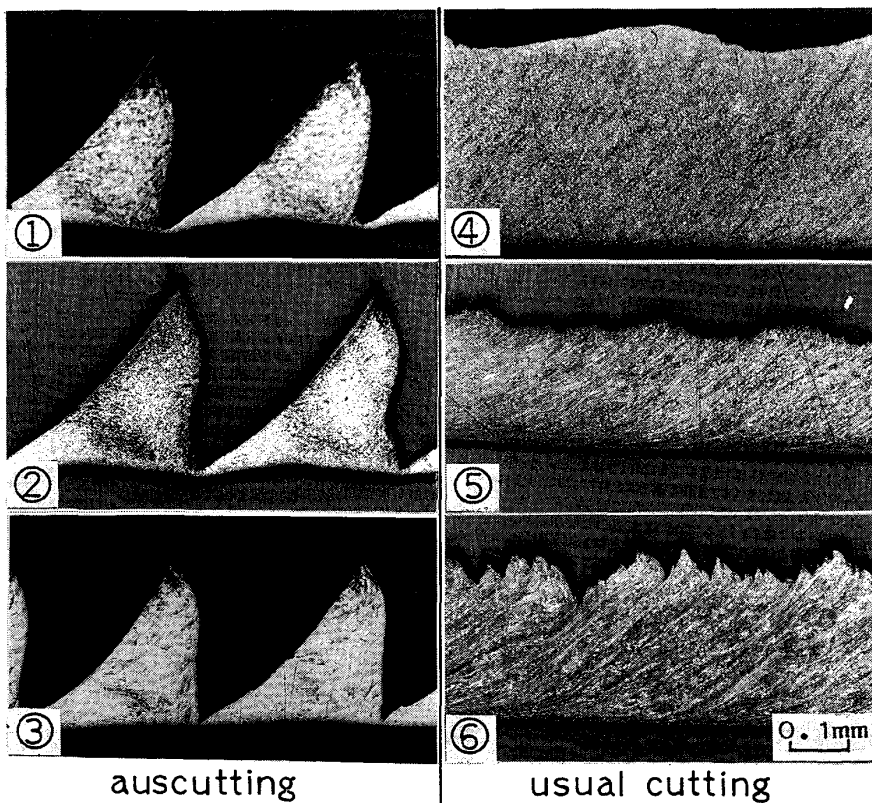


Photo. 3. Optical micrographs of cross sections of chips in auscutting and usual cutting under ①-⑥ heat treatment conditions.

ために長時間の球状化焼なましを行つているのが現状である。従つて本実験で比較のために行つた熱間鍛造熱を利用した省エネルギー熱サイクルでは従来方法に比べて炭化物が微細となり硬さが高く、通常切削では切削抵抗が大きくなり被削性が悪くなると考えられる。

一方オースカッティングにおいては、実験結果のように炭化物が微細であつても切削抵抗が増大しなかつたこと、また工具寿命について従来どおりの球状化焼なまし後オースカッティングと同一切削条件で比較試験を行つた結果、工具の損耗状況にはほとんど差がなかつたことから考えて、炭化物粒度が微細であつても被削性を損なうことはないと思われる。

以上のことは切りくず形態の変化状況の違いからも推察できる場所である。すなわち Photo. 3 に示した各熱サイクル条件下で得られた切りくずの断面組織写真からわかるように、オースカッティングの場合は炭化物の球状化状態が異なつても切りくず形態がすべて類似した鋸歯状切りくず¹¹⁾¹²⁾であり変化が認められないのに対し、通常切削の場合は流れ形切りくずであつても炭化物粒度が微細になり硬さが上昇するにつれて切りくず表面の凹凸が鋭く変化している。材料の被削性に変化があれば切りくず形態にも変化が認められるであろうし、特に鋸歯状切りくずの形態については被削材の熱処理状態や硬さが異なればき裂傾角が変化するという実験結果¹²⁾から推察しても、オースカッティングにおいては炭化物粒度が微細になつても被削性にはほとんど影響を及ぼさないものと考えられる。

4. 転がり疲労寿命試験

4.1 試験片及び試験方法

前述の実験で得られた熱間鍛造熱を利用した省エネルギー連続熱処理品の転がり疲労寿命試験を行つた。試験は円筒対鋼球型の寿命試験機¹³⁾を用いて行い、従来方法での熱処理品との優劣を比較した。

寿命試験機要部の概略図を Fig. 5 に示す。円筒試験片が2個の鋼球と転動接触する方式であり、荷重はコイルばねにより駆動ローラー側から負荷される。

試験条件を以下にまとめて示す。

ヘルツ最大接触応力： $P_{max}=5880$ MPa

負荷回数：46 240 c.p.m.

潤滑：#56 タービン油飛沫給油

寿命の判定：転走面上のいずれかにはく離が発生するまでの負荷回数

試験片は直径 12 mm、長さ 22 mm の円筒形であり、球状化焼なまし処理済の丸棒材 (SUJ 3、直径 65 mm) の外側部から製作した。転がり疲労寿命は化学成分特に酸素含有量に影響されるといわれている¹⁴⁾が本材料の化学成分は Table 2 に示すごとく酸素含有量に関しては現在の真空脱ガス材の水準的なレベルである。試験片は各熱処理条件で熱処理を行い、その後すべて $180^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ の焼もどしを行つた。そして研削加工仕上げ後、外径面を超仕上げして試験に供した。

4.2 実験結果及び考察

Table 3 に試験片の熱処理条件及び熱処理後の硬さ、残留オーステナイト量とともに寿命試験結果を示す。条件 a は本研究により得られた熱間鍛造熱を利用したオー

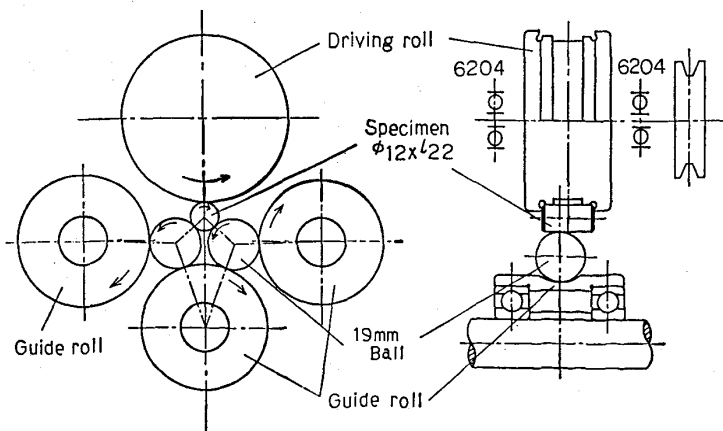


Fig. 5. Cylinder-to-ball type rolling contact fatigue test rig.

Table 2. Chemical compositions of SUJ 3 tested (wt%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	O
0.99	0.46	1.07	0.020	0.008	0.05	1.10	0.02	0.07	10 ppm

Table 3. Heat cycle conditions and rolling fatigue lives.

No.	heat cycle condition (temp.)	number of specimen	hardness HRC	R _f %	L ₁₀ life ×10 ⁴
a	950°C ×40min ↘ 650°C ↗ 850°C ↘ 200°C ↗ 180°C (×2h)	20	62	20.6	8750
b	850°C ×40min ↘ 200°C ×3min, (180°C ×2h)	24	61.5	20	5020
c	820°C ×40min ↘ 90°C ×5min, (180°C ×2h)	20	62.5	15	1880
d	same as No. b, (180°C ×2h)	5 lots	61.5~63	20~25	3220~6790
e	same as No. c, (180°C ×2h)	7 lots	62~63	13~17	1180~3780

スカッピング用の省エネルギー最適熱サイクルに相当する熱処理条件である。(以下、オースカッピング用熱間鍛造連続焼入れと呼ぶ。) bはオースカッピングの標準焼入れ条件であり、従来方法で球状化焼なまし処理後 850°C 加熱のマルクエンチを行ったものである。(以下、オースカッピング用マルクエンチと呼ぶ。) cは現行の軸受製造ラインにおける SUJ3 の標準的な焼入れ条件である。(以下、普通焼入れと呼ぶ。)

オースカッピング用焼入れ条件と普通焼入れ条件の違いは、試験片の焼入れ剤からの引上げ温度が、普通焼入れでは 100°C~150°C であるのに対し、オースカッピング用焼入れでは 200°C~220°C と高く、その後空冷することによりマルテンサイト変態温度域を徐冷している点と、焼入れ加熱温度を 850°C に高めて残留オーステナイトを多くしている点である。

以上3者の L₁₀ 寿命 (90% 残存確率寿命) を比較すると Table 3 の結果から明らかにオースカッピング用熱処理品が現行の普通焼入れ品に比べて長寿命であることがわかる。特に、本研究で求めた a オースカッピング用熱間鍛造連続焼入れ品は b オースカッピング用マルクエンチ品と比べて、さらに長寿命になっている。

条件 d, e には寿命試験の信頼性を確かめる目的で、これまでに同一試験方法で実施した材料チャージの異なる材料での寿命試験結果をまとめて示した。dの熱処理条件はbと同じオースカッピング用マルクエンチであり5ロットの結果を示している。eの熱処理条件はcと同じ普通焼入れであり7ロットの結果を示している。本結果から判断して、オースカッピング用熱処理品は現行の普通焼入れ品と比べると3~4倍の高寿命水準を示し、特にオースカッピング用熱間鍛造連続焼入れ品は長寿命を示す。

長寿命の要因としては1) マルクエンチであるために内部歪みが小さく、き裂感受性が小さくなっている¹⁵⁾こと、2) 残留オーステナイト量が多いこと¹⁶⁾¹⁷⁾が挙げられる。オースカッピング用熱間鍛造連続焼入れ品がオ

ースカッピング用マルクエンチ品よりもさらに長寿命になる理由については明確でないが、微細球状炭化物が均一に分散していることが主な要因ではないかと推定される。このようにオースカッピングを含む工程では焼なまし後の硬さが問題でないため炭化物を極く微細にしても切削加工上に問題が生じず、炭化物微細化による転がり疲労寿命の向上^{18)~20)}も期待できる利点もある。

5. 熱エネルギーの削減量についての考察

本研究において、熱間鍛造熱を利用し連続してオースカッピングを行う場合に、焼入れ後のマイクロ組織が良好で、オースカッピングの被削性を損なわず、かつ転がり疲労寿命も良い最適熱サイクルが求めた。ここでは、本方式で軸受を製造する場合の熱エネルギーの削減量について考察する。

従来工程では i) 熱間鍛造, ii) 球状化焼なまし, iii) 焼入れ熱処理と多くの熱エネルギーを必要としたのに対し、オースカッピングを取り入れた工程では Fig. 6 に示したように [熱間鍛造] → [オースカッピング用熱処理] となり、熱エネルギー的には従来工程における ii) 球状化焼なまし工程が全く省略でき、さらに iii) 焼入れ熱処理工程の一部が省略できることになる。

消費される熱エネルギーは使用する炉の構造や製品の

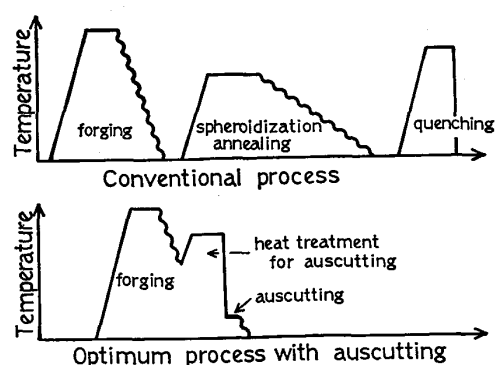


Fig. 6. Saving of thermal energy by the optimum process with auscutting, compared with conventional process.

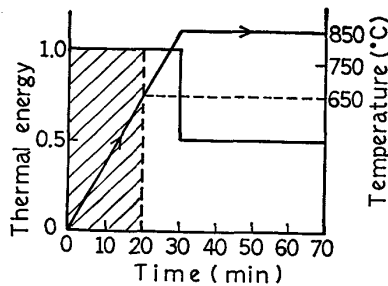


Fig. 7. Saving of thermal energy in the heating process for quenching.

処理重量によつてかなり異なってくるが、エヌ・テー・エヌ東洋ベアリング(株)における従来工程の熱エネルギー消費量は、製品処理重量 1t あたりの燃料(灯油)使用量で表すと近年の使用実績から次のようである。

- i) 熱間鍛造 : 100 l/t
- ii) 球状化焼なまし : 50 l/t
- iii) 焼入熱処理 : 100 l/t

焼入熱処理工程中の熱エネルギー削減量については Fig. 7 に模式的に示したように、製品温度と保持時間の関係から求めることができる。すなわち、加熱炉中へは製品温度が約 650°C の状態で装入されるため、同図中ハッチングで示した部分の熱エネルギーが削減されることになる。製品温度が設定温度に到達するまでは連続したエネルギー供給が必要であり、その後の均熱保持には断続的な供給でよいいため、必要な熱エネルギーは半分と考えるとハッチング部の削減量はその面積比から 40 l/t と求まる。

したがつてオースカッティングを軸受製造工程に取り入れることにより熱間鍛造からオースカッティング終了までの連続した工程における熱エネルギーの削減量は、球状化焼なましの削減量と合わせて 90 l/t となり、従来方法に比べて約 36% の削減が可能である。また工程時間の短縮も図れる。

6. 結 言

焼入冷却途中の過冷オーステナイト状態で切削加工を行うオースカッティングにおいて、熱間鍛造終了後から連続してオースカッティングを行うまでの熱サイクルを調べ、最も熱エネルギーが少なくかつ短時間で炭化物の球状化が可能な最適熱サイクルを求めた。また得られた最適熱サイクル下での被削性及び転がり疲労寿命について評価試験を行つた。

得られたおもな結果は次のとおりである。

1) オースカッティングを取り入れた軸受製造工程では [熱間鍛造]→[650°C まで空冷]→[850°C の加熱炉

で徐々に加熱及び均熱保持]→[200°C まで急速冷却]→[オースカッティング]→[空冷] が使用する熱エネルギーを最小としかつ球状化炭化物が均一に分散した焼入組織が得られる最適熱サイクルである。本熱サイクルにより、従来工程の熱サイクルに比べて約 36% の熱エネルギーの削減が見込める。

2) 本熱サイクルで得られる焼入れ後マイクロ組織は従来どおりの球状化焼なまし材の焼入れ後組織に比べると、球状化炭化物が微細になつているものの、オースカッティングにおける被削性を損なうことはない。

3) 本熱サイクルで熱処理されたものの転がり疲労寿命は従来どおりの球状化焼なまし材のオースカッティング用熱処理(マルクエンチ)品よりも長く、現行の普通焼入品に比べると L_{10} 寿命で約 3~4 倍の長寿命であつた。

おわりに、本研究を遂行するにあたり御指導をいただいた対馬全之博士に深い感謝の意を表します。

文 献

- 1) Y. FUJIOKA, H. TANI and H. MURO: Proc. Intern'l Sympo. on Influence of Metallurgy on Machinability of Steel (1977), p. 323 [ISIJ. ASM]
- 2) 藤岡康夫, 室 博: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 404
- 3) 藤岡康夫, 室 博: 鉄と鋼, 71 (1985), p. 1147
- 4) 結城 晋: 鋼の熱処理(日本鉄鋼協会編)(1969), p. 423 [丸善]
- 5) 木下修司: 熱処理, 15 (1975), p. 237
- 6) 上原紀興, 浅田千秋: 電気製鋼, 38 (1967), p. 71
- 7) 山本俊郎: 日本金属学会会報, 11 (1972), p. 419
- 8) 杉山道生, 岩田 均: 特殊鋼, 32 (1983), p. 13
- 9) C. A. STICKELS: Metall. Trans., 5 (1974), p. 865
- 10) 山本俊郎, 熊谷憲一: 鉄と鋼, 59 (1973), p. 100
- 11) 中山一雄: 精密機械, 43 (1977), p. 117
- 12) 藤岡康夫, 大嶋三郎, 室 博: 鉄と鋼, 72 (1986), p. 807
- 13) S. ITO, N. TSUSHIMA and H. MURO: ASTM STP 771 (1982), p. 125
- 14) 対馬全之: 日本金属学会会報, 23 (1984), p. 50
- 15) I. SUGIURA, O. KATO, N. TSUSHIMA and H. MURO: ASLE Trans. 25 (1982), p. 213
- 16) 室 博, 定岡義明, 伊藤重男, 対馬全之: Proc. 12th Japan Congress on Material Research-Metallic Materials, March, The Society of Materials Science, Japan (1969), p. 74
- 17) 矢島悦次郎, 宮崎 亨, 杉山敏彦, 寺島博夫: 日本金属学会誌, 36 (1972), p. 711
- 18) 門間改三, 丸田良平, 山本俊郎, 脇門恵洋: 日本金属学会誌, 32 (1968), p. 1198
- 19) 大沢真澄, 近藤正男: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 2030
- 20) 前川良雄, 森原源治, 関口秀夫: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 566