

Manufacturing Technology of High Cleanliness and High Quality Steel for Bearing Use



江原 猛
Takeshi Ehara

水島製鉄所
商品技術部条鋼室
主査(主席掛長)



岩本 隆
Takashi Iwamoto

技術研究所 厚板・条
鋼・接合研究部門
主任研究員(主席掛長)



三木 祐司
Yuji Miki

技術研究所
製鋼研究部門 主任研
究員(課長)・工博

要旨

一般に軸受けの寿命は、鋼材中に含まれる不純物元素の種類と含有率および硬質の非金属介在物(TiN および酸化物系非金属介在物)の数と粒径に依存する。高炉一貫プロセスを採用している川崎製鉄の場合には、高炉鉄からの不純物は極めて少ないので高 cleanliness 化への対応策として製鋼プロセスにおける酸化物系非金属介在物の数を少なくし、そのサイズを小さくする新しい技術を開発した。また、極低酸素領域において軸受け寿命に影響をおよぼす鋼の指標として、従来の酸素濃度に代わり十分な転動疲労寿命を満足する高 cleanliness 高炭素クロム軸受鋼の評価指標を明確にした。製鋼プロセスでは新しい指標に基づいて軸受け寿命が向上できる高 cleanliness・高品質の軸受鋼を工程生産している。

Synopsis:

In general, the life of bearings depends on the type and content of impurity elements, the number and grain size of hard non-metallic inclusions (TiN and oxide-type non-metallic inclusions) contained in the steel material. Because Kawasaki Steel uses an integrated process which includes the blast furnace, the content of impurity elements originating in hot metal from the blast furnace is extremely small. Therefore, as a measure for responding to requirements for high cleanliness, the company developed a new technology which minimizes the number and size of oxide-type non-metallic inclusions in the steelmaking process. As an index of the effect of steel characteristics on bearing life which is applicable in the ultra-low oxygen region, replacing the conventional oxygen concentration index, the authors clarified and proposed a new evaluation index for high-cleanliness high-carbon chrome-type bearing steel which satisfies the requirements of adequate rolling contact fatigue life. Standard production of high cleanliness, high quality bearing steel which can enhance bearing life has been realized based on this new index in the steelmaking process.

1 緒 言

近年、自動車における低燃費化ニーズに合わせて各種機械部品の小型軽量化、高強度化要求が高まってきている。軸受けにおいても同様に、小型軽量化しつつ従来と同等あるいはそれ以上の寿命を達成することが求められている。

一般に軸受けの寿命は、鋼材中に含まれる不純物元素の種類と含有率および硬質の非金属介在物(TiN および酸化物系非金属介在物)の数と大きさに依存する¹⁾。当社は高炉一貫プロセスを採用しており不純物の少ない高炉鉄を用いているため、不純物元素および TiN に関して有利である。一方、酸化物系非金属介在物については、その数を少なくし、サイズを小さくすることが寿命に対して有効に作用することが知られている。したがって製鋼プロセスにおいて cleanliness を向上させる技術的対応が求められる。

高 cleanliness 鋼の指標として従来は酸素濃度を用いていたが、極低酸

素領域において酸素濃度では軸受けの寿命をあらわす指標として十分とは言えなくなってきた。これに対し、各ベアリングメーカーおよび鋼材メーカーでは鋼材に含まれる非金属介在物の組成、大きさ、個数を測定する技術開発に取り組んでいる。当社は高水準の転動疲労寿命を達成するための新しい評価指標を提案した。この指標に基づいた製鋼プロセス開発を行い、軸受け寿命が向上できる高 cleanliness・高品質の高炭素クロム軸受鋼を工程生産している。

本報では、当社で開発された高 cleanliness で高品質を達成できる軸受鋼製造技術および新しい評価指標について述べる。

2 高 cleanliness 軸受鋼製造プロセス

2.1 製造プロセス

Fig. 1 および **2** に当社の高炭素クロム軸受鋼製造プロセスおよびその特徴を示す。当社の軸受鋼は、脱リン、脱硫された溶鉄を用いることにより転炉吹錬終了時の[C]を高くできる。そのため溶鋼中酸素濃度を一定値以下に抑制し、スラグ中の低級酸化物も極少化

*平成14年3月13日原稿受付

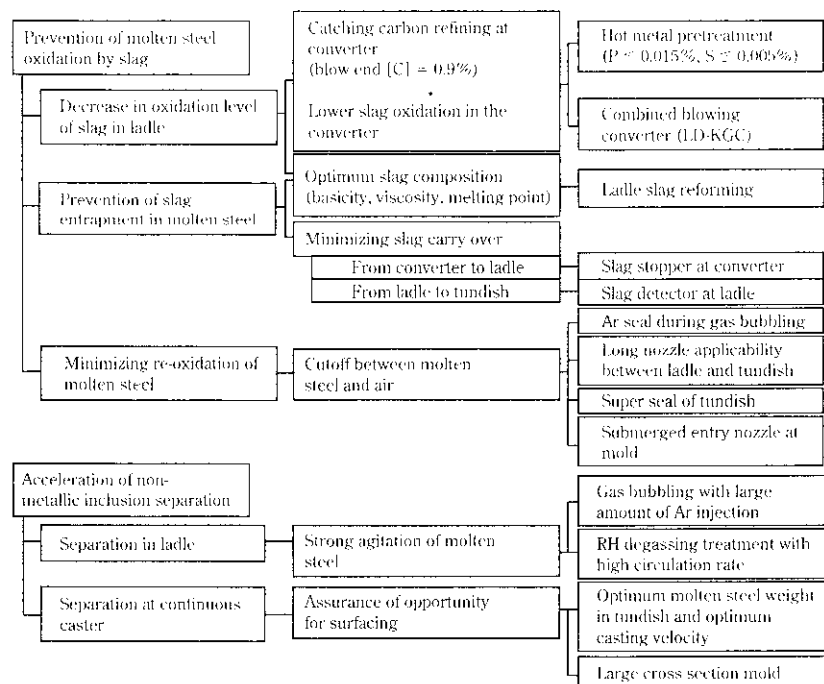


Fig. 2 Characteristics of high cleanliness steelmaking process

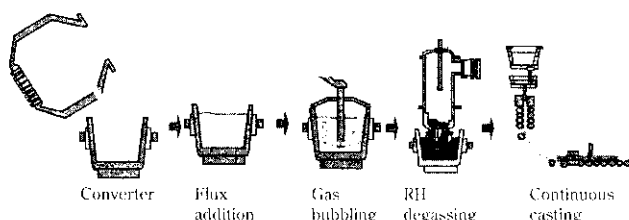


Fig. 1 Main production process for bearing steel

することが可能となり高い清浄度を安定して確保することができる。取鍋精錬では、塩基度・粘性・融点を最適化した介在物吸着能力の高いフラックスを出鋼時に添加後、ガスバブリング工程において完全さい化させる。その後、大型環流管を有する強攪拌 RH 真空脱ガス処理において非金属介在物の浮上分離を促進しスラグに効率的に吸着させ、清浄度の高い軸受鋼の安定大量生産を可能としている。当社の軸受鋼溶製の特徴は、ladle furnace（電極加熱取鍋精錬炉）を用いないで清浄度の高い軸受鋼を製造することであり、エネルギー、コストの面でも有利である。これに続く連続鋳造工程においては、再酸化を防止するために完全密閉されたタンディッシュ内を Ar により置換し、取鍋～タンディッシュ間のロングノズル、タンディッシュ～モールド間のイメージジョンノズル適用などにより完全断気（鋳造を行っている。大断面モールド（400×560 mm）の適用も鋳片清浄度向上に寄与している。また、鋳造時でのスラグ系介在物混入防止に対しては、鋳造速度などの操業条件適正化により高品質の鋼材を製造している。

2.2 高 cleanliness 化技術

軸受けの長寿命化に対して酸化物系非金属介在物の大きさおよび個数を抑制することが有効である。そのため製品中に含まれる介在物の大きさと形態について調査を行った。その結果製品中に含まれる介在物は、微小な Al_2O_3 系、 Al_2O_3 - MgO 系と粗大な CaO - Al_2O_3 系に分類できることから、高 cleanliness 高炭素クロム鋼の開発は、

(a) RH 真空脱ガス処理前スラグ組成の最適化

(b) RH 真空脱ガス処理時間の延長

の 2 つをポイントとして行った。

(1) 取鍋内スラグ組成の最適化

製品中の大型非金属介在物を分析するとその組成は CaO - Al_2O_3 系であることが分かった。この介在物の生成を抑制するために介在物の形態制御を行った。

当社における製鋼プロセスにおいて Al_2O_3 が生成するのは転がし出鋼時の Al 脱酸によるものと考えられた。Al 脱酸において生成した Al_2O_3 は、出鋼後に取鍋に添加する取鍋精錬用フラックスに含まれる CaO と反応し、 CaO - Al_2O_3 系の非金属介在物となる。 CaO - Al_2O_3 系の介在物は容易に凝集体とし、大型の非金属介在物として鋼材に存在することとなる。これに対し、当社は CaO - Al_2O_3 系の介在物生成を抑制し大型介在物を生成させないために介在物の微細化を図ることとした。すなわち、RH 真空脱ガス処理前スラグ組成の最適化により、 CaO - Al_2O_3 系の介在物の生成を抑制することに成功し、大型介在物を抑制することが可能となった。

(2) 大型介在物の除去

上述のように取鍋スラグ組成の最適化を行ったが、取鍋精錬において取鍋内スラグの塩基度・粘性・融点を最適化するために CaO を投入する必要があることから CaO - Al_2O_3 系の介在物を完全に生成させないようにすることは困難である。 CaO - Al_2O_3 系介在物の除去は、RH 真空脱ガス処理を長時間行うことにより可能となった。Fig. 3 には、RH 真空脱ガス処理時間と鋼中介在物の個数推移を示している。一般の軸受鋼の処理時間に対し長時間の処理を行うことにより、鋼中の $10\mu m$ 以上の非金属介在物個数を大幅に低減することが可能となった。

以上のプロセスを適用することにより Fig. 4 に示すように製品丸棒において極値統計法²⁾による酸化物系介在物の予測最大径と単位面積当たりでの個数の双方を安定して高 cleanliness レベルに製造することが可能となった。

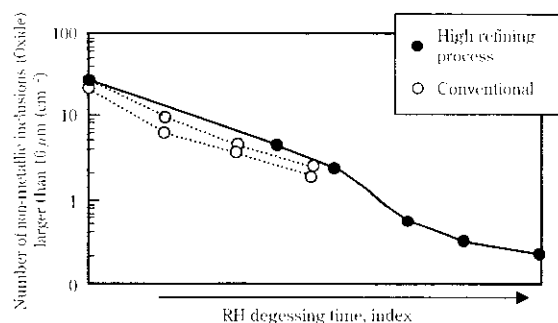


Fig. 3 Effect of degassing time on decrease in non-metallic inclusions

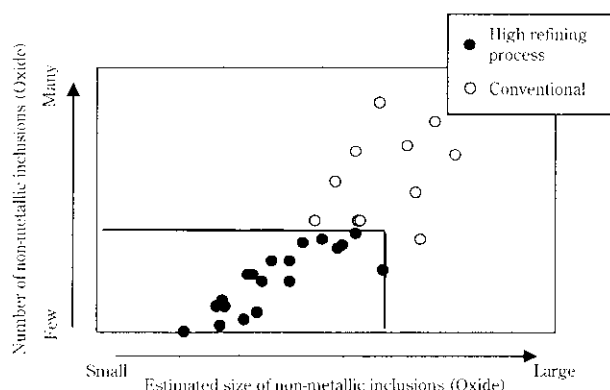


Fig. 4 Relationship between estimated size of non-metallic inclusions and number of non-metallic inclusions

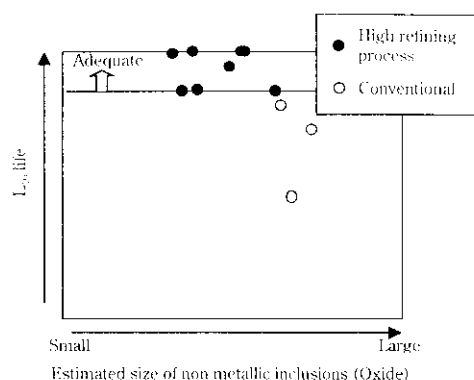


Fig. 5 Relationship between estimated size of non-metallic inclusions and contact fatigue life

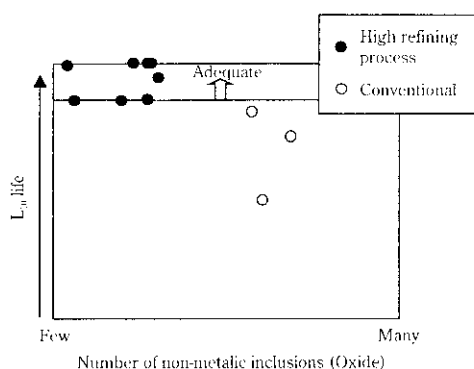


Fig. 6 Relationship between number of non-metallic inclusions and contact fatigue life

3 高純度軸受鋼の評価

従来、鋼材の清浄度は酸素濃度を指標としていたが近年のベアリングの長寿命化ニーズに対してこの指標では十分ではなく、新たな指標について各メーカーにおいて開発を行っている。我々は種々の清浄度の軸受鋼においてスラスト式転動疲労寿命試験を行うことにより、一定寿命を満足するための清浄度評価指標を確立した。

Fig. 5、6 には、それぞれ鋼材の極値統計法による酸化物系介在物予測最大径、および酸化物系介在物個数とスラスト式転動寿命との関係を示す。酸化物系非金属系介在物の測定は製品丸棒の 1/4 D 部 L 断面について行い、酸化物系介在物を対象とした。Fig. 4、5 に示したように酸化物系非金属系介在物予測最大径と個数を抑制した鋼材では、 L_{10} の転動疲労寿命は高水準を安定して満足する。また、高純度プロセスを適用した鋼材において高水準の転動疲労寿命を安定して達成可能であることが明らかとなった。当社ではこの指標を用いて高純度高炭素クロム軸受鋼の工程生産を行っている。

4 結 言

近年のベアリング長寿命化ニーズに対応して転動疲労寿命に優れた高純度高炭素クロム軸受鋼を製造している。

- (1) 軸受鋼の高純度化には、(a) 取鍋スラグ組成の最適化により $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 系介在物生成を抑制すること、また、(b) 一部生成する $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 系介在物は RH 真空脱ガス処理時間を長くして除去することが重要である。
- (2) 高純度鋼の評価法に関しても、種々の清浄度と転動疲労寿命の関係を調査した。酸化物系介在物を対象とした極値統計法による介在物予測最大径と個数を一定値以下とすることにより、 L_{10} 寿命を安定して高水準に達成することを明らかとした。本技術は軸受鋼に限らず他の鋼種においても適用可能である。

参 考 文 献

- 1) たとえば、家田 浩：トライボロジスト、**46**(2001)9, 702-705
- 2) 水藤政人、相沢完二、有吉政弘、永井亮次、西川 廣、大宮 茂：川崎製鉄技報、**22**(1990)3, 143-149
- 3) 村上敬宜、土村裕二郎、川上勝巳：日本金属学会論文集 (A 編)、**55**(1989), 58-62
- 4) 土村裕二郎、村上敬宜：日本金属学会論文集 (A 編)、**56**(1990), 162-167