
連続鍛圧法による線棒製品の高機能化

Improvement of Properties of rods and Bars by Continuous Forging Process

川縁 正信(Masanobu Kawaberi) 山本 義治(Yoshiji Yamamoto) 朝生 一夫(Kazuo Asoh)

要旨：

川崎製鉄は、鑄片の無偏析化、空隙欠陥の皆無化および中心部濃度を負偏析側で制御できる連続鍛圧法を開発し、線棒製品用鑄片に適用してきた。本法を適用することにより、中心無偏析化により軸受鋼の転動寿命の向上がみとめられ、空隙の皆無化により連鑄素材では鍛練成形比が大きくできない太径丸棒の連鑄化が可能となった。いっぽう、中心部を負偏析化することにより、製品中心部の硬度および延性が向上できたため、機械構造用炭素鋼の中心ドリル穿孔加工性の向上、合金鋼線材の伸線速度の上昇、高炭素鋼線材の加工中の熱処理省略が可能であることが判明した。また、高炭素鋼線材で、高強度化に対して、高炭素化が容易な手段にできる。

Synopsis：

Kawasaki Steel has developed a continuous forging process capable of producing rods and bars with neither center segregation nor center porocities. This method also makes it possible to control the center segregation ratio less than 1.0. The application of this method has improved a rolling-contact fatigue life of bearing steel, and has annihilated inner porocities of big size diameter bars made from continuously cast bloom. By utilizing the negative segregation obtained by this method, the carbon steel bars for machine structural use can be easily drilled at center portion due to a decrease in hardness. The alloy steel rods for machine structural use also can be drawn at high speed, and the high carbon steel rods cab be processed without heat treatment due to an increase in drawability. This method makes it easier to increase tensile strength of final products by applying higher carbon steels.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Improvement of Properties of Rods and Bars by Continuous Forging Process



川縁 正信

Masanobu Kawaberi
水島製鉄所 条鋼圧延
部線材・棒鋼課 主任
部員(課長補)



山本 義治

Yoshiji Yamamoto
水島製鉄所 管理部技
術サービス室 主査(課
長)



朝生 一夫

Kazuo Asoh
水島製鉄所 管理部条
鋼管理室長(部長)

要旨

川崎製鉄は、鑄片の無偏析化、空隙欠陥の皆無化および中心部濃度を負偏析側で制御できる連続鍛圧法を開発し、線棒製品用鑄片に適用してきた。本法を適用することにより、中心無偏析化により軸受鋼の転動寿命の向上がみとめられ、空隙の皆無化により連鑄素材では鍛錬成形比が大きくできない太径丸棒の連鑄化が可能となった。いっぽう、中心部を負偏析化することにより、製品中心部の硬度および延性が向上できたため、機械構造用炭素鋼の中心ドリル穿孔加工性の向上、合金鋼線材の伸線速度の上昇、高炭素鋼線材の加工中の熱処理省略が可能であることが判明した。また、高炭素鋼線材で、高強度化にたいして、高炭素化が容易な手段にできる。

Synopsis:

Kawasaki Steel has developed a continuous forging process capable of producing rods and bars with neither center segregation nor center porocities. This method also makes it possible to control the center segregation ratio less than 1.0. The application of this method has improved a rolling-contact fatigue life of bearing steel, and has annihilated inner porocities of big size diameter bars made from continuously cast bloom. By utilizing the negative segregation obtained by this method, the carbon steel bars for machine structural use can be easily drilled at center portion due to a decrease in hardness. The alloy steel rods for machine structural use also can be drawn at high speed, and the high carbon steel rods can be processed without heat treatment due to an increase in drawability. This method makes it easier to increase tensile strength of final products by applying higher carbon steels.

1 緒 言

ほとんどの線棒製品は、最終製品にいたるまでに鍛造、伸線、調質などの二次加工が施され、万一、素材に何らかの欠陥があった場合は、上記加工中、割れまたは断線などの不良が発生する。いいかえれば、この加工は、線棒製品を全数、全長検査しているのに等しい。近年、この加工方法はますます厳しくなり、そのうえ加工時の不良率の低減要求が非常に強くなり、鋼材製造側への品質要求は、極めて高くなってきている。

この品質要求の主なものに連続鑄造製線棒製品の中心部の無偏析化および中心部空隙欠陥の皆無化がある。これに対して、従来、種々の改善技術があったが、解消という面では不十分であった。たとえば、従来の技術では、最終製品での不良率を低減できても皆無にはできず、最終製品での検査工程は省略できなかった。

また、従来の技術では、鋼材清浄度の悪化など付随的に他の品質面で問題が発生し、線棒製品の厳しい総合的な品質に十分応えられなかった。

そこで、従来の方法の延長では限界があると考え、当社は、凝固末期の鑄片を連続的に圧下する連続鍛圧法を開発し^{1,2)}、1990年6月に水島製鉄所第3連鑄機に連続鍛圧設備を設置した³⁾。本法は、

鑄片の中心偏析および空隙欠陥を解消するだけでなく、圧下条件を適宜制御することにより、製品の必要に応じた中心部の溶質濃度を選択できる^{2,4-6)}。

本法は、すでに一部の製品用途に関して実用化しており、その品質向上効果⁷⁻¹⁴⁾に対してお客様より好評を得ている。現在、本法を適用したさらなる高機能、高付加価値の線棒製品の開発を継続中である。

本報告では、連続鍛圧法の適用により、高機能、高付加価値化が可能となった線棒製品の品質について報告する。

2 従来の中心偏析軽減技術と連続鍛圧法

2.1 従来技術を適用した場合の製品品質上の問題点

従来の連続鑄造鑄片の中心偏析および中心部空隙の軽減技術としては、低温鑄造¹⁵⁾(タンディッシュ溶鋼過熱度の低下)、鑄型内あるいは凝固途中での電磁攪拌^{16,17)}、および、低速鑄造¹⁷⁾などがある。しかし、いずれも軽減効果は認められるものの、中心偏析、空隙欠陥の解消という面では十分とはいえないのが現状であり、かつ、これらの技術は付随的に他の品質面での劣化が生じる場合があった。

低温鑄造は、タンディッシュの溶鋼過熱度を低くするため、タンディッシュ内において介在物の浮上が困難となり、鋼材の清浄度の劣化を伴う。そのため、製品で転動疲労寿命が問題となり、高清浄度が

* 平成6年1月18日原稿受付

要求される鋼種では最適な対策とはいえなかった。

電磁攪拌は、攪拌された部分に負偏析帯が生じ、これが部分的な焼入れ硬度の低下の原因となる。そのため、製品断面内での焼入れ深さの均一性が重要な部品には、電磁攪拌を適用できなかった。また、低速鍛造は、連続鍛造鋳片の矯正時の鋳片表面温度が低下するため、矯正時に鋳片表面の割れが発生しやすくなる。そのため、熱間割れ感受性の高い鋼種には、必ずしも有効な手段ではなかった。

一方、中心偏析度を低減するのではなく、偏析部の P, S などの不純物濃度を低下する方法として、溶鋼精錬により P, S を低下する方法がある。これは、溶鋼精錬コストの上昇を伴うだけでなく、製品加工時の切削性が重要となる用途には適用できなかった。

以上のように、従来の中心偏析軽減技術は、中心部の無偏析化という面で十分でないだけでなく、付随的に発生する他の品質面での劣化が認められるため、高級線棒の総合的な品質要求に十分応えられる汎用的な技術とはいえなかった。

2.2 連続鍛圧法を適用した製品品質の特長

連続鍛圧法は、連続鍛造鋳片を凝固末期に金型により大圧下し、鋳片中心部の濃化溶鋼を未凝固側（反鋳込み方向）に排出し凝固完了点を強制的に形成する方法²⁾である。したがって、従来の中心偏析改善方法では、濃化溶鋼を排出しないため、それによって生じた個々の偏析部の面積を小さくできるだけであったが、連続鍛圧法では鋳片の無偏析化が可能である。

また、鋳片中心部に発生する空隙も、溶鋼の凝固時の収縮によって発生するため、中心偏析と同様に従来の技術では、個々の大きさを小さくできても皆無化にはできなかったが、連続鍛圧法では未凝固溶鋼を排出するため皆無化が可能である。

以上のように、連続鍛圧法は、中心の無偏析化、空隙欠陥の皆無化が可能であり、かつ、従来技術で生じた他の品質面での劣化がないため、連続鍛圧法は線棒製品の総合的な品質に十分応えられる技術と考えられる。

たとえば、軸受用鋼材に要求される高転動疲労寿命に影響する因子として、中心偏析と清浄度がある。連続鍛圧法では中心偏析を皆無化できるため、清浄度の劣化を伴う低温鍛造を行う必要がなくなり、タンディッシュの溶鋼過熱度を従来材のそれより上昇することが可能となった。その結果、清浄度が向上し、転動寿命を向上することができた¹¹⁾。

また、本連続鍛圧法は、鋳片中心部を無偏析化するだけでなく、鋳込み速度、および、圧下量を制御することにより、必要に応じて中心偏析度 (C/C_0) を 0.7~1.0 の範囲で選択できる⁴⁾。その例を Fig. 1 に示す。これは、Table 1 に示すとりべ分析値の軸受鋼用素材を異なる水準で連続鍛圧を実施したものと、非連続鍛圧材の中心偏析度 (C/C_0) を示したものである。中心偏析度 (C/C_0) は、鋼材中心部から 5 mmφ ドリルでサンプリングしたものの分析値 (C) と、とりべ分析値 (C_0) の比で評価した。

連続鍛圧を実施した鋳片中心部の各元素の濃度の特徴としては、P と S の中心偏析度は C のそれより小さく、Si, Mn および Cr の中心偏析度は C のそれに比べ同程度かまたはやや大きい。すなわち、非連続鍛圧材で中心偏析度が大きい元素が、連続鍛圧材では中心偏析度が小さくなっている。これは、偏析しやすい元素は、凝固界面の凝固相内の濃度と未凝固相内の濃度比である平衡分配係数¹⁸⁾が小さく、鍛圧時より濃化した溶鋼が排出されたためである。

このように、連続鍛圧法の適用により、中心偏析化はもちろんのこと、線棒製品の品質要求に応じて製品中心部の成分濃度を選択することが可能である。そのうえ、鍛造加工性、伸線加工性、および

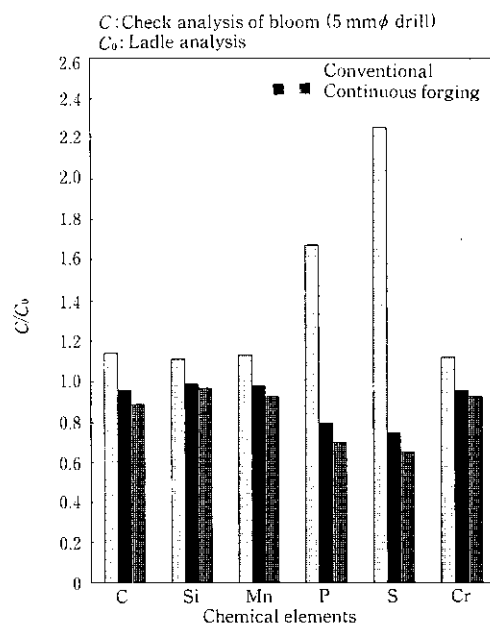


Fig. 1 Ratio of center line segregation (C/C_0) of SUJ2 bloom

Table 1 Ladle analysis of high carbon chromium steel for bearing use (mass%)

Steel grade	C	Si	Mn	P	S	Cr
JIS SUJ2	0.99	0.23	0.40	0.018	0.004	1.36

焼き割れ感受性に有害と認められる製品中心部の P, S 濃度を低下でき、最終部品の強度を確保する面で重要な C, Si, Mn, および Cr を中心偏析度で 1.0 に近い水準で制御できる。

3 連続鍛圧法を適用した高機能化線棒製品の品質

Table 2 に前述した連続鍛圧法の効果とその適用による線棒品質の高機能化項目の例を示す。当然のことながら、中心部の無偏析化

Table 2 Examples of improved properties of rods and bars by continuous forging process

Effects of continuous forging process		Examples of improved properties of rods and bars
Controlling chemical contents of center portion	Homogenizing	• Cancellation of hardness difference • No cracks caused by center segregation at quenching
	Negative segregation	• Drilling easily at center portion • Increasing drawing speed • Omitting heat treatment • Decreasing frequency of rupture at drawing • Increasing tensile strength by higher content of carbon
Annihilation of center porosity		• Decreasing inner defects of big size diameter bar

(均一化), および空隙の皆無化により製品品質は向上するが, 中心部を負偏析化することにより, 中心部の延性の向上および硬度の低下が得らる。これを利用することにより, 線棒製品の高機能化, 高付加価値化が可能となる。

以下に, 連続鍛圧法を適用することにより, 品質の向上, 高機能化した例を述べる。なお, 連続鍛圧は, 400×560 mm の鋳片で実施し, 鋳込み速度を 0.40~0.55 m/min, 圧下量を 60~120 mm の範囲内で, 製品品質上必要な中心偏析度および鋼種に応じて適宜選択した。

3.1 軸受鋼の転動疲労寿命の向上

ベアリングの鋼球に使用される線材は, その加工方法により鋼材の中心偏析が鋼球表面(転走面)に露出する。ところが, 中心偏析はベアリングの転動疲労寿命に悪影響を及ぼすといわれており, その原因の一つとしては, 中心偏析部の焼入れ後の硬度が他の部分より高くなることが考えられる。

そのため, 従来, ベアリング鋼球用線材には, 連続材は適用できず, 中心偏析がより軽微な小型鋼塊による造塊材が適用されてきた。連続鍛圧法は, 中心偏析解消により中心部の硬度上昇を防止できるため, 連続鍛造材の鋼球への適用を目的として, Table 3 に示す化学成分の鋼種に連続鍛圧を実施し, その製品で転動疲労寿命試験を行いその効果を調査した^{19,20)}。

試験片は, 連続鍛圧を実施した鋳片を圧延により 65 mmφ の丸棒にし, Fig. 2 に示すように鋼材の中心偏析が試験片表面に線状に露出するように切り出した。その後, ベアリング用途で行われる通常の熱処理を施し, ラッピング研磨を行った。この試験を行った丸棒の中心部の 5 mmφ ドリルでのチェック分析結果を Table 4 に示す。このように従来材には中心偏析が認められ, 連続鍛圧材は, 若干負偏析になっており, その C の中心偏析度 (C/C_0) は, 0.92 であった。

これを, Table 5 に示す条件で点接触型転動疲労寿命試験を行った。転動疲労寿命試験後の試験片のマクロ組織を Photo 1 に, 試

験片の硬度分布を Fig. 3 に示す。また, 転動疲労寿命および丸棒中心線近傍での剥離発生率を, Fig. 4 および 5 にそれぞれ示す。ここでの転動疲労寿命は, 転動疲労寿命試験で供試個数のうち 10% 疲労剥離が発生した回数 L_{10} で評価した。

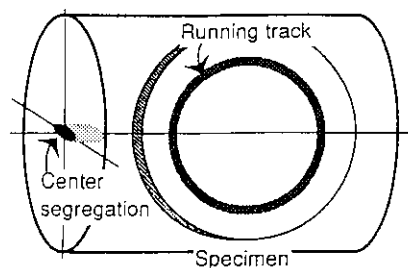


Fig. 2 Sampling position of test piece

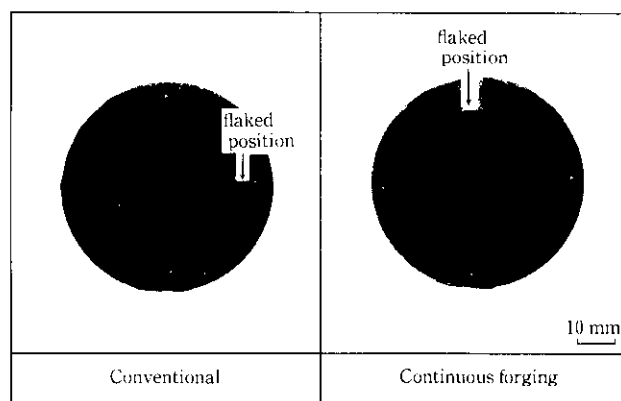


Photo 1 Macrostructure of test specimen after rolling-contact fatigue life test

Table 3 Ladle analysis of high carbon chromium steel for ball use of bearing (mass%)

Steel grade	C	Si	Mn	P	S	Cr
JIS SUJ2	0.99	0.26	0.40	0.017	0.003	1.34

Table 4 Chemical analysis of center portion of bars (5 mmφ drill) (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr
Continuous forging	0.91	0.25	0.39	0.012	0.002	1.28
Conventional	1.05	0.26	0.41	0.019	0.004	1.36

Table 5 Testing conditions of rolling-contact fatigue life test

Item	Value
Size of contacting ball	9.525 mmφ
Hertz maximum contact stress	5 260 N/mm ²
Rotating speed	1 800 cpm
Lubricating oil	#68 Turbine oil

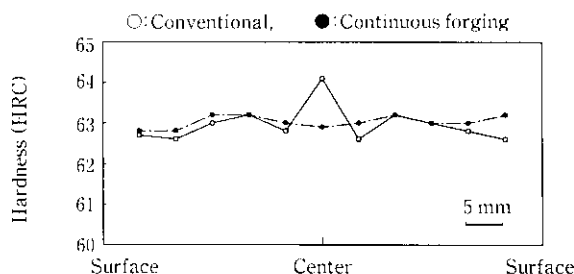


Fig. 3 Hardness distribution of specimen at rolling-contact fatigue life test

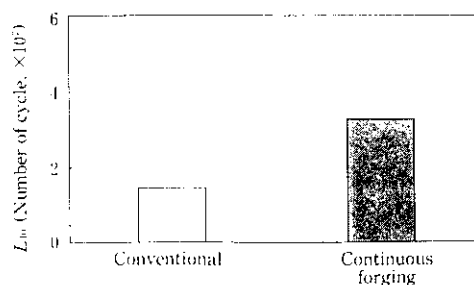


Fig. 4 Rolling-contact fatigue life (L_{10})

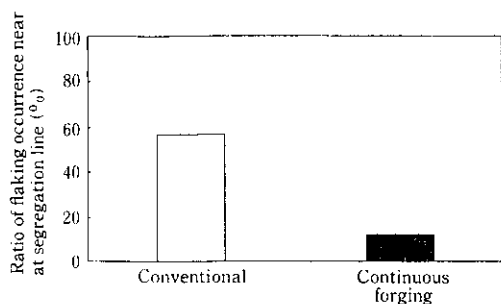


Fig. 5 Ratio of flaking occurrence near at center segregation line

Fig. 3 に示すように連続鍛圧材には、従来材に認められるような中心部の硬度上昇は認められず、中心部の硬度は、他の部分とほぼ同じであった。また、転動寿命 (L_{10}) は、従来材のそれに比べ3倍程度向上することが認められた。これは、Fig. 5 に示すように、Photo 1 のような中心偏析線上での転動疲労剥離発生率が減少したためと考えられる。

以上のように連続鍛圧法の適用により、中心偏析起因の転動疲労剥離発生率を減少できるため、ベアリング鋼球用線材の連続鍛造での製造が可能となった。

3.2 SC 材の中心部ドリル穿孔性の向上

たとえばナット用鋼材などであるが、線棒製品では製品中心部をドリルで穿孔加工するものがある。従来の中心偏析が認められる材料では、中心部の硬度が高いため、ドリル工具の短寿命およびドリルの芯ぶれによる加工孔の寸法精度不良という問題があった。

そこで、Table 6 に示す化学組成の機械構造用炭素鋼 S45C 鋼に連続鍛圧を実施後、54 mmφ の丸棒に圧延し、中心部のドリル穿孔試験を行った。丸棒の中心偏析度 (C/C_0) を Fig. 6 に、丸棒断面の硬度を Fig. 7 に示す。

Table 6 Ladle analysis of carbon steel for machine structural use (mass%)

Steel grade	C	Si	Mn	P	S
JIS S45C	0.44	0.24	0.79	0.017	0.015

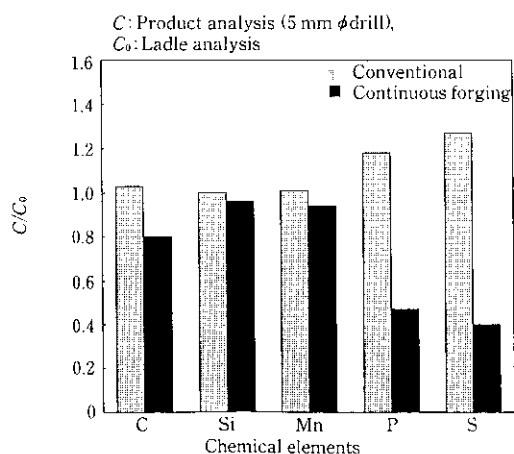


Fig. 6 Ratio of center line segregation (C/C_0) of S45C bar (54mmφ)

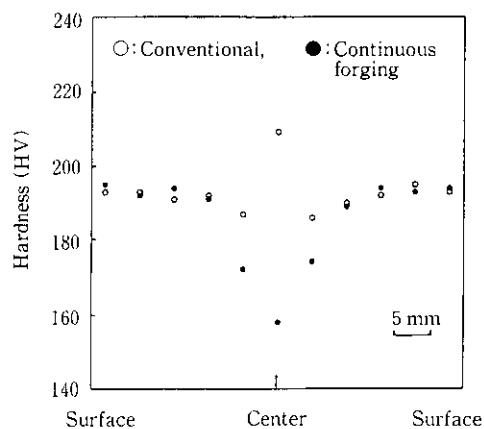


Fig. 7 Hardness distribution of the cross section of S45C bar (54mmφ)

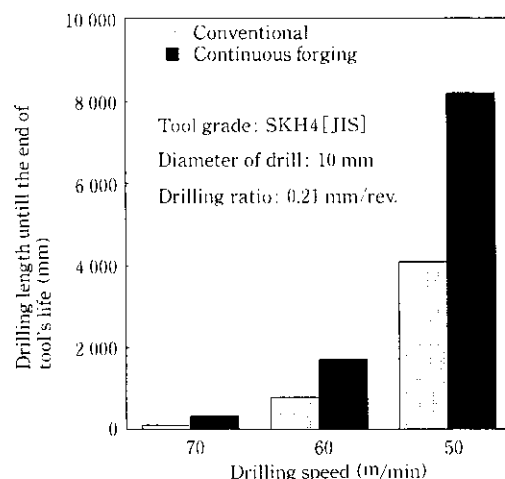


Fig. 8 Drilling length until the end of tool's life (S45C bar 54mmφ)

Fig. 8 にドリル穿孔試験結果を示すが、ドリルの寿命評価方法としては、ドリルに焼きつきが発生し穿孔加工が不可能になるまでの穿孔加工総長さで評価した。このように、切削スピードが50, 60, 70 m/min のいずれの水準においても、連続鍛圧材の中心部ドリル穿孔総長さは従来材に比べ2倍程度向上している。

一般に、炭素鋼の切削加工性を決定する重要な因子として硬度とS濃度があり、硬度に関しては低いほうが、S濃度に関しては高いほうが切削性がよいといわれている。今回の材料の中心部のSの中心偏析度は0.4と低かったが、硬度低下の影響のほうが大きかったためドリル穿孔加工性が向上したと考えられる。

3.3 合金鋼線材の伸線速度の上昇

伸線加工時、線材断面内では中心部の応力が最大となるが、中心偏析が存在すると線材断面内では中心部の延性が最小となる。そのため、中心偏析起因で伸線加工時に断線が発生する場合がある。ところが、連続鍛圧法を適用し中心部を負偏析化することにより、中心部の延性を向上でき、断線頻度を大幅に低減できるだけでなく、伸線速度も上昇できる可能性も考えられる。

当社は、制御圧延により、お客様での焼鈍省略可能な直接軟化合金鋼線材を製造しているが^{21,22)}、伸線速度を上昇した場合直接軟化材でも断線が生じる場合があった。これは、局部的に、中心偏析度が高く、かつ圧延後の冷却速度の大きい部分に延性がフェライトお

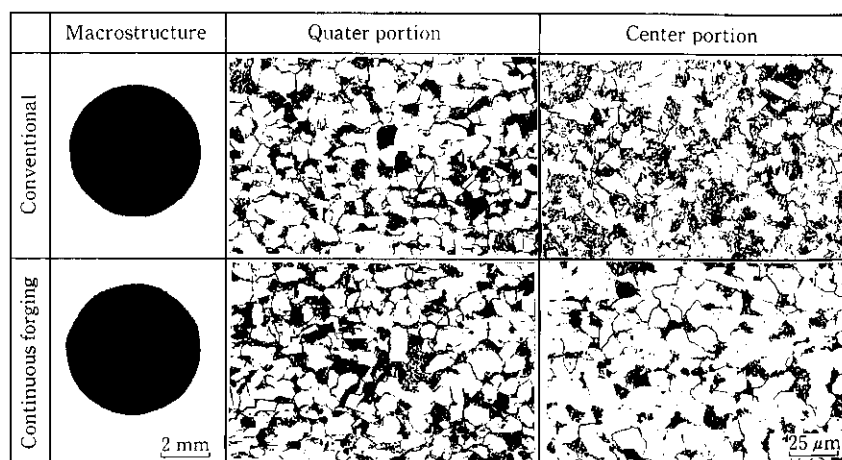


Photo 2 Macrostructure and microstructure of SCM420 rods

Table 7 Ladle analysis of chromium molybdenum steel for structural use (mass%)

Steel grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
JIS SCM420	0.22	0.25	0.75	0.015	0.007	1.10	0.19

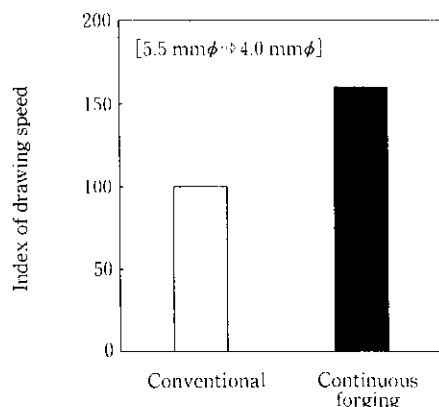


Fig. 9 Index of drawing speed of SCM420 rods (5.5mmφ)

よびパーライト組織より低いベイナイト組織が生じていたためであった。

そこで、Table 7 に示す化学組成の鋳片で連続鍛圧を実施し、5.5 mmφ に直接軟化処理に必要な制御圧延を行った。また、この鋳片で C の中心偏析度 (C/C_0) を調査したところ、それは、0.91 であった。

Photo 2 にその線材のマクロ組織と 1/4 D 部と中心部のミクロ組織を示す。このように、連続鍛圧材は、中心部が負偏析となりその C 濃度が低くなっているため、中心部でベイナイト組織が認められないだけでなく、中心部のパーライト量が減少していることが認められる。

この線材で 5.5 mmφ から 4.0 mmφ に伸線加工を行ったところ、断線を生じさせることなく、Fig. 9 に示すように、伸線速度を従来材の 1.6 倍まで上昇できた。

3.4 高炭素鋼線材の延性の向上

高炭素鋼線材の伸線後の最終製品では、その強度だけではなく延性も要求される。中心偏析が存在する従来の線材では中心部の延性が低いだけでなく、伸線加工時、線材内部に空隙欠陥が発生するため²³⁾、伸線後の延性を確保することが必要な用途では、伸線加工前、または、伸線加工途中に熱処理(鉛パテンティング等)を実施することが不可欠であった。

そこで、高炭素鋼線材用鋳片で連続鍛圧を実施した。その対象化学組成と鍛圧鋳片の中心部の化学分析結果を Table 8 に示す。これを 11 mmφ の線材に圧延後、4.2 mmφ に伸線加工した。鉛パテンティングを省略した伸線後の伸びと絞り値を鉛パテンティングを実施した従来材のそれと比較して Fig. 10 に示す。

Table 8 Analysis of ladle and center portion of bloom of high carbon steel rods (mass%)

	C	Si	Mn	P	S
Ladle analysis	0.81	0.25	0.81	0.017	0.008
Center portion of bloom	0.71	0.24	0.78	0.012	0.005

Steel grade : JIS SWRS82B, 5mmφ drill

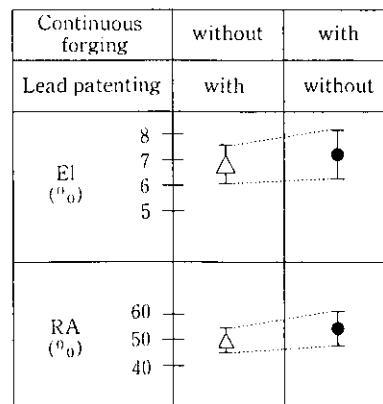


Fig. 10 El and RA of drawn wire rod

このように、連続鍛圧材の伸び、絞り値は、鉛パテンティングを省略しても、従来の鉛パテンティング実施材のそれ以上である。したがって、連続鍛圧法の適用により中心部を負偏析化し、その延性を向上できるため、鉛パテンティングなどのお客様での熱処理が省略可能であると考えられる。

3.5 高炭素化による高強度化

最終製品の高強度化の手段としては、鋼材の高炭素化があるが、中心偏析が存在すると、中心部の炭素濃度が高くなり、加工中に断線などの問題が生じるため、必ずしも実用的な手段とはいえなかった。

たとえば、炭素濃度が0.7~0.8%程度の高炭素鋼線材では、高強度化の目的でさらに高炭素化を行うと、線材圧延後の冷却時、線材断面内で冷却速度が最も小さい線材断面中心部で初析セメンタイトが析出する。この初析セメンタイトは、延性が他の部分の組織であるパーライトより延性が著しく低いため伸線加工中断線が生じる。また、断線にいたらないまでも、伸線加工中に線材中心部に空隙が発生する可能性があるため、高い信頼性を要求される重要保安部品への適用は困難であった。

ところが、連続鍛圧法の適用により中心部を負偏析とすれば、鋼材を高炭素化しても線材中心部の初析セメンタイトの析出を防止できる。このため、連続鍛圧法は、製品高強度化に対しての高炭素化を容易な実用的手段にできる。

Table 9 にその適用例を示す。このように、従来初析セメンタイトの問題で0.77%Cのものが実用化されていたが、連続鍛圧法の適用により、0.87%Cのものが実用可能となった。その結果、高炭素化のみで、最終製品の強度を1900 N/mm²から2000 N/mm²に上昇できた。

本用途は、自動車のブレーキ用パネに使用されており、高強度化による耐へたり性の向上、および、軽量化により、お客様より好評を得ている。

Table 9 Chemical composition of high carbon steel rods for spring use and their tensile strength of final products

Process	Steel grade (JIS)	Chemical analysis (mass%)					Tensile strength (N/mm ²)
		C	Si	Mn	P	S	
Conventional	SWRS77B	0.77	0.22	0.75	0.011	0.005	1900
Improved	SWRS87A	0.86	0.21	0.44	0.010	0.005	2000

3.6 太径丸棒の連続化

鋳片中心部の空隙は、連鋳鋳片の凝固収縮により生じるため、従来の技術では、その大きさを小さくはできるが、皆無化は不可能であった。一方、圧延により、鋳片の空隙を圧着可能ではあるが、圧延温度の高温度化、圧延速度の低速化等は、その効果が認められるものの、太径丸棒は、鍛錬成形比を大きくできないため圧延による十分な圧着効果が得られなかった。

そのため、太径丸棒で加工中、および、加工後の最終製品で中心空隙が問題になるものは、圧延での鍛錬成形比を大きくするため、連鋳鋳片より大きい断面の造塊鋼塊から製造する必要があった。たとえば、大型ベアリングレス用太径丸棒(適用成分例: Table 10)は、中心部の空隙が鍛造によりレース内面に露出し内面疵の原

Table 10 Ladle analysis of high carbon chromium steel for lace use of bearing (mass%)

Steel grade	C	Si	Mn	P	S	Cr
JIS SUJ3	0.96	0.64	1.09	0.015	0.004	1.10

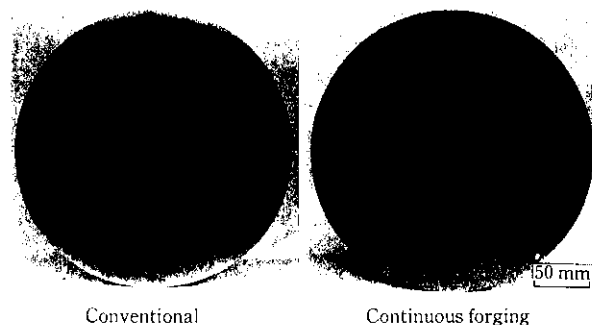


Photo 3 Macrostructure of big size diameter bar (250 mm ϕ)

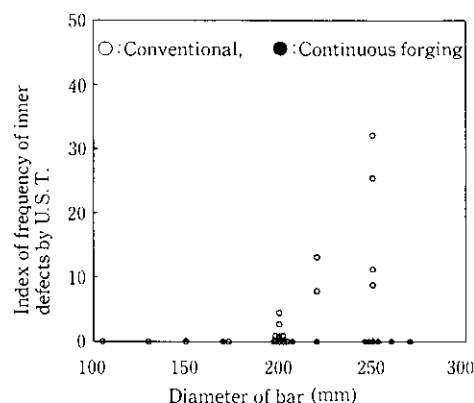


Fig. 11 Effect of diameter of bars on inner defects by continuous forging process (Size of cast bloom : 400×560mm)

Table 11 Conditions of ultrasonic test (UST) of inner defects for big size diameter bars

Item	Value
Frequency	5 MHz
Size of probe	20 mm ϕ
Sensitivity	STV-G V 15-1.4=70%
Disregard level	<30%

因となる場合がある。

Photo 3 に連続鍛圧法、および連続鍛圧法を実施しなかった従来連鋳材から製造したベアリングレス用 SUJ3、250 mm ϕ (鍛錬成形比: 4.6) のマクロ組織を示す。また、超音波探傷による丸棒中心部の空隙欠陥残存指数を Fig. 11 に示す。ただし、超音波探傷は、Table 11 に示す条件で行った。

このように、連続鍛圧法の実施により、中心偏析が解消できるだけでなく、鋳片凝固段階で中心部の空隙を圧着できるため、鍛錬成形比の小さい太径丸棒でも鋳片空隙欠陥の残存の問題が解消でき、太径丸棒への連鋳材の適用が可能となった。

4 結 言

連続鋳片凝固末期に鋳片を連続的に大圧下する連続鍛圧法を開発し、1990年6月に水島製鉄所第3連鋳機に鍛圧設備を建設した。本法は、鋳片中心部の無偏析化および鋳片空隙欠陥の解消ができるだけでなく、鍛圧条件を制御することにより、製品の要求品質に応じて、中心部の濃度が選択可能である。

この連続鍛圧法を適用した線棒製品の品質を調査し判明したことを次に示す。

- (1) 軸受用高炭素クロム鋼では、従来材に比べ転動疲労寿命の向上が認められた。これは、連続鍛圧により中心偏析が解消できたことにより中心部の硬度上昇がなくなったためと考えられる。
- (2) 機械構造用炭素鋼 S 45 C では、中心部を負偏析化することにより中心部の硬度が低下し、中心部ドリル穿孔加工性が改善された。
- (3) 機械構造用合金鋼 SCM 420 では、中心部を負偏析化することにより中心部の延性が向上し、伸線速度を上昇できることが

判明した。

- (4) 高炭素鋼線材では、中心部を負偏析化することにより、伸線後の延性が、従来の鉛パテンティング処理材レベルまで向上することが認められた。これより、連続鍛圧法の適用により、鉛パテンティング等の需要家での熱処理が省略可能になると考えられる。
- (5) 中心部を負偏析化することにより、中心偏析が解消されるだけでなく、中心部の延性も向上できるため、連続鍛圧法は、高炭素鋼の高強度化にたいして、高炭素化をより実用化可能な手段にできる。
- (6) 鍛錬成形比が小さい太径丸棒でも、連続鍛圧法は中心部空隙欠陥を鋳片段階で圧着でき、従来のように鍛錬成形比の上昇による空隙の圧着が不要となったため、太径大棒の連鋳での製造が可能となった。

このように、連続鍛圧法の適用により線棒製品の品質が向上するだけではなく、これにより、お客様での生産性の向上、および、従来加工前、加工中で必要であった熱処理や検査が省略できる可能性がある。したがって、連続鍛圧法の適用は、お客様でのコスト低減に大きく寄与できる。

参 考 文 献

- 1) 小島信司, 松川敏胤, 今井卓雄, 溝田久和, 川縁正信, 山崎久生: 鉄と鋼, 73(1987), S 209
- 2) 小島信司, 今井卓雄, 溝田久和, 藤村俊生, 松川敏胤: 鉄と鋼 78(1992), 42
- 3) 小島信司, 溝田久和, 松川敏胤, 数上文夫, 藤村俊生, 吉元義夫: 材料とプロセス, 4(1991), 293
- 4) 柳田宏一, 藤村俊生, 馬田 一, 松川敏胤, 秋元圭一, 浜西信之: 材料とプロセス, 4(1991), 294
- 5) 鍋島誠司, 中戸 参, 藤井徹也, 柳田宏一, 溝田久和, 数上文夫: 材料とプロセス, 4(1991), 295
- 6) 鍋島誠司, 中戸 参, 藤井徹也, 柳田宏一, 溝田久和, 藤田利夫: 鉄と鋼, 79(1993), 49
- 7) 藤田利夫, 天野慶一, 中野昭三郎, 川縁正信, 山本義治, 小野秀俊: 材料とプロセス, 4(1991), 234
- 8) 武井雅光, 松永則之: 第34回伸線技術分科会資料: (1992)
- 9) 川縁正信, 山本義治, 朝生一夫, 小野秀俊, 柳島章也, 大島健二: 材料とプロセス, 5(1992), 677
- 10) 藤田利夫, 天野慶一, 川縁正信, 山本義治: 材料とプロセス, 5(1992), 677
- 11) 柳島章也, 山本義治, 川縁正信, 藤田利夫, 中野昭三郎, 浅川貞夫: 川鉄製鉄技報: 23(1991)2, 91-97
- 12) 川縁正信, 中島 力, 朝生一夫, 柳島章也, 高田重信: 材料とプロセス: 4(1991), 823
- 13) 本郷 晴, 小野秀俊, 大島健二, 山本義治, 朝生一夫, 近藤信行: 材料とプロセス, 6(1993), 262
- 14) 大島健二, 奥田治志, 植島好紀, 和田芳信, 鍋島誠司, 増田敏一: 材料とプロセス, 5(1992), 259
- 15) 水藤政人, 川縁正信, 蓮沼純一, 新庄 豊: 鉄と鋼, 71(1985), S 210
- 16) 山崎久生, 新庄 豊, 木下勝男, 中西恭二, 水藤政人, 川縁正信, 大西正之: 鉄と鋼, 71(1985), S 208
- 17) T. Fujimura, H. Yamasaki, T. Kayano, and M. Kawaberi: Steel-making Proceeding Conference, 70(1987), 213
- 18) たとえば日本鉄鋼協会: 鉄鋼製造法, 第一分冊「製鉄, 製鋼」, (1972), 691, [丸善]
- 19) 安本 聡, 星野俊幸, 松崎明博, 天野慶一, 川縁正信, 田畑純久: 材料とプロセス, 3(1994) 掲載予定
- 20) 川縁正信, 山本義治, 朝生一夫, 朝比奈健, 鍋島誠司: 材料とプロセス, 3(1994) 掲載予定
- 21) 川縁正信, 山中栄輔, 峰 公雄, 入見 潔: 川鉄製鉄技報, 20(1988)3, 242-243
- 22) 中島 力, 山本義治, 山中栄輔, 金堂秀範, 小川孝也, 星野俊幸: 川鉄製鉄技報: 23(1991)2, 119-120
- 23) 田中 浩, 吉田一也: 塑性と加工, 24(1983)270, 737