

(論文)

軟化熱処理省略可能な新冷間鍛造用鋼

百崎 寛*・長谷川豊文*・阿南吾郎*・家口 浩(工博)**・畠 英雄**

*鉄鋼カンパニー・神戸製鉄所・条鋼技術部 **技術開発本部・材料研究所

New Type of Cold Forging Steels Capable of Eliminating Softening or Spheroidizing Annealing Treatment

Kan Momozaki・Toyohumi Hasegawa・Goro Anan・Dr. Hiroshi Yaguchi・Hideo Hata

The influences of rolling temperature and the addition of small amount of various alloying elements on flow stress during cold forging were investigated in JIS SWRCH20A. It was observed that low temperature rolling and additions of B are effective in reducing the flow stress. The flow stress of B-containing steel rolled at low temperature was found to be equivalent to that of conventional spheroidizing annealed SWRCH20A. As a result of these developments, the elimination of softening heat treatment prior to cold forging has become possible.

まえがき = 冷間鍛造で成形される各種機械部品には圧延材をそのまま冷間鍛造する場合と、圧延材に軟化熱処理を施したのちに冷間鍛造する場合とがある。前者の場合は工具寿命を延長すること、後者の場合は軟化熱処理(球状化焼鈍、焼鈍、低温焼鈍)を省略することが求められ、どちらも素材の変形抵抗低減が課題である。当社では変形抵抗低減を目的として、これまで以下の二つの観点で取り組んできた。

主要化学成分の調整による室温での変形抵抗低減
動的歪み時効抑制による加工発熱領域での変形抵抗低減

室温での変形抵抗低減に対しては、これまでの研究結果を見ると変形抵抗に及ぼす影響が合金元素によって異なり、組織が変わることにより合金元素の影響度が変化している¹⁾²⁾。動的歪み時効を抑制するには、固溶C、N量を減らす必要がある。このためには、Cr添加による固溶C量の低減やAlの増量添加による固溶N量の低減³⁾、圧延後の過時効処理などをおこなってきた⁴⁾。

これらの対策を適用しても軟化熱処理省略ができる鋼種は、C量が0.10%程度の低炭素鋼に限定されているのが現状である。

本稿では、変形抵抗を低減するために固溶C、Nの析出挙動に着目し、圧延条件、化学成分の影響を詳細に検討した結果について述べ、またC量が0.10%を超える炭素鋼においても、軟化熱処理省略の可能性について、具体的手段を検討したのでその結果について報告する。

1. 圧延条件の検討

1.1 実験方法

供試材は、第1表に示すJIS G 3507に記載の冷間圧造用線材SWRCH20A相当鋼をもちいた。圧延条件は第2表に示すように圧延開始温度を、1000と850の2条件に設定し、圧延後の冷却を0.6/sとして変形抵抗に及ぼす圧延開始温度の影響を検討した。変形抵抗は、9.5mmの線材から8×12mm、据込み比1.5(12/8=1.5)の試験片を作製した後、日本塑性加工学会鍛造分科会推奨の方法⁵⁾をもちい、60%の圧縮試験で変形抵

第1表 供試材の化学成分組成

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N
JIS SWRCH20A	0.20	0.04	0.47	0.014	0.009	0.09	0.054	0.0048

第2表 圧延条件

Table 2 Rolling conditions

No.	Starting Temperature of Rolling	Starting Temperature of Finish Rolling	Cooling Rate /s
	996	1 063	0.6
	849	924	0.6

第3表 圧延材の機械的性質フェライト粒度

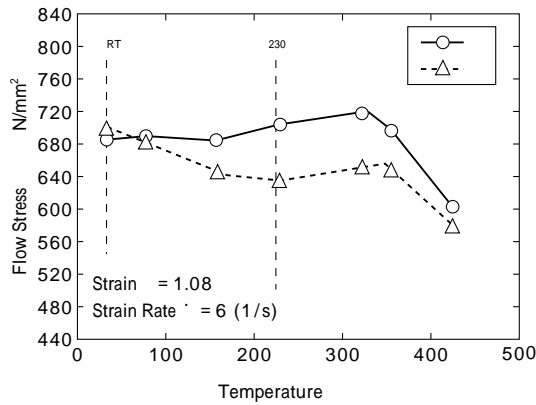
Table 3 Mechanical properties and ferrite grain number of wire rods

No.	TS N/mm ²	RA %	FGc
	432	66.1	9.0
	486	69.9	11.0

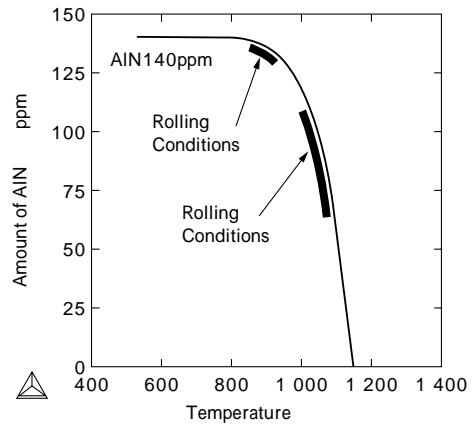
抗を測定した。固溶C、N量を求めるため、厚さ0.7×幅5.0×長さ105mmの試験片を作製し、内部摩擦試験に供した。内部摩擦試験では、IMF-1500L(ULVAC真空理工(株)製)をもちいて自由振動減衰法により内部摩擦ピーク高さから固溶C、N量を求めた。内部組織は、SEM(日本電子(株)製JXA-733)、FE-TEM(日立製作所製HF-2000)をもちいて調査した。

1.2 実験結果と考察

圧延材の引張特性とフェライト粒度を第3表に示す。条件のフェライト粒度は条件に比較して2番細粒化しており、その結果TS、RAともに高い。この線材について変形抵抗を調査した結果を第1図に示す。室温においては、ほとんど差異が認められないが、冷間鍛造時の加工発熱状態を想定した100~400での変形抵抗は、条件のほうが低い。圧延材の内部組織を、SEMで観察した結果を写真1に示す。条件のフェライト部に条件よりも多くの析出物が認められた。これらの析出物をFE-TEMのGIF(GATAN社製イメージングフィルタモデル678)により組成分析したマッピング結果を写真2に示す。(a)がゼロロス像(明視野相当の画像)、(b)(c)はCとNのGIFによる組成像である。これらから、



第1図 温度と変形抵抗の関係
Fig. 1 Effect of temperature on flow stress



第2図 温度と AlN 析出量の関係
Fig. 2 Relation between temperature and amount of AlN precipitate

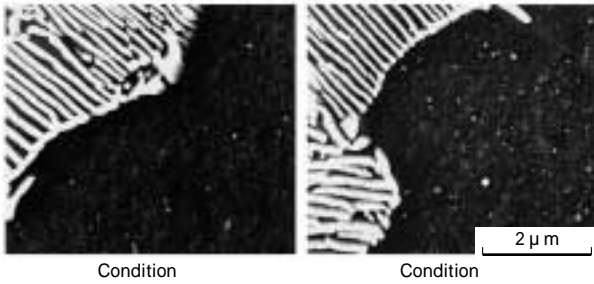
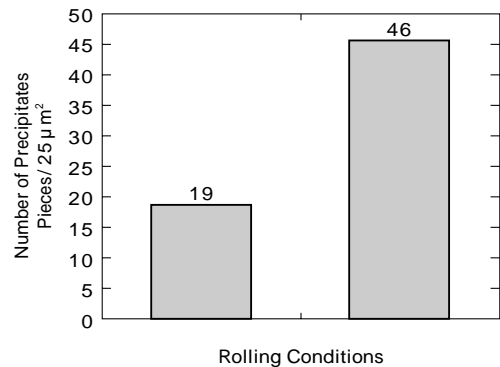


写真1 圧延材の内部組織 (SEM)
Photo 1 Microstructure of wire rods



第3図 フェライト中の析出物个数
Fig. 3 Number of precipitates in ferrite

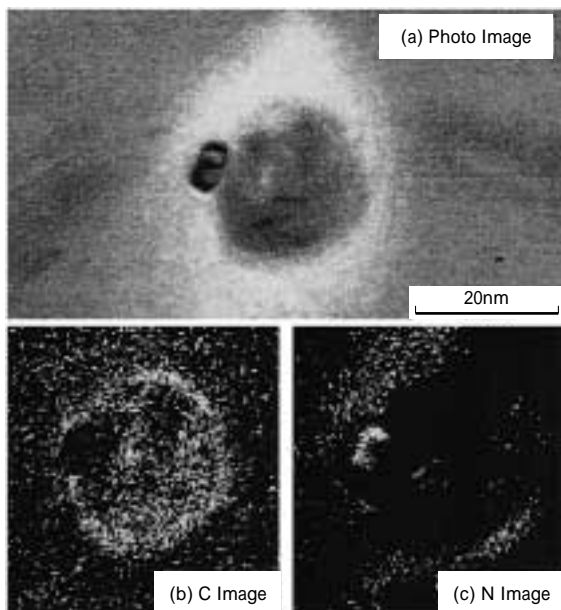
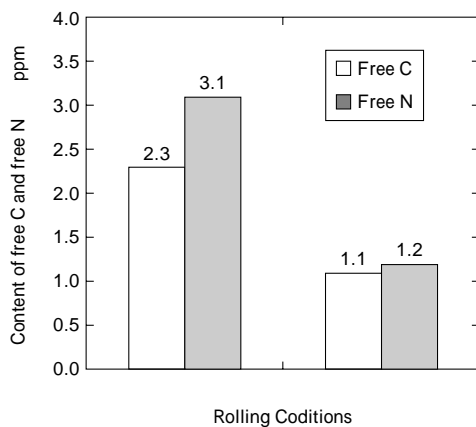


写真2 析出物の TEM 写真
Photo 2 TEM images of precipitate



第4図 圧延条件による固溶 C, N 量
Fig. 4 Dependence of free C and free N content on rolling conditions

炭化物と窒化物が複合析出していることがわかる。

これまで、炭・窒化物の析出を促進するには結晶粒の微細化による結晶粒界の増加を図ることが有効であると報告されている⁴⁾が、上記観察の結果、圧延条件を制御することによりフェライト粒内に炭・窒化物を析出させられることを見出した。第2図に「Thermo-Calc」によって求められた供試材の温度と AlN の析出量の関係を示す。この図から条件 1 の圧延開始温度～仕上げ圧延温度の範囲では、AlN はほとんど固溶しない範囲で圧延されていると推定され、写真2に示した複合析出は、未固溶の AlN を核として Fe₃C が析出したものと考えられる。その析出数は、第3図に示すように条件 2 に多数

析出していることが認められた。第4図に、内部摩擦によって求められた圧延材の固溶 C, N 量を示す。この図より条件 2 のほうが固溶 C, N が抑制されていることがわかる。

したがって、圧延条件において、加工発熱を想定した変形抵抗を低減するには、AlN を固溶させずに圧延し、これを核として Fe₃C を数多く析出させることが有効であると考えられる。

2. 化学成分の検討

2.1 実験方法

供試材は、炭・窒化物形成元素の動的歪み時効抑制剤

第4表 供試材の化学成分組成と引張強さ

Table 4 Chemical compositions and TS of steels tested

Steels	Chemical compositions mass%						TS N/mm ²
	C	Si	Mn	Al	N	Others	
Base	0.20	0.05	0.42	0.036	0.0036		423
a	0.18	0.04	0.41	0.036	0.0005		409
b	0.21	0.05	0.42	0.037	0.0036	0.097V	452
c	0.21	0.05	0.41	0.034	0.0034	0.028Zr	420
d	0.21	0.05	0.41	0.033	0.0040	0.0013B	421
e	0.21	0.05	0.42	0.037	0.0040	0.032Nb	439
f	0.20	0.02	0.41	0.033	0.0027	0.052Ti	453

果を定量的に把握するため JIS SWRCH20A 相当鋼をベース鋼とし、N, Zr, B, V, Nb, Ti を変化させた鋼をもちいた。供試材の化学成分を第4表に示す。これら7鋼種は、溶製後、15mmの丸棒に鍛伸加工し、焼ならし処理(1100 × 1h)を施し各種試験に供した。実験内容は、1.1節と同様に圧縮試験と内部摩擦試験であり、変形抵抗、固溶C, N量を測定した。

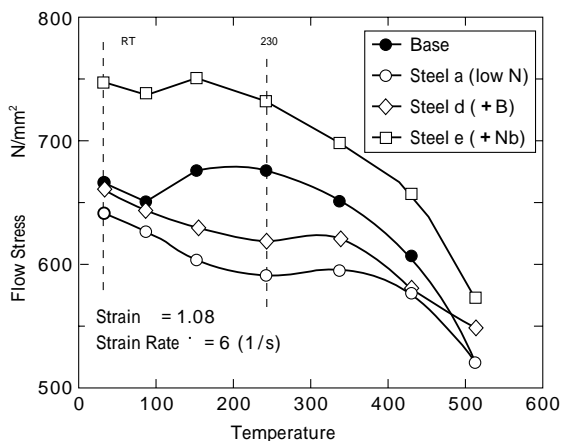
2.2 実験結果と考察

焼ならし材のTSは、第4表に示すように、V, Nb, Ti 添加鋼と比較して、B, Zr 添加鋼、低N鋼、ベース鋼のほうが低かった。

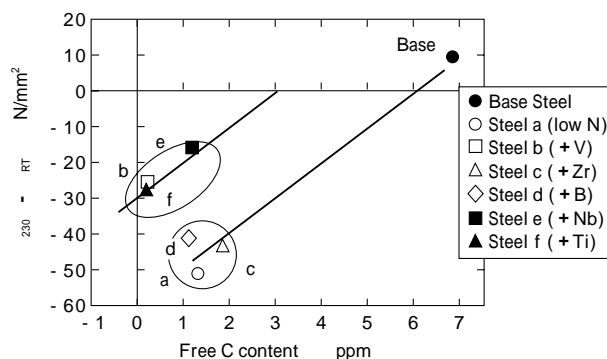
変形抵抗の測定結果を第5図に示す。ベース鋼は100~400の範囲で変形抵抗の上昇が認められる。これに対して、a, d鋼は高温域の変形抵抗が低く、室温のそれもベース鋼に比較し低減している。e鋼は、Nbの析出強化のため、室温の変形抵抗が高くなっている。この傾向は、b, f鋼についても同様であった。

変形抵抗の変化量に及ぼす合金元素の影響を検討するため、試験温度230と室温の変形抵抗の差を変形抵抗変化(230 - RT)として定義した。

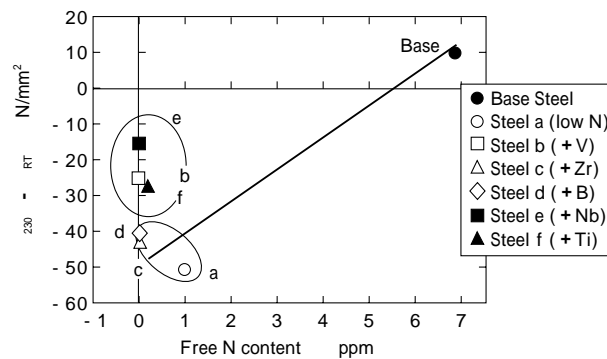
第6図、第7図に、変形抵抗変化と固溶C量、固溶N量の関係を示す。ベース鋼の固溶C, N量は、7ppm程度であったが、a~f鋼はいずれも2ppm以下に低減されている。固溶C, N量による変形抵抗変化は、a鋼がもっとも大きい。a~f鋼の中では、a, c, d鋼とb, e, f鋼の二つのグループに分けられた。a, c, d鋼の変形抵抗変化に比べて、b, e, f鋼のほうが、変形抵抗変化が小さい。これは、室温での変形抵抗と同様、V, Nb, Tiの析出物による強化のため、変形抵抗変化が小さくなったものと考えられる。



第5図 試験温度と変形抵抗の関係 (Base, a, d, e)
Fig. 5 Relationship between testing temperature and flow stress (Base, a, d, e)



第6図 固溶Cと変形抵抗変化の関係
Fig. 6 Relationship between free C content and (230 - RT)



第7図 固溶Nと変形抵抗変化の関係
Fig. 7 Relationship between free N content and (230 - RT)

以上の結果より、化学成分面から室温変形抵抗および加工発熱領域における変形抵抗低減のため、B, Zr 添加、低N化が有望な手段であることがわかった。

化学成分が圧縮試験において微視組織に及ぼしている影響を調査するため、据込み試験後の試験片から、薄膜試料を作製し、FE-TEMによる観察をおこなった。Nb 添加鋼、B 添加鋼、ベース鋼の3鋼種についての観察結果を写真3に示す。ベース鋼では室温よりも230のほうに、固溶C, Nによる転位の固着と考えられる転位セル組織の微細化が認められた。Nb 添加鋼においても、固溶C, Nは固定されているものの、ベース鋼同様、転位の固着によると考えられる転位セル組織の微細化が認

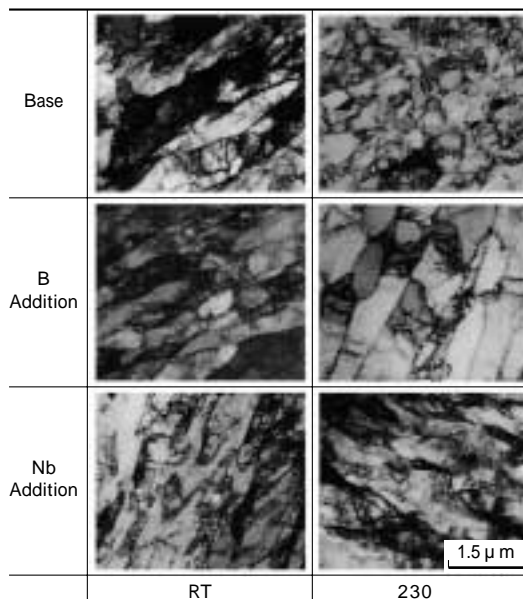


写真3 転位セルのTEM写真
Photo 3 TEM images of dislocation cells

められた。いっぽう、B 添加鋼では、230 においても、固溶 C、N の固定による転位セルの微細化は認められなかった。

したがって、B はこれまで中炭素鋼のみにおいて Ti との複合添加によるフェライト、パーライト変態促進による軟質化が可能であると、樽井、田代らによって報告されている^{6)~8)}が、B の単独添加で、低炭素鋼においても、転位を固着させずに固溶 C、N を低減することで室温変形抵抗および加工発熱下での変形抵抗低減に対して、有効であることがわかった。

3. 開発鋼の試作結果

以上の結果から、第 5 表に示すような JIS SWRCH20 A 相当鋼に B を添加した鋼を実用炉で溶製後、低温圧延、徐冷にて素材を作製し、変形抵抗低減効果を把握するための冷鍛性評価をおこなった。また、比較鋼としては第 1 表に示す SWRCH20A をもちいた。

これらの供試鋼をもちいて写真 4 に示す M12 フランジボルトに圧造し、突起を付けた #3 パンチ先端部の促進摩耗状態から工具寿命を評価した。比較鋼 SWRCH20 A と比較した結果、第 8 図に示すように、工具寿命が約 1.9 倍に向上した。

また比較鋼 (SWRCH20A) の球状化焼きなまし処理材と圧延ままの g 鋼との工具寿命が、ほぼ同等であることを確認した。この結果から、工具寿命を同等に確保しながら、球状化焼きなまし処理の省略が可能であることを確認した。

むすび=冷間圧造用線材 SWRCH20A について、圧延条件と化学成分調整により変形抵抗を低減できることを明らかにした。

冷間鍛造用鋼の変形抵抗低減のニーズは、部品製造における工具寿命の延長、鍛造の高速化、鍛造形状の複雑化などのコスト低減を目的としますますます大きくなっている。本技術は、幅広い鋼種に適用可能であり、冷間鍛造の発展に寄与できるよう努力していきたい。

参考文献

- 1) 南 俊弘ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.23, No.3 (1973)，p.68.
- 2) T. Ohnishi et al.：SAE Technical Paper Series, 860129 (1986).
- 3) 川上平次郎ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.34, No.1 (1984)，

第 5 表 新鋼種成分例

Steel	mass%								
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	B
g	0.18	0.06	0.34	0.007	0.007	0.039	0.0030	0.13	0.0024

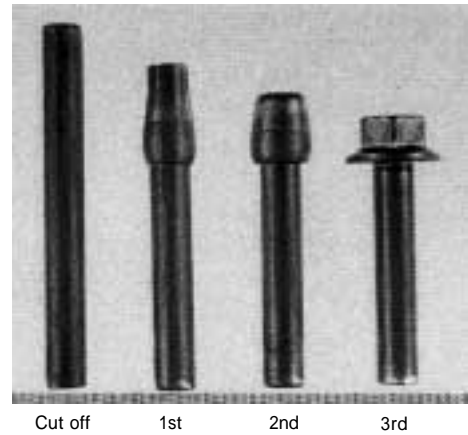
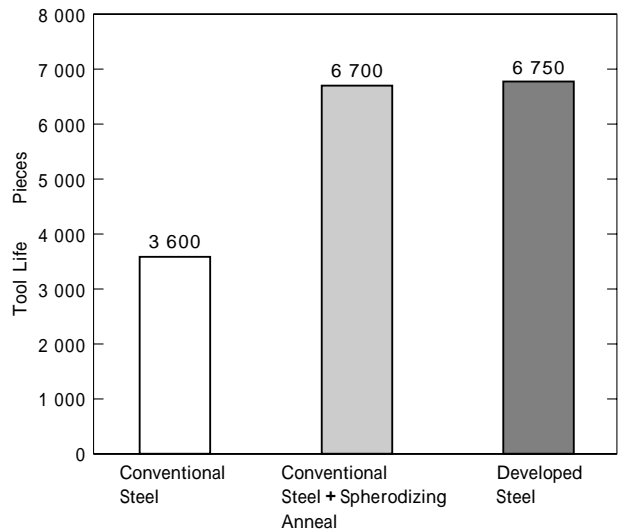


写真 4 M12 フランジボルト圧造工程
Photo 4 Process of heading for M12 flange bolt



第 8 図 M12 フランジボルト圧造における工具寿命
Fig. 8 Tool life on heading for M12 flange bolts

p.73 .

- 4) 塚本 孝：第 39 回伸線技術分科会資料 (1995)。
- 5) 日本塑性加工学会編：鍛造 (1995)，p.154，コロナ社。
- 6) 樽井敏三ほか：鉄と鋼，Vol.72, No.13 (1986)，S1400,p.116。
- 7) 樽井敏三ほか：鉄と鋼，Vol.73, No.13 (1987)，S1218，p.78。
- 8) 田代 均ほか：材料とプロセス，Vol.2, No.3 (1989)，p.898。