

炭素鋼の粉末鍛造における鍛造温度の影響

Effect of Forging Temperature on the Powder Forging of Sintered Steel Billets

天野 富 男*

Tomio AMANO*

1. はじめに

粉末熱間鍛造は高密度な粉末焼結部品を製造する非常に有力な方法であるが、製品の寸法精度や表面性状、加熱や鍛造の際の温度や雰囲気管理、工具寿命など、熱間加工に由来する幾つかの問題点を持っている。最近、これらの問題点を補う方法として粉末冷間鍛造が研究されてきた^{1), 2), 3)}しかし、冷間では焼結材料の変形抵抗が大きく、また延性が小さいためその適用材料には溶製材の冷間鍛造以上の厳しい制限がある⁴⁾

本研究は以上のような欠点を補う方法として、溶製材の場合と同様に、熱間鍛造と冷間鍛造の利点と欠点を折衷すると考えられる粉末温間鍛造の可能性を明らかにすることを目的としている。これまでも粉末鍛造において鍛造温度の影響を研究した例は多いが、それらは殆んど800℃以上の熱間鍛造を前提としており、いわゆる温間鍛造の範囲(200℃~800℃)の研究⁵⁾は殆んど行われていない。

粉末鍛造の場合にもその形式は、密閉型、開放型、半密閉型の三種が考えられ、現行では完全に密閉された上下型の間で加圧する「密閉型鍛造」が有力のようである。しかしながら焼結材料の塑性変形能を知る上では、型の一部が開放されていて材料が自由に流れる「開放型鍛造」が最適と考えられるため本報では、自由すえ込みと、後方押し出しの二種類を実験的に検討した。

2. 実験方法

2.1 焼結ビレット

原料粉はミルスケール還元鉄粉(KIP-255MC)に鱗状黒鉛粉(ACP)を0.2%及び0.5%加えた炭素鋼相当の混合粉を用いた。表1にそれらの特性を示す。これら

表1 供試原料粉末の特性

	粒度分布 (メッシュ)					純度
	+150	+200	+250	+325	-325	
ミルスケール還元鉄粉(KIP 255MC)	21.8(%)	36.5	12.6	14.8	14.3	98.8%
鱗状黒鉛(ACP)	+300		-300			99.5%
	10%以下		90%以上			

* 職業訓練大学校

の混合粉に粉末潤滑剤として0.8%のステアリン酸亜鉛を添加し、金型を用いて直径22mm高さ22mmの円柱状圧粉体成形した。成形は面圧6ton/cm²で両押し法で行った。成形密度は0.2% C鋼相当のもので6.90g/cm³、0.5% C鋼相当のもので6.95g/cm³であった。この円柱圧粉体をいったん大気中で450℃、30分間脱ろうしたあと、アンモニア分解ガス中で1150℃、30分間焼結して鍛造用ビレットとした。また、大気中で脱ろうを行ったため若干の脱炭があり、焼結ビレットの平均炭素濃度は、0.14%と0.42%であった。

2.2 鍛造

鍛造形状は図1に示すように、平滑ダイスによる自由すえ込みと、リダクション30%、50%、70%の後方押し出しの二種類とした。後方押し出しは、パンチの底が平らで、コーナ部にも特に大きな丸みは取らず0.1mm程度の面取りだけとした。

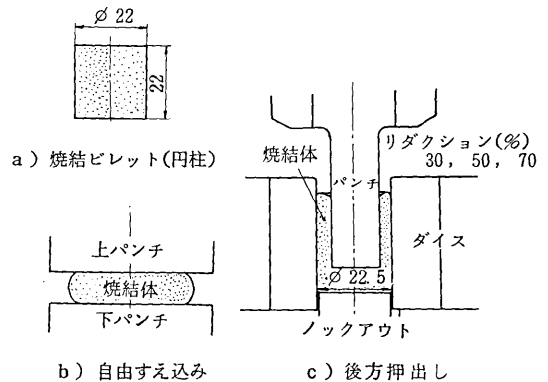


図1 実験における鍛造形式

鍛造温度は室温から1100℃の間で設定した。ビレットの再加熱はアンモニア分解ガス中で所定の温度に20分間保持して行った。また加熱温度の設定に際して、ビレットを炉から取り出して鍛造するまでに大気中で降下する温度も考慮した。

本来鍛造用の金型や潤滑剤は、鍛造条件に応じて変えるべきであるが、最適な条件が必ずしも明らかでないことと、実験条件を統一するために、鍛造温度によらず同一とした。金型は通常の冷間鍛造に用いられるもので、

研究速報

パンチとダイスには熱処理したSKD 11種を用いた。潤滑はグラファイトを水に溶いて金型に直接刷毛塗りした。また金型は特に加熱しなかった。鍛造プレスは公称能力100トンのマイプレスを用いた。鍛造荷重はトグルソングのたわみをダイヤルゲージで読み取り換算して求めた。

3. 結果および考察

3.1 自由すえ込み

0.14% C 焼結鋼と0.42% C 焼結鋼を室温から1000℃までの各温度で自由すえ込みしたときの限界すえ込み率を図2に示す。炭素含有量によって若干の差はあるが、限界すえ込み率は室温で約70%の最高値を示し、以後

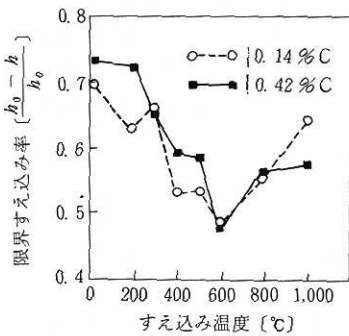


図2 焼結炭素鋼の各温度における限界すえ込み率

加工温度が高くなるとともに低下する。そしていったん600℃付近で約50%の最低値を示した後、さらに温度が高くなるとまた若干上昇する。しかし1000℃における限界すえ込み率は約60%で、室温での値には及ばない。この結果、焼結炭素鋼が200℃から400℃の温間加工領域で、熱間加工領域と同等もしくはそれ以上の限界すえ込み率を示すことが注目される。

すえ込み限界付近におけるビレットの外観を図3に示す。同図は0.14% C 焼結鋼の場合であるが、0.42% C の場合もほぼ同じ様相を呈す。すえ込み温度によって変

形状態に明らかな差が現われている。すなわち室温付近でビレットは殆んどパーレリングを起さず圧縮されているのに対し、加工温度が高くなるほどパーレリングが顕著になっている。一般に自由すえ込みにおけるパーレリングはビレットの上下面で変形が拘束されるため生ずるが、本実験における加工温度による差は次の二つの理由によるものと考えられる。一つは加工中パンチから冷却によりビレットの上下面近傍で変形抵抗が局部的に大きくなったこと、他は潤滑剤を同一にしたため、加工温度により、パンチとビレット間の摩擦状態が変化したことである。

以上のように、加工温度によって変形状態が異なるため、亀裂の発生状況にも顕著な差が見られる。室温から200℃付近までの加工温度では、亀裂は円周方向に対しほぼ45°傾斜した最大せん断応力の方向に生じているのに対し、600℃以上の範囲では、円周方向に対しほぼ直角に生じている。またその他の中間温度範囲では、両者の混合した中間的形態を示している。

3.2 後方押し出し

3.2.1 焼結炭素鋼の鍛造性

図4は焼結炭素鋼を室温から1100℃までの各温度で鍛造した後方押し出し製品(リダクション=50%)の外観である。0.14% C 焼結鋼の場合を図の上段に、また0.42% C 焼結鋼の場合を下段に示している。0.14% C 鋼の場合、室温から400℃の温度範囲で亀裂は全く生じないが、500℃から800℃にかけて円周方向に大きな亀裂が生じ、また1000℃以上の高温でも微小な亀裂が生ずる。0.42% C 鋼の場合も0.14% C 鋼の場合とほぼ同様の傾向を示すが、亀裂を生じない温度が200℃から500℃の範囲にあること、また室温で微小な亀裂を生ずること、そしてまた1000℃でもかなり大きな亀裂を生ずることなどが特徴となっている。

材料の鍛造性を単に製品に生ずる亀裂の状態で判定すれば、焼結炭素鋼の各温度における鍛造性は表2のようにになる。炭素含有量やリダクションの大きさによって若

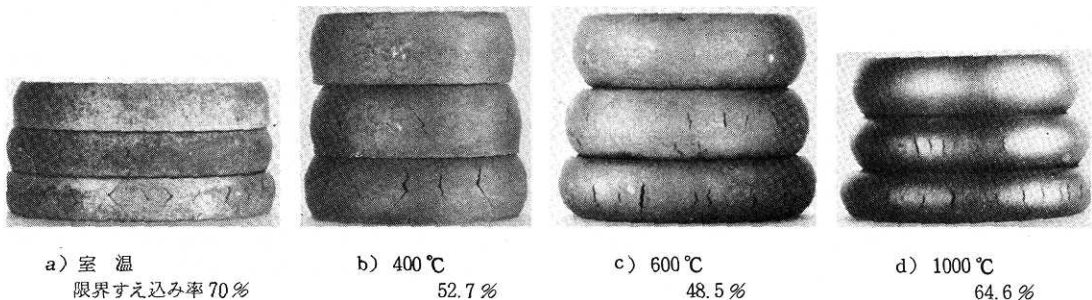


図3 0.14% C 焼結鋼の各温度におけるすえ込み限界

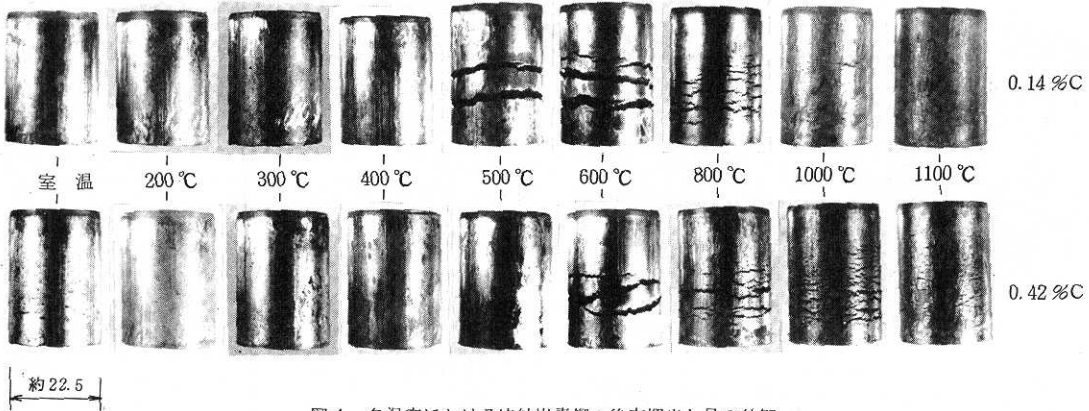


図4 各温度における焼結炭素鋼の後方押し出し品の外観

表2 各条件における後方押し出しの結果

ピレット	リダクション	鍛造温度(°C)								
		室温	200	300	400	500	600	800	1000	1100
0.14% C	30	○	○	○	○	○	×	×	△	△
	50	○	○	○	○	×	×	×	△	△
	70	○	○	○	○	△	×	△	○	○
0.42% C	50	△	○	○	○	○	×	×	△	△

○ き裂なし △ 微小き裂 × 大きなき裂

干の差はあるが、一般に焼結炭素鋼は1000°C以上の熱間領域よりも400°C以下の温間領域および冷間領域において良好な鍛造性を示す。これは既に述べた自由すえ込みの結果(図2)ともよく対応している。一方、500°Cないし600°Cにおいて非常に鍛造性が劣っているが、これは主に焼結炭素鋼の青熱脆性によるものと考えられる。青熱脆性は通常250°C付近で起こるとされているが、ひずみ速度が大きくなると高温側で起こるようになる。

3.2.2. 鍛造荷重

図5はリダクション50%の後方押し出しを行ったときの最高パンチ圧力の温度による変化を示したものである。焼結鋼の鍛造荷重も加工温度が高くなるとともに低下し、

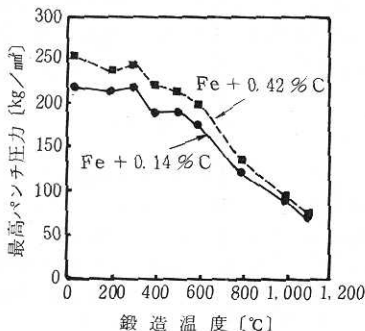


図5 各温度における最高鍛造荷重

1000°C以上の熱間領域では400°C以下の温間および冷間領域の半分以下に低下し、加工力だけから言えば熱間鍛造が冷間鍛造や温間鍛造よりはるかに有利である。また400°Cでの荷重低下は室温の約1割減程度でしかない。

3.2.2. 鍛造品の性質

図6に各温度で鍛造された焼結品(0.14% C)の平均密度を示す。密度はリダクションの大きいほど真密度に近い値になる。温間領域以上の鍛造品ではほぼ同一密度を示すが、冷間鍛造品はそれより若干低めの値となっている。

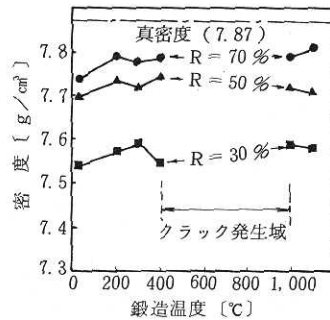
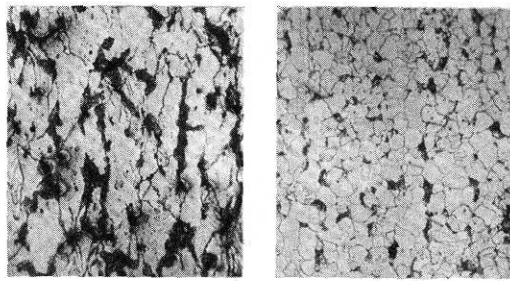


図6 後方押し出し品の平均密度 (0.14% C 焼結ピレット, 初期密度 6.89 g/cm³)

金属顕微鏡により各温度における鍛造品の材料流動を調べたところ、鍛造温度にかかわらず、押し出し先端部の数ミリを除いて、材料は良く流動しており、また空隙も殆んど残存していないことが確認された。ただし熱間鍛造品の組織と冷間および温間鍛造品の組織には図7に示すような顕著な差が見られる。すなわち400°C以下の温度では同図(a)で代表されるような繊維組織を示すのに対し、熱間では同図(b)のように再結晶によってパーライトおよびフェライトが細かく分散した組織を示している。

研究速報



a) 室温 b) 1000°C (鍛造後空冷)
0.1mm

図7 冷間及び熱間において後方押し出された製品の流動部(円筒部)中央の顕微鏡組織(0.14% C焼結鋼)

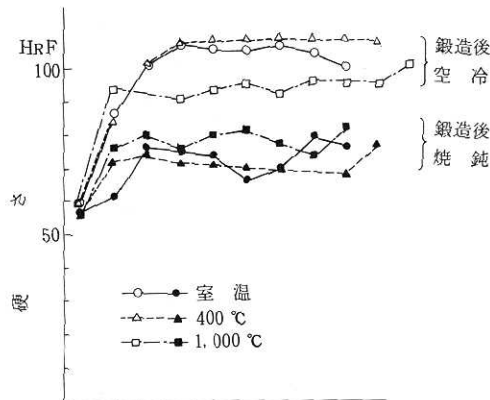


図8 後方押し出し品の硬度分布(0.14% C 焼結鋼, 焼鈍条件: 880°C, 1時間, アンモニア分解ガス中)

図8は冷間(室温), 温間(400°C), 熱間(1000°C)における鍛造品の硬度分布を示したものである。冷間と温間では同一の分布を示すが, 熱間では再結晶による軟化の影響で他より幾分低い硬度分布を示す。これらを880°Cで1時間焼鈍して加工硬化の影響を除いて比較すれば, 鍛造温度にかかわらず, ほぼ同一の分布を示す。したがって, 粉末鍛造品が鍛造温度にかかわらず同一の密度分布となっていることが類推される。

3.2.4 寸法精度

図9は押し出し後の外径寸法の変化を各加工温度に対して示したものである。ダイス穴径に対する押し出し品の外径寸法の収縮量は温度が高いほど大で, 熱間加工での収縮量は温間加工の約3倍となっている。また加工温度

に対する収縮量の変化率は温間領域(200°C~400°C)の方が熱間領域より小さいことから, 寸法精度を得るための温度管理は温間鍛造の方が熱間鍛造より容易であると言えよう。

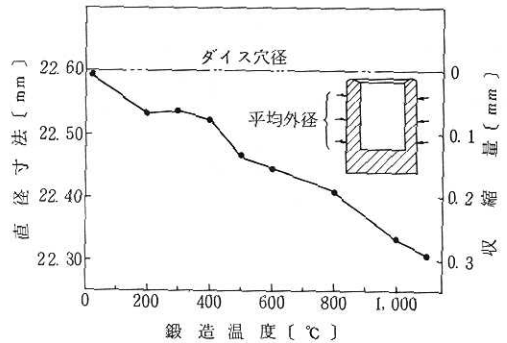


図9 各温度で後方押し出された製品の平均外径寸法(0.42% C 焼結ピレット)

4. あとがき

焼結炭素鋼の粉末鍛造に関して, 加工温度が鍛造性や製品の性質に及ぼす影響を調べた。その結果, 開放型の粉末鍛造の場合には, 焼結炭素鋼の塑性変形能からみて1000°C以上の熱間鍛造よりもむしろ400°C以下の冷・温間鍛造の方が亀裂を生じにくく有利と思われる。また得られた製品の機械的性質も鍛造温度による差は殆んどないことが推定された。しかしながら, 加工力の点ではやはり熱間鍛造の方が冷・温間鍛造よりはるかに小さく有利であると言える。また以上の結果から, 粉末熱間鍛造においては完全密閉型あるいは半密閉型の鍛造の方が容易であると言えるであろう。

5. 謝 辞

本研究を行うに当たり, 貴重なご意見とご討論をいただいた東京大学生産技術研究所中川助教授に厚く感謝致します。また実験の遂行に当り職業訓練大学の当時学生であった村山悦朗氏と現学生の篠木令三氏のご協力を感謝致します。
(1977年12月15日受理)

参 考 文 献

- 1) 中川・長瀬・土野: 昭和46年度粉体粉末冶金協会春季大会講演概要集, (1971), 48
- 2) Höneβ, H., Kramer, W., Raghupathi, P. S. & Wilky, H.: *Indust.-Anz.* 3-101 (1971), 2563
- 3) Singh, A. & Davies, R.: *Proc. 13th Int. M. T. D. R. Conf.* (1972)
- 4) 天野・中川: *生産研究* 25-10 (1973), 463
- 5) 田中・宮田・田中: *大阪府立工業技術研究所報告*, No. 69 (1976), 34