

焼結冷鍛の現状と将来

The Present Situation and Future Prospect of the Cold Forging of Sintered Preforms

天野 富 男*・中 川 威 雄*

Tomio AMANO and Tokeo NAKAGAWA

高密度高強度焼結機械部品製造法的手段として、最近開発されつつある焼結冷鍛法について、その特徴や現在未解決の重要問題ならびに将来の実用化への見通しなどについて、著者らのこれまでの研究をもとに述べてみた。

1. 粉末焼結部品の高密度化

最近金属粉末を圧縮成形し、焼結して機械部品などを製造する粉末冶金の分野において、高密度高強度焼結部品を製造する技術が急速に発展しつつある。粉末冶金法は複雑な形状の製品を精度よくほとんど後加工なしで大量生産でき、しかもほとんど材料損失が無いなど、経済的、技術的に多くの利点を有しているといわれている。

しかし同時に、焼結体は本来多孔質体であるため、一般の溶製材と比べて、引張強度、衝撃強度、疲労強度といった機械的性質の劣ることは否定できない。このような焼結部品の機械的性質の弱点を改善するには大別して二つの方法がある。一つは粉末自体の材質改善であり、他は焼結体の多孔性の除去である。前者の方法は合金元素を混合させ焼結時に強度の高い合金としたり、またはじめから粉末自体の強度が高い合金粉を使用したりして、焼結品の強度向上をはかるものである。この方法によれば、引張強度や硬度の高い材料が得られるので、実際にも大いに利用されているが、同時に伸び特性が低下するので衝撃強度や疲労強度のようなじん性の向上はそれほど期待できない。

焼結材のじん性が劣るのは圧粉体に付随した多孔質によるもので、これを改善するには、何らかの方法で空孔を埋めるか、高圧圧縮により空孔を押しつぶすかして密度上昇をはかる必要がある。

焼結後低融合金を溶かして空孔に浸み込ませる溶浸法が広く行われ強度向上に役立っているが、溶浸金属と母材粉末金属との合金化のため脆くなり、必ずしも十分なじん性が得られるとは限らない。

一方、焼結部品の密度を上昇させ、強度とじん性を同時に向上させるための工夫もこれまで幾つかなされてきた。その一つに圧粉体を高密度に成形する方法がある。それにはまず密度の高い成形体を得られる圧縮性の良好な粉末を選ぶことが考えられるが、この場合一般に原料粉の価格は高くなる。また、高圧力あるいは高速度で成形する方法もあるが単純な形状の場合とはかく、複雑

な形状を持つ型や、成形中に型の複雑な動きを伴う成形型の強度と速度を大幅にあげることは簡単ではない。

これに対して、工程数がふえるという欠点はあるが、粉末を通常の方法で成形し焼結したものを再圧縮し、さらに再焼結して密度上昇を計る方法も広く行われている。この再圧縮の工程は、サイジングあるいはコイニングと呼ばれ、普通常温で行われ、圧縮代はわずかなものであるが、密度も真密度の 90% 以上に上がり、じん性も向上する。さらにこれ以上密度を上げ真密度に近づける方法が焼結鍛造といわれる方法で、いったん焼結したピレットを鍛造して最終形状にするものである。

一般にこの方法は熱間で行われるので、比較的低い鍛造圧力でほとんど真密度に近いものが得られる利点があり、鉄系材料の高密度焼結部品製造法の本命とみられ注目されている。すでに一部では実用化され、実際の生産に用いられているが、いまのところ焼結前のピレットはほとんど最終形状に近いものを用い、鍛造時の形状変化は少ないものが多いので、鍛造というよりは熱間再圧縮あるいはホットコイニングと呼ぶべきものが多い。

2. 焼 結 冷 鍛

焼結体の熱間鍛造すなわち焼結熱鍛（一般に粉末鍛造と呼ばれている）が高密度焼結部品を得る方法として有効であるならば、当然冷間鍛造による方法も考えられよう。従来一般に焼結体は多孔質なため脆くて、大きな材料流動を伴うような塑性加工は、常温では不可能とされていた。しかしながら、たとえば純鉄粉焼結体のように比較的延性に富む焼結体などでは、常温すえ込み圧縮試験で大きな破断限界を示すことから、必ずしも焼結体の冷間加工が不可能とはいえない。筆者らは、このような観点から、焼結体の冷間鍛造（焼結冷鍛）を試みたわけで^{1)~5)}、以下この方法の特徴や問題点を紹介するとともに、将来への見通しについて述べてみたい。

使用した原料粉は国産のミルスケール還元純鉄粉（K IP 270）であり、通常の粉末成形プレスと型により図 1 のような最も単純な円柱形のピレットを製作した。焼結は 1150°C 1 時間アンモニア分解ガス中で行った。成形

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

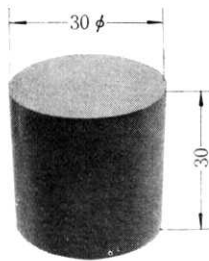


図1 純鉄粉焼結ビレット

(KIP 270, 成形面圧 6 ton/cm², 密度 6.8 g/cm³, 1150°C
1時間アンモニア分解ガス中で焼結)

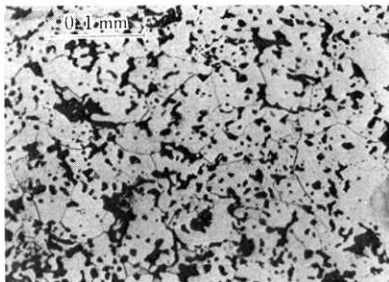


図2 純鉄粉焼結ビレットの縦断面顕微鏡組織
(成形面圧 6 ton/cm², 密度 6.8 g/cm³)

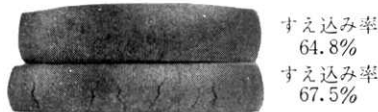


図3 平面工具(ラノリン潤滑)による純鉄粉
焼結ビレットのすえ込み破断(ビレット成形面圧 6 ton/cm²)

圧力は 4~8 ton/cm² で焼結後ビレット密度は 6.6~7.1 g/cm³ である。図2に成形面圧 6 ton/cm² の縦断面顕微鏡写真を示す。図中、黒い部分は空孔である。

冷間鍛造は通常のトグルプレスにて行い、潤滑も通常のリン酸塩被覆処理と金属石けん潤滑を用いたが、内部に浸透した液体を除去するため潤滑処理後、強制乾燥を行った。

図3は純鉄粉焼結ビレットを平面工具によりラノリン潤滑状態ですえ込み鍛造した例で、成形面圧 6 ton/cm² のビレットでは、すえ込み率が 65~67% のとき側面に割れが発生する。この値から推定すると、純鉄粉焼結ビレットは、球状化焼鈍を行った通常溶製材の S 45 C 相当の冷鍛性を有している。図4は同じビレットを各種の形状に冷鍛した例で、後方押し出し(a), 前方押し出し(b) 管押し出し(c), 複合押し出し(d), (e), など基本的なものばかりでなく、傘歯車まで冷間鍛造で成形可能であった。またこれらの密度も平均で 97~99% 以上になり非常に高密度になると同時にその分布も押し出し先端部のごくわずかの部分を除いては、ほぼ均一になっている。冷鍛品内部の材料流れも図5に示すように、非常に大きい。またこれに伴い材料の加工硬化も大きく特に材

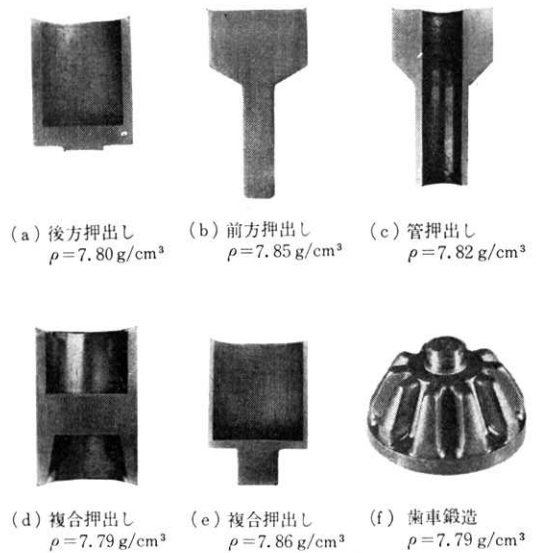


図4 純鉄粉焼結ビレットの冷鍛成巧例
(純鉄粉焼結ビレット使用, 成形面圧 6 ton/cm²)

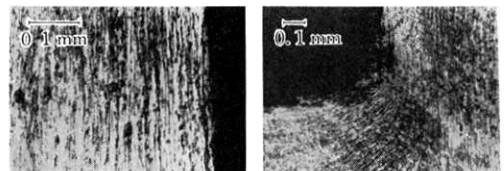


図5 後方押し出し品の材料流れ (ビレット成形面圧 6 ton/m², 減面率 64%, 平均密度 7.82 g/cm³)

料流れの大きな部分では素材ビレットの約3倍以上の硬度に達する。このように焼結冷鍛法によっても通常の冷間鍛造と大差ない結果の得られることが明らかとなった。

3. 焼結冷鍛の特徴

ここでは焼結冷鍛と競合すると考えられ既存の加工法すなわち、通常の粉末成形、焼結熱鍛それに通常の溶製材の冷間鍛造等と比較検討し、焼結冷鍛の利害得失を列挙してその特徴を明らかにしてみたい。

(1) 通常の粉末成形との比較

焼結冷鍛では、ほぼ真密度に近い製品が得られるため、多孔質な通常の焼結材に比べて、引張強度、衝撃強度、疲労強度などの機械的性質、また特に純鉄系などでは電磁気的特性の非常に優れたものが得られる。また高密度な材質となるため浸炭、窒化などの熱処理も施しやすくなる。また冷間鍛造でサイジング工程を兼ねることになるので、溶製材の冷間鍛造程度の寸法精度は得られる。また通常の粉末成形では強度的な問題から均一な密度を持った製品を要求されるため、圧粉時の圧力伝達が均一になるようにしなければならない。そのため成形形

状に多くの制約を受けており、成形不可能とされる形状や特殊な粉末成形プレスを必要とする場合があるが、この種のものでも焼結冷鍛では可能な場合が多い。

通常の粉末成形の場合、対象となる材質は非常に広範囲に選択することができるが、焼結冷鍛の場合は特に延性の大きな焼結材でないと冷間鍛造が困難であるため、鉄系の場合、せいぜい低合金鋼までで、それも球状化焼鈍を必要とする場合が多く、選択範囲が非常に狭められている。したがって機械的強度を要求されるようなものに対しては、浸炭などの熱処理を必要とする。

次に金型であるが、焼結冷鍛する場合の加工力は通常の溶製材の冷間鍛造とほぼ同程度なものになるので、構造的にも通常の冷間鍛造と同じ考え方が要求される。したがって、金型強度の面で通常の粉末成形では可能な複雑な形状は必ずしも容易ではなく厳しい制限がある。また金型寿命にしても同じ寸法精度が要求されれば、焼結冷鍛の場合にはかなり短いものとなるであろう。

(2) 焼結熱鍛との比較

焼結冷鍛は当然常温で行われるものであるから、焼結熱鍛の場合のように加熱が不要となるので、必然的に加熱設備は不要であるし、また加熱に伴って、ピレットを炉から取出して鍛造するまでの酸化防止の工夫といった困難な問題もなくなる。また、潤滑、型寿命、寸法精度、表面性状といったものも熱間よりは冷間の方が有利であるし、加工硬化による材料強度の向上も期待できる。

しかし一方では、焼結熱鍛の場合には対象の粉末を幅広く選択できるのに対し、焼結冷鍛の場合には既述のごとく大幅に制限される。また鍛造圧力も冷間と熱間では非常に大きな差があるため、型の強度を高めなくてはならず、複雑な形状を一工程で行うことはむずかしい。

(3) 通常の冷間鍛造との比較

焼結冷鍛は技術的な難かしさからいえば通常の冷間鍛造とほとんど変わらない。大きな違いは加工対象が粉末焼結材という点であり、このことから若干の利害得失が生ずる。焼結冷鍛の利点としては、複雑な製品形状でもピレット成形段階で最終製品とかなり近いものを用意できるので、工程の合理化が可能である。またピレット重量のバラツキは減少するので、バリの出ない密閉鍛造が可能となる。また生産工程の面からは焼結冷鍛の場合、

粉末→成形プレス→焼結→冷鍛プレス

といった一貫ラインの形成が可能であろう。

欠点としては、既に述べたように対象材料の範囲が延性の大きいものに限るため、材料選択範囲が通常の冷鍛のそれよりはさらに狭いものとなっていることである。さらに現時点では、粉末原料と焼結費が高価なため、同一形状と比較すると、通常の冷間鍛造の方がはるかに経済的である。しかし、これも後加工として多くの切削工

程を要する場合等は、焼結冷鍛の採用の余地も出てこよう。しかしなんといっても焼結冷鍛では粉末の予備成形の段階でかなりの形状まで成形しておき、冷鍛時に仕上げる方式をとると考えられるので、現在切削等の方法でなければ不可能な複雑な形状のものまでこの焼結冷鍛で製作できるのが特徴といえるであろう。

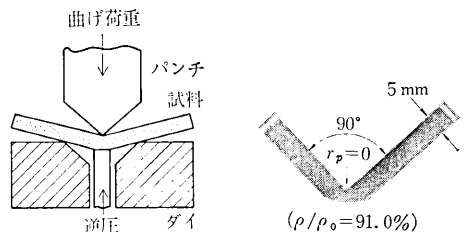
4. 焼結冷鍛の問題点と将来

まだ開発途上の焼結冷鍛法に対して、経済的にも技術的にも正しい評価を下すことは非常に困難なことであるが、著者らの経験により今後解決すべき問題点と将来への展望を行ってみたい。

本研究は従来から存在する溶製材の冷間鍛造方式を、そのまま焼結ピレットの冷鍛に適用したものである。素材の性質が変わればそれに応じた鍛造方式が開発されて然るべきものであるが、現状でもかなり成形できることは、技術的な面ではそれ程困難なものではないことを意味している。

焼結冷鍛のために開発しなければならないものの一つに潤滑方法であろう。ここで用いたリン酸塩被覆処理と金属石けんを用いたのでは、潤滑処理中に空孔内部に液が浸み込んで材質的に悪影響を及ぼすであろう。さらに予備焼結における温度、保持時間、雰囲気等も相当焼結を目的としたものとは異なった条件で最高の冷鍛性を示すであろう。特に鋼や合金鋼の焼結冷鍛では溶製材と同じく、球状化焼鈍と似た処理は必要となるであろう。さらに焼結ピレットの場合、材質のコントロールが溶製材に比べればはるかに容易であるので、冷鍛時までは合金化を押えて、延性を残しておくような特殊な焼結も考えられよう。

もし焼結冷鍛が材料の大きな塑性流動を伴わないとすれば、現在でも盛んに行われている冷間再圧縮における圧縮力を鍛造並の圧力に上昇させたに過ぎず、型を冷鍛のセンスで作れば可能となる。これなどは従来の再圧縮では密度が不十分で強度・じん性が不足したものにすぐにも適用できよう。さらにそのような高圧再圧縮において、塑性流動を伴った変形も同時に追加でき、より複雑な形状の成形が簡単となる。



(a) 逆圧付加精密曲げ (b) 純鉄粉焼結板材の逆圧付加精密曲げ
 図6 純鉄粉焼結板材の逆圧付加精密曲げ

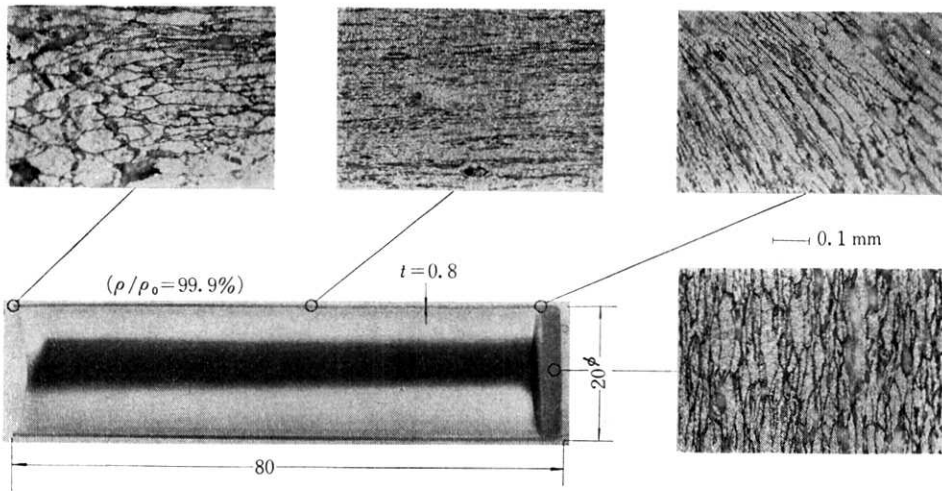


図7 アルミニウム粉末未焼結ピレットの直接後方押し製品とその顕微鏡組織
(ピレット成形面圧 4 ton/cm², 減面率 84.6%)

ここで実験を行ったような、円柱ピレットからカップを作るようなものが実用になる可能性は比較的少ないであろう。なんといっても溶製材の冷鍛より技術的にも少々困難であり、経済的にも不利であるから、結局は溶製材の冷鍛では困難な形状のものを予備成形を組合せることによって成形することとなる。そうすると焼結熱鍛で現実に行われているように、鍛造といっても再圧縮またはコイニングに近いものとなる可能性が強い訳である。

焼結冷鍛そのものでなく焼結材の常温での塑性変形が可能であったという観点でみると、この研究は将来重要な意味を持つように思われる。すでに冷鍛よりさらに技術的に困難と考えられる曲げ加工において、図6のように圧縮力を付加しながら曲げる方法が開発⁶⁾され、焼結材が見事に曲がっている。これなどもいかに脆いといわれる焼結材も圧縮力下では変形し得るという焼結冷鍛の経験が生かされている。さらに一部の材料では未焼結のままでも同様に変形することも明らかとなり、図7のように円柱ピレットからカップが成形されている⁷⁾。これなども焼結冷鍛の経験を生かして未知の分野に挑戦して成功したもので、従来の常識を変えたものであろう。

ごく最近では、日本ばかりでなく、西ドイツ⁸⁾、イギリス⁹⁾、など欧米諸外国でも本法に対する関心が高まり

つつあり、何らかの方面で実用化される日も遠くはないと思われる。

おわりに、本小文のうち、焼結冷鍛については三菱金属鋳業(株)中央研究所の斎藤雄一、小原邦夫、西野良夫諸氏と共同で行ったものであり、また諸実験に当っては東大生研長瀬正雄技官、宮本工業(株)前田由和、大島正己両氏の懇切な御協力を得たものである。

(1973年8月6日受理)

参考文献

- 1) 中川威雄, 長瀬正雄, 土野一清: 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) 中川威雄, 天野富男, 長瀬正雄, 小原邦夫, 西野良夫: (同上) 秋季大会講演概要集, (1971), 37
- 3) 中川威雄, 天野富男, 斎藤雄一, 小原邦夫, 西野良夫: (同上) (1971), 40
- 4) 天野富男, 中川威雄: 昭和47年度粉体粉末冶金協会春季大会講演概要集, (1972), 69
- 5) 中川威雄, 天野富男, 斎藤雄一, 小原邦夫, 西野良夫: (同上) (1972), 72
- 6) 中川威雄, V・チュプカ, 天野富男, 鈴木清: (同上) 秋季大会講演概要集, (1972),
- 7) 中川威雄, 天野富男, 長瀬正雄: (同上) 春季大会講演概要集, (1972), 75
- 8) H. Höness W. Krämer, P. S. Raghupathi, H. Wilky: INDUSTRIE-ANZEIGER, (1971), 2563
- 9) A. Singh, R. Daviess: 13th. M. T. D. R Conference (1972)