窒素添加焼結高速度鋼の開発

河合伸泰¹⁾、滝川 博²⁾、平野 稔³⁾

1. 緒 言

高速度鋼は超硬合金やセラミックスに比べて靱性や加工性が良好であり、切削工具、金型、圧延ロールなどに広く使用されている。

近年、金属材料の切削、塑性加工が自動化、高能率化され、難加工材料が増加するにともない、耐摩耗性と靱性を兼ねそなえた信頼性の高い、高性能高速度鋼の開発が要望されるようになった。このため高速度鋼の高合金化が必要であるが、合金元素の多量添加にともない巨大炭化物が生じるので、加工が困難となり、また靱性の劣化が著しい。このため鋼中の炭化物を微細化する技術の開発が行われてきた。当社は粉末冶金法に着目し、 N_2 ガス噴霧法により炭化物の微細な鋼粉の製造を行い、HIP(熱間静水圧プレス)により、真密度の健全な鋼塊を成形するプロセスを国内で初めて実用化した⁽¹⁾。

さらに、本プロセスの特徴を生かして新合金の開発を行い、多量のNを含有した全く新しい高性能高速度鋼を開発した^{(2)~(4)}。

以下に、N添加焼結高速度鋼の製造法、諸特性および応用例について紹介する。

2. 製 造 方 法

N添加焼結高速度鋼は図1に示す方法で製造される。高周波溶解炉で溶解した高速度鋼の溶湯を高圧 N_2 ガスで噴霧して、微細な炭化物組織を有する急冷凝固鋼粉を製造する。この鋼粉を N_2 雰囲気中で加熱してNを吸収させる。つぎに、この鋼粉を軟鋼製のカプセルに充填し、真空脱気密封後、HIPにより、真密度に成形する。得られたHIP鋼塊は通常の鍛造、圧延工程を経て、各種工具用素材に供される。

図1 窒素添加焼結高速度鋼の製造方法。

* 株式会社神戸製鋼所

1) 材料研究所新材料開発室室長 2) 材料研究所新材料開発室主任研究員 3) 材料研究所新材料開発室研究員
Development of Nitrogen Containing P/M High Speed Steels; N. Kawai, H. Takigawa, M. Hirano (Kobe Steel, Ltd.)
1986年1月31日受理

3. 開発経過およびN添加焼結高速度鋼の特徴

(1) 高速度鋼へのNの多量添加の検討

従来から、高速度鋼にNを添加することにより、結晶粒の微細化や析出物の形状制御が可能となり、材料特性が改善されることは知られていた⁽⁵⁾。しかし、窒化物の添加、あるいは N_2 雰囲気での加圧溶解により溶鋼中へ多量のNを添加することは困難であり、従来の溶解法では実用化されていなかった。新しく開発した粉末冶金法では高速度鋼へのNの多量添加が容易であることを見出した。これは粉末の比表面積が極めて大きいために、ガスとの反応面積が大きく、かつ粉末の粒子径が小さいので粒子表面から中心部までのNの拡散距離が短いことを利用したものである。一例として、V含有量の異なる高速度鋼粉を 1150°C -1気圧の N_2 雰囲気中でN化处理した場合のNとVとの関係を図2に示す。NとVの間には直線関係があり、1wt%V(以下、%はwt%を示す)当たり、約0.2%のNを吸収することが判明した。また析出物をX線回折した結果、吸収されたNは、ほとんどVの炭窒化物(MX)として存在することが分かった。さらに、N化温度、N化時間、粉末粒子径など、N化挙動に及ぼす種々の要因を研究し、高速度鋼へ添加するN量の制御技術を確立した。

図2 高速度鋼粉へのN吸収量に及ぼすV量の影響。

† KHA3VN : 0.6%C-0.6%N-4%Cr-3%Mo-3.5%W-3%V
KHA33N : 0.95%C-0.6%N-4%Cr-6%Mo-6%W-3.5%V
KHA5HN : 1.7%C-0.4%N-4%Cr-9%Mo-12%W-5%V-12%Co
KHA7NH : 1.9%C-0.5%N-4%Cr-6%Mo-6%W-7.5%V-8%Co

(2) 高速度鋼の諸特性に及ぼすNの影響

予備実験により、高速度鋼にNを多量添加すると、特性は向上するが、焼き入れ時の残留オーステナイトの増加、靱性の低下などが生じることが判明した。この問題を解決するため、高速度鋼中のCをNで置換する研究を行なった。ここでは、Mod. SKH53 (1.35% C-4% Cr-6% W-6% Mo-3.5% V 鋼) のCをNで置換した高速度鋼の諸特性に及ぼすNの影響について述べる。

N/Cを変えた高速度鋼の焼き入れ状態における析出物の分布状態を図3に示す。N添加材の析出物はN無添加材 (1.35% C-0.04% N) に比べて著しく微細化されている。この焼き入れ状態の顕微鏡写真から QTM を用いて MX 炭窒化物および W, Mo 系の M_6C 炭化物の含有量を定量分析した結果を図4に示す。N量 (N/C) が増加するにしたがい MX 炭窒化物が増加し、一方、 M_6C は 0.6% N を最高に、それ以上では低下する。0.6% N 鋼はN無添加材の 1.5 倍の析出物量を持ち、耐摩耗性も向上することを大越式摩耗試験で確認した。

焼きもどし状態での硬さ、抗折力およびシャルピー衝撃値を図5に示す。硬さは 0.2-0.6% N の範囲でN無添加材より高い。抗折力、衝撃値はともにCをNで置換することにより、析出物が微細化するために向上する。

図3 窒素添加焼結高速度鋼の顕微鏡組織 (村上試験薬腐食)。

図4 窒素添加焼結高速度鋼の1次析出物の面積率。

図5 熱処理硬さと靱性におよぼす窒素含有量の影響。

図6 断続切削試験結果。
切削速度: 20 m/min
相手材: SNCM 439 (HRC 42)
無潤滑

つぎに、低合金鋼 (SNCM 439) をバイトで断続切削した時の結果を図6に示す。クレーター摩耗 (凝着摩耗) はN量の増加とともに減少する。一方、一定のフランク摩耗 ($V_{B \max} = 0.6$ mm) に達する衝撃回数で比較した場合、0.6% N で最大値を示す。以上の結果、各特性がうまくバランスのとれた 0.6% N 鋼 (KHA33N) を開発した。

(3) 高硬度高靱性N添加焼結高速度鋼の合金開発

現在までに規格化された鋼種 (JIS および AISI) のW当量 (W% + 2Mo%) とV量の関係を図7に示す。本図から、現用高速度鋼は 18% W 当量 - 2% V を中心に3種の直線上に分布していることがわかる。図中の点線より右上は、従来の溶解法では製造不可能とされている高合

図7 現用鋼種のW当量およびV量。

図8 抗折試験結果。

図9 衝撃試験結果。

金高速度鋼の範囲であり、ここでは加工が困難で、また靱性の低下が著しい。この問題を解決するため、微細な析出物を持つ KHA33N の高合金化の研究を行い、CをNで置換した高合金焼結高速度鋼(KHA5NH, KHA7NH)を開発した。これらの高速度鋼は図8に示すように、超硬合金に匹敵する HRC70 以上の高硬度で、抗折力が 250 kgf/mm² 以上の優れた靱性を持つ。実際に、エンドミル切削試験(相手材:SKD 61)において、KHA5NH は超硬合金と同等の耐摩耗性を有することを確認した。

また、冷間鍛造用としては高靱性で、耐摩耗性に優れた工具材料が要望されており、この要求に適した KHA3VN を開発した。この高速度鋼は 1μm 以下の微細な析出物を有するため、図9に示すように衝撃値は 6 kgf/cm² 以上で、汎用のセミ高速度鋼や SKH51 よりも優れた靱性を示す。また、大越式摩耗試験の結果から、上記の2鋼種より優れた耐摩耗性を示すことを確認した。

4. 実績と将来性

N添加焼結高速度鋼は切削工具(エンドミル、ホブ、ビニオンカッター等)をはじめ、冷間ホーミングロール、冷間圧延ワークロール、冷間金型用として実用化されている。とくに KHA33N は耐凝着摩耗性に優れるため、クレーター部を再研削して使用するホブ、ビニオンカッター等の TiN コーティング切削工具の母材として優れた性能を発揮する。さらに高硬度高靱性で耐焼付き性に優れるため冷間金型への需要が増大している。

N添加焼結高速度鋼は従来にない優れた特性を有するので、焼結高速度鋼の需要の多い米国からも注目され、輸出されている。

5. 特 許

窒素添加焼結高速度鋼の特許は、製造方法および合金組成に関するものについて、国内特許を 21 件出願し、現在 7 件が成立している(例えば、登録番号 1102199, 1176339, 1236594 等)。外国特許(米国、イギリス、西独、スウェーデン)は 5 件出願し、現在、3 件が成立している。

文 献

- (1) H. Takigawa, H. Manto, N. Kawai and K. Honma: Powder Metallurgy, (1981), No.4, 196.
- (2) 湯河 透, 河合伸泰, 本間克彦, 滝川 博, 平野 稔, 立野常男: 日本金属学会講演概要, (1977・10月), 273.
- (3) 河合伸泰, 本間克彦, 滝川 博, 平野 稔, 立野常男, 森本暁明: 鉄と鋼, **63**(1977), No.4, 196.
- (4) M. Hirano and N. Kawai: Modern Development in Powder Met., **17**(1985), 385.
- (5) G. Steven, J.J. Hauser, T.A. Neumeyer and J.M. Capenos: Trans. ASM, **62**(1969), 198.