# 분말공구강 재료의 개발현황과 전망

**정 형 식**

(소재성형실장)

'70 서울대학교 공과대학 금속공학과 졸업
'77 미국 Drexel대학교 금속공학과 졸업(박사)
'78－'80 미국 Pfizer Inc., 선임연구원
'80－'85 미국 United Technologies, 선임연구원
'85－現 한국기계연구소 책임연구원

**김 용 진**

(소재성형실 연구원)

'83. 2 경북대학교 금속공학과 졸업
'85. 2 경북대학교 대학원 금속공학과 졸업
'87－現 한국기계연구소 연구원


## 1. 머리말

공구강 재료는 우수한 기계적 성질 및 내마모 특성으로 인하여 각종 절삭 공구, 금형, 내마모 부품의 소재로 널리 사용되고 있다. 현재 사용되고 있는 대부분의 공구강 제품은 용해 주조후 기계적 가공에 의해 제조되고 있으나 이 방법에 의해 제조된 공구류는 용해 주조법(I/M법)이 가지는 단점, 즉 주조시의 편석으로 인한 내부조직의 불균일성, 조대한 입도 분포, 방향성 등으로 공구의 필수적 요구 성질인 내마모, 인성등의 개선에 한계성이 있으며 열처리시 제품의 변형 및 기타 결함의 원인이 되고 있다.

이러한 I/M법이 가지는 문제점을 개선하기 위해 1960년대 말 분말야금법(P/M법)에 의한 공구강 제조 공정에 대한 연구가 시작되었으며 1970년대 공구강 분말의 제조공정 및 고밀도화 소결기술의 개발로 기존의 I/M법에 의한 공구강 보다 우수한 특성의 재료를 개발할 수 있어 공구재료의 진보에 커다란 역할을 할 수 있었다. 1980년대 스웨덴, 미국, 영국, 일본 등 선진국에서 실용화와 함께 보다 경제적인 제조 공정 및 새로운 합금개발을 위해 많은 연구가 진행되고 있다.[1-3]

최근 국내 각종 공작기계의 자동화, 고속화등에 따른 고기능성 금형 및 절삭 공구의 수요가 증가함에 따라 분말공구강에 대한 수요도 급격히 증가하고 있다. 본 글에서는 현재까지 개발된 분말 공구강 재료의 제조 공정 및 그 응용 현황과 앞으로의 전망에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 분말공구강의 제조공정 개발현황

P/M법에 의한 공구강 제조공정은 사용 분말의

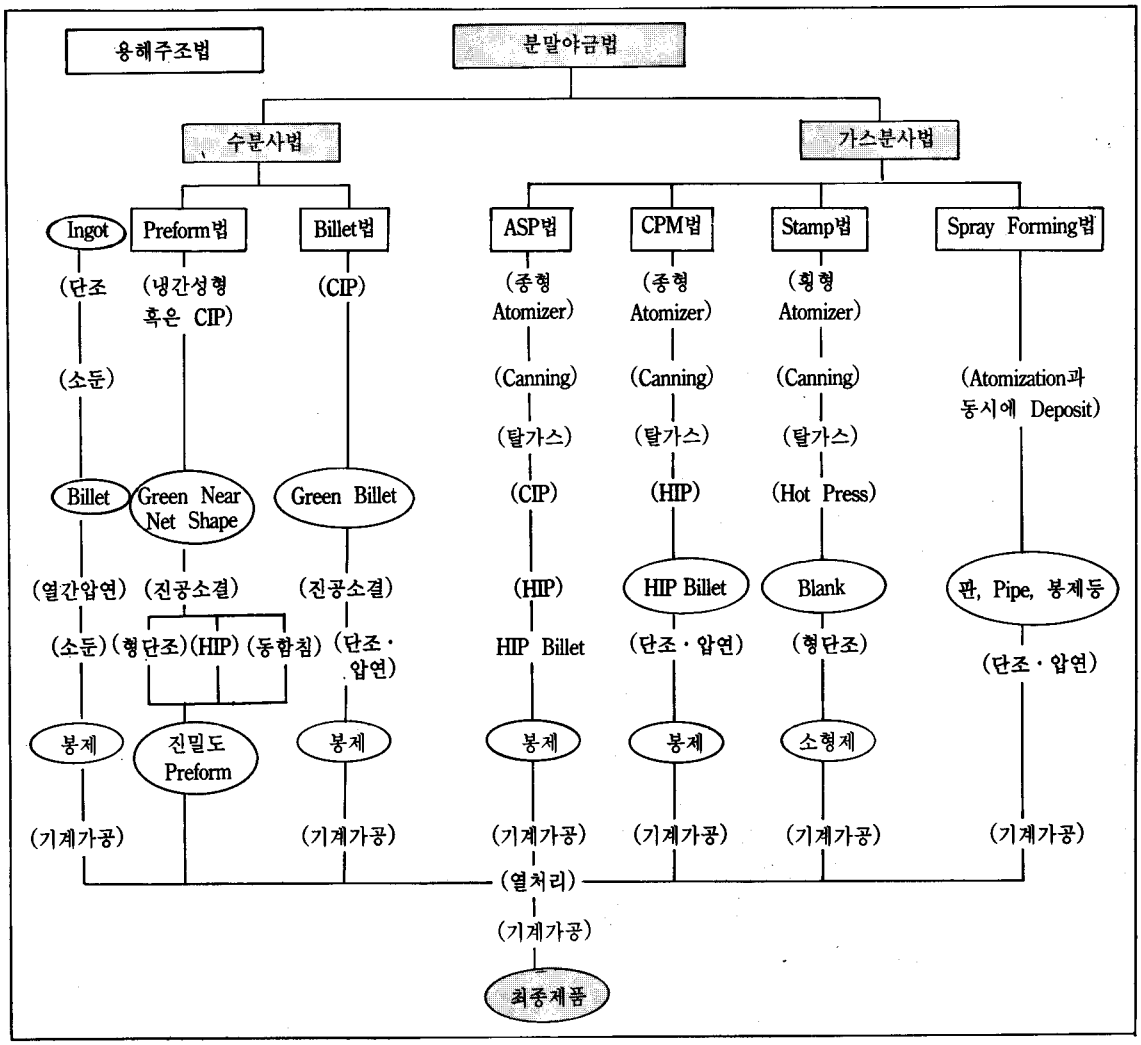



그림 1) 각종 공구강의 제조공정

종류에 따라, 목적하는 제품의 용도 및 특성에 따라 각기 다른 제조 공정이 개발 사용되고 있다.

그림 1은 지금까지 개발 사용되고 있는 P/M법에 의한 공구강 제조공정과 I/M법에 의한 공구강 제조공정을 도식화한 것이다.[4]

현재 가장 널리 사용되고 있는 I/M법은 각종 Scrap, 합금원소를 용해 주조후 주조시의 편석 및 Carbide Network등과 같은 결함을 제거하기 위한 고온 단조, 압연등의 일련 공정을 거쳐 제조되고 있거나 미세 Carbide 조직을 얻기 위한 ESR 공정등 고에너지 소비 공정을 이용하고 있다.

반면에 P/M법에 의한 공구강 제조공정은 I/M법과는 달리 물 및 가스분사법에 의해 $10^2-10^5$ K/sec의 빠른 속도로 응고된 금속분말을 원재료로 사용하기 때문에 재료 내부의 편석이 거의 없으며 분말의 제조공정에 따라, 최종제품의 용도에 따라 제조공정이 달라진다.

분말제조공정은 크게 수분사공정(Water Atomization Process)과 가스분사공정(Gas Atomization Process)으로 구분할 수 있는데 수분사공정에 의해 제조된 분말은 불규칙형상(그림 3-a)에 의한 좋은 성형성을 가지기 때문에 분말성형 프레스나 CIP

(a) 용탕주입

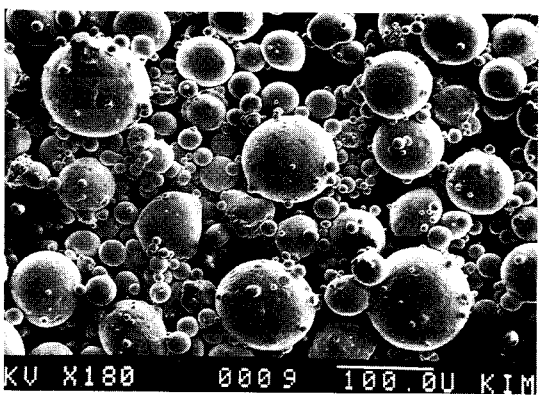
(b) 가스분사

그림 2) 가스분사에 의한 분말제조

(Cold Isostatic Press)로 각종 부품이나 Billet 형상으로 성형한 후 진공소결을 한다. 진공소결된 제품은 필요에 따라 단조, 가압 등에 의해 고밀도화를 한 후 열처리, 사용된다.

가스분사공정에 의해 제조된 분말은 구형의

(a) 수분사분말(M2)



(b) 가스분사분말(M2)

그림 3) 수 및 가스분사분말의 형상

분말 형상(그림 3-b)을 갖고 성형성이 좋지 않으므로 HIP(Hot Isostatic Press), Hot Press, Extrusion등에 의한 고온 성형 후 단조, 압연의 고밀도화 혹은 후가공공정을 거쳐 제조된다.[6]

최근 개발 중인 공정으로는 Spray Forming 공정, 금속사출성형공정, 분말압연공정, 기계적 합금화 공정 등이 있다.

Spray Forming(혹은 Controlled Deposition Process) 공정은 기존의 분말 제조, 성형 및 소결, 고밀도화공정과는 달리 분말제조와 동시에 반응 고상태의 분말이 판, 봉 등의 특정 형태로 Deposition되어 미세균일조직의 중간 제품을 제조하는 공정이다.

금속사출성형공정은 각종 소형부품을 대량 생산하기 위하여 특정형상의 금형에 사출공정으로 성형 후 소결, 후처리하여 내마모 소형 부품을 제조한다.

분말압연공정을 이용한 공구박판제조는 분말압연에 의해 판재를 성형한 후 소결, 냉간압연, 소둔 등의 공정을 거쳐 제조되는데 각종 기계 및 손톱날 등의 박판용 공구에 사용될 수 있으며 기존의 박판공구에 비해 품질의 안정성 및 공구수명의 연장, 예측등이 기대된다.

기계적 합금화 공정개발은 공구강 분말에 각종 산화물, 탄화물 등을 Ball Milling 등의 기계적 에너지로 합금화시켜 기존의 분말공구강에 비해 내열, 내마모특성이 우수한 재료를 개발하기 위한 공정이다.

## 3. 분말공구강의 특성 및 응용현황

분말공구강은 I/M법에 의해 제조된 공구강에 비해 다음과 같은 우수한 특성을 가지고 있다.

- 편석이 없고 균일 미세한 조직을 가진다.
- 미세한 탄화물과 결정립에 의해 인성이 높고 피연삭성이 양호하며 열처리 변형이 적고 안정된 성능을 가진다.
- 열간가공성이 좋아 고합금화가 가능하며 우수한 내마모특성을 가진다.

이상의 특성을 가진 분말공구강이 각종 절삭공구에서 차지하는 특성상의 위치는 그림 4와 같다.

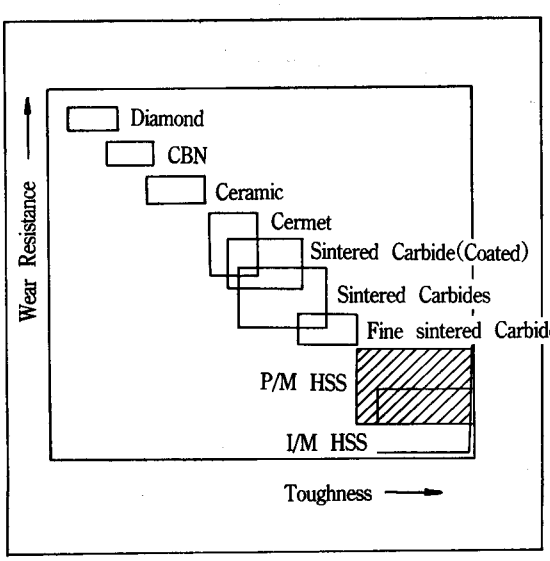
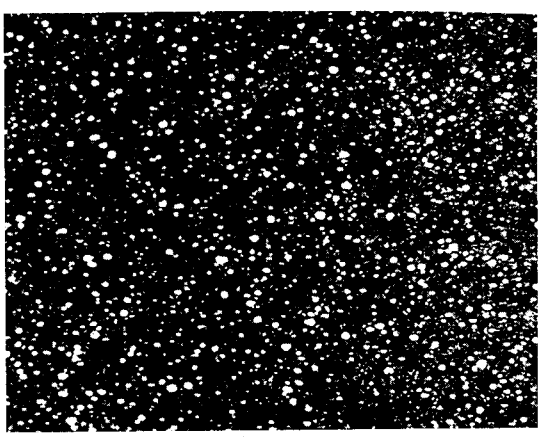



그림 4) 각종 절삭공구에서 분말 공구강의 위치

그림 5는 I/M제 공구강과 P/M제 공구강의 열처리 후 탄화물 조직을 나타낸 것으로 I/M제의 경우, 압연 등에 의한 방향성과 조대한 탄화물을 나타내고 있지만 P/M공구강의 경우 매우 미세한 탄화물이 균일하게 분포되어 있음을 알수 있다.

(a) I/M제 공구강



(b) P/M 공구강

그림 5) I/M 및 P/M 공구강의 열처리 후 탄화물 조직

그림 6은 미국 Crucible사의 고 V강의 내마모특성을 I/M제 공구강과 비교한 것으로 M2나 M4 공구강에 비해 탁월한 내마모특성을 나타내고 있다.

이외 I/M법과 최종제품 제조를 위한 원재료의 손실량은 I/M법의 경우 주조 및 고온 가공에 의해 약 50%의 손실이 있지만 P/M법의 경우 약 25% (Billet 제조시)로 그 손실량이 상대적으로 매우

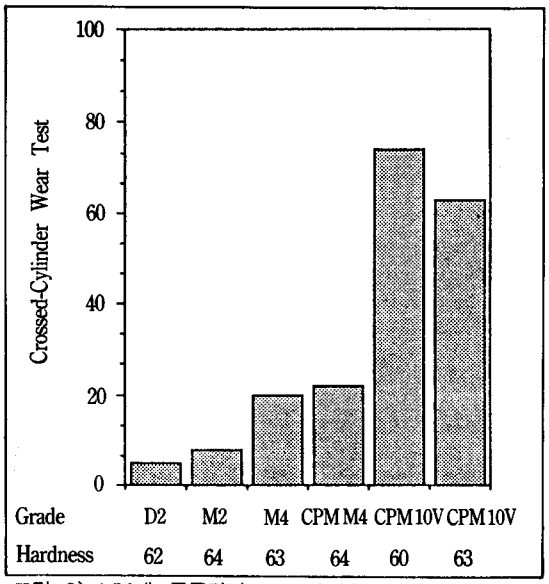



그림 6) I/M제 공구강과 CPM계 분말 공구강의 내마모 특성 비교

적다.

분말공구강을 수요로 하는 금형, 공구업계의 동향 및 재료의 요구특성을 정리하면 표 1과 같다.

금형 및 공구재료로서의 요구특성은 크게 인성, 강도, 내마모성 및 균일성으로 구분 할 수 있는데 분말공구강의 특성을 위 특성과 관련 요약하면 다음과 같다.

- 인성－초경재료나 일반 공구강보다 우수함
- 강도－각종 합금원소의 첨가에 의한 초경재료와 비슷한 수준의 경도
- 내마모성－다량의 탄화물에 의한 우수한 내마모특성
- 균일성－미세, 균일한 탄화물에 의한 품질의 안정성

분말공구강의 세부적응용 현황은 표 2와 같다.

냉간가공용공구로서 단조, 압출금형 등 고내마모성을 요구하는 금형에 주로 사용되며 압연롤

표1) 공구강 수요업계의 동향과 재료의 요구특성[7]

| | 제품동향 | 제품요구특성 | 재료요구특성 |
|---|---|---|---|
| 금형 | | | |
| 형상 | 복잡화 | 인성, 강도 | 고인성, 내구성 |
| | 정밀화 | 인성 | |
| | 분할화 | 강도, 내마모성 | |
| 사용조건 | 고부하화 | 강도, 내피로 | 고강도, 내피로 균일성 |
| | 고속화 | 내피로 | |
| | 자동화 | 균일성 | |
| 피가공재 | 수지화 | 경면성 | 고강도 내마모 미세조직 |
| | 고강력화 | 강도, 내피로 | |
| | SUS화 | 내소삭(seizing), 강도 | |
| 절삭공구 | | | |
| 사용조건 | 자동화 | 균일성 | 고강도, 균일, 미세조직 |
| | 고속화 | 강도 | |
| | NC화 | 균일성 | |

표2) 분말공구강의 응용현황[2)]

| 용 도 | 제 품 |
|---|---|
| 냉간가공용 공 구 | 타발용펀치, Die, 프레스금형, 냉간압출금형, 냉간단조금형, 파인브랭킹금형, 분말성형금형, 볼트 너트용금형, 다이캐스팅금형 등 |
| Roll | 압연 Roll, Forming Roll |
| 절단 공구 | Slitter, 가위, 각종기계 및 손 톱날 |
| 절삭 공구 | 엔드밀, 부로치, 호브, 밀링커터, 리머, 탭, 바이트, 드릴 |
| 소결 부품 | 캠링, 밸브시트, 로크암칩 등 |

및 각종 톱날 그리고 엔드밀 등 기존의 모든 절삭공구에 응용할 수 있으며 캠링, 밸브시트 등 Near Net Shape의 소결 내마모부품제조에 사용

그림 7) 분말공구강을 사용한 제품 예

표3) 분말공구강(ASP23)과 I/M제 공구강(D2)의 경제성 비교

Tool description/production material : rack－St 80－600 N/mm$^2$

Run : 3,000,000

Material gauge : 3.0 mm

Stroke : 40/min

Press force : 130 t

| Tool Material | Hardness HRC | Tool life/regrind | Number of regrinds | Tool life pcs/total |
|---|---|---|---|---|
| D2 | 59 | 80000 (0.6 mm wear mark) | 5 | 400000 |
| ASP 23 | 62 | 170000 (0.2 mm wear mark) | 15 | 2550000 |

Scope for regrinding : max 3.0 mm

| Cost saving | Mat. AISI D2 £ | ASP 23 £ |
|---|---|---|
| Manufacturing costs of tool | 1000 | 1100 |
| Material | 10 | 25 |
| Cost of tool | 1010 | 1125 |
| Cost of tool changing and regrinding | 120 | 120 |
| Total costs of tool changing and regrinding | 5×120=600 | 15×120=1800 |
| Total costs of tool during service life | 1610 | 2925 |
| Costs per workpiece | 0.004 | 0.001 |
| Cost saving per workpiece | | 0.003 |
| Cost saving per hour | | 2400×0.003=7.20 |
| Cost saving for entire run | | 3,000,000×0.003=£9.000 |

표4) Projected value of metal powder consumption in North American market to 2000

| | Value, million $ | | | Annual growth, % | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1977 | 1988 | 2000 | 1977−1988 | 1988−2000 |
| Total powder consumption | 673.0 | 1121.4 | 3487.5 | 4.75 | 9.92 |
| Aluminium powder, paste, and flake | 81.0 | 157.3 | 515.0 | 6.22 | 10.39 |
| Copper and copper alloy | 65.1 | 76.8 | 200.0 | 1.51 | 8.30 |
| Iron and steel | 89.0 | 177.5 | 650.0 | 6.48 | 11.42 |
| Molybdenum | 36.7 | 84.1 | 230.0 | 7.83 | 8.75 |
| Nickel | 57.3 | 92.5 | 217.5 | 4.45 | 7.38 |
| Stainless steel | 5.0 | 11.1 | 31.5 | 7.52 | 9.08 |
| Tool steel | 12.5 | 37.5 | 125.0 | 10.50 | 10.55 |
| Tin | 16.1 | 11.8 | 30.0 | −2.80 | 8.12 |
| Tungsten | 87.8 | 42.2 | 100.0 | −6.44 | 7.45 |
| Tungsten carbide | 100.5 | 93.3 | 175.0 | −0.67 | 5.38 |
| Other metal powders | 122.0 | 362.3 | 1213.5 | 10.40 | 10.60 |

된다.

경제적인 측면에 있어서는 분말공구강은 제조공정상 기존의 I/M제 공구강 보다 불리하지만 공구수명에 있어서는 매우 우수하기 때문에 최종제품에 대한 경제성은 큰 잇점을 가진다.

그 예로 현재 분말공구강의 최대 제조회사인 스웨덴의 Uddeholm AB사의 ASP23분말 공구강과 I/M제 공구강인 D2(AISI 분류)의 경제성을 비교해 보면 표3과 같다.[8]

## 4. 앞으로의 전망

앞에서 살펴 본 바와 같이 분말공구강은 일반 공구강보다 우수한 특성을 가지고 있지만 지금까지 그 활용도가 극히 제한되었다. 이는 분말야금법이 가지는 가장 큰 단점인 재료내부의 기공을 소멸시키기 위한 고밀도화 공정의 비경제성, 관련 장비에 의한 대량생산의 한계성 등에 의한 것으로 최근 보다 경제적인 공정개발을 위한 Sinter-Hip, 연속진공로 등의 첨단장비의 개발 및 제조공정의 단순화, 대형화, 자동화에 의한 생산성향상으로 이러한 문제점을 해결하고 있으며 그 수요도 급격히 증가하고 있다.

표4는 현재 전 세계 분말시장의 50% 이상을 점유하는 북미에서의 각종 분말별 소비량 및 앞으로의 예측을 나타낸 것으로 공구강 분말의 수요증가는 지난 10년간 연 10% 이상으로 가장 높은 증가를 보였으며 2000년 까지도 연 10%이상의 고성장을 예측하고 있다.[9]

또한 지금까지의 국내 분말공구강재료의 수요는 내마모금형부품 위주의 제한적인 활용에 그치고 있었지만 최근 관련공구 제조사에서 분말공구강을 스웨덴, 일본에서 수입, 엔드밀을 개발 상품화함으로서 그 수요의 급격한 증가 및 다양한 활용이 예상된다.

## 5. 맺음말

지금까지 분말공구강의 제조공정, 특성 및 응용현황과 앞으로의 전망에 대해 알아보았다. 선진국의 경우 분말공구강과 같은 고부가가치강의 수요증가로 분말야금공정에 있어서도 고밀도화공정 등의 개발로 다양하고 우수한 특성의 제품을 실용화하고 있지만 국내는 관련 제품의 꾸준한 수요 증가로 이에 대한 관심은 점차 높아지고 있으나 그 연구 및 기술수준은 실험실규모의 부분적 기초기술에 머무르고 있다.

따라서 관련 제조기술의 개발 및 상품화로 현재

전량 수입에 의존하고 있는 분말공구강 재료의 국산화와 이를 이용한 각종 공구제조 회사의 요구에 맞춰 다양한 특성의 분말공구재료를 개발, 실용화에 힘쓰야 할것이다.

## 참고문헌


[1] Metals Handbook Vol. 7, 9th Ed, ASME

[2] 德山 幸夫 : 特殊鋼 Vol. 39, No. 7(1990) 29

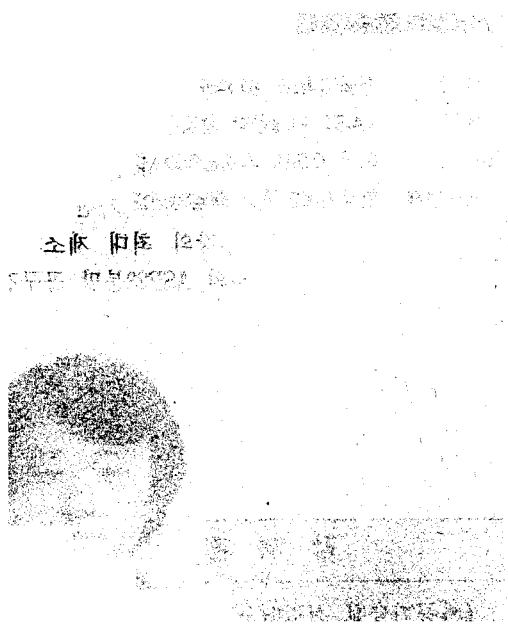
[3] Ellis J Zickefoose : Met. Powder Rep. Vol. 37, No. 4 (1983) 213

[4] 鎌田 善仁 : 特殊鋼 Vol. 29, No. 1(1985) 51

[5] Ickenson, Waker : Met. Powder Rp. Vol. 35, No. 1 (1980) 18

[6] Beiss. P : Met. Powder Rep. Vol. 37, No. 4(1983) 185

[7] 吉谷悟 : 特殊鋼 Vol. 29, No. 7(1990) 43

[8] ASSB Special Steel Brochure

[9] Keith Wakelam : Powder Metallurgy. Vol. 33, No. 2 (1990) 91