



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0117540
(43) 공개일자 2013년10월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B22F 3/105 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0040459

(22) 출원일자 2012년04월18일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

안인섭

경상남도 진주시 이현동 웰가아파트 106동 1501호

권영삼

서울특별시 강남구 대치동 은마아파트 30동 1006호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인태백

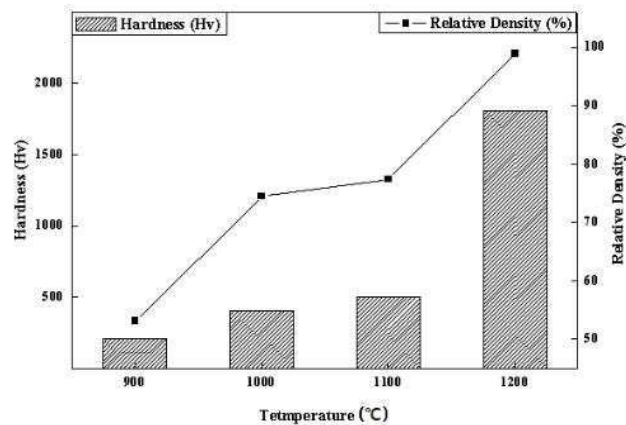
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법 및 이에 의해 제조된 소결체

(57) 요약

본 발명은 텅스텐카바이드(WC) 분말 및 코발트(Co) 분말을 포함하는 혼합분말을 소결온도 1150 내지 1250℃에서 방전 플라즈마소결법에 의해 소결처리하는 단계를 포함하는 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법 및 상기 제조방법에 의해 제조된 소결체에 관한 것으로, 본 발명의 제조방법에 의할 때 저온소결 및 짧은 공정시간 등으로 인해 종래의 소결법 (HP, HIP)과 비교하여 1/2~1/5의 경제적 효과뿐만 아니라 입자성장 억제에 의해 상대밀도 97%, 경도 1800Hv 등 우수한 기계적 성질을 나타내며, 높은 압력과 가열을 동시에 가할 수 있어 한 번의 소결로 소결체를 제조할 수 있기에 소결과 성형을 동시에 함으로써 공정의 간소화를 기할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김혜성

경상남도 진주시 상대1동 479-1번지

조권구

경상남도 진주시 평거동 들말한보아파트 105동 20
7호

박동욱

경상남도 하동군 고전면 성천리 1065 번지

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 03-2011-0227

부처명 교육과학기술부

연구사업명 지역혁신 인력양성사업

연구과제명 내마모 절삭공구소재 제조기술의 고효율화를 위한 사출성형공정의 개발 (3차년도)

주관기관 한국연구재단

연구기간 2011.05.01 ~ 2012.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

텅스텐카바이드(WC) 분말 및 코발트(Co) 분말을 포함하는 혼합분말을 소결온도 1150 내지 1250℃에서 방전 플라즈마소결법에 의해 소결처리하는 단계를 포함하는 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 혼합분말 100 중량부에 대하여, 텅스텐카바이드 분말 75 내지 95 중량부 및 코발트 분말 5 내지 25 중량부를 포함하는, 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 혼합분말 100 중량부에 대하여, 텅스텐카바이드 분말 85 내지 95 중량부 및 코발트 분말 5 내지 15 중량부를 방전 플라즈마 소결 시스템 챔버에 투입하는 단계; 및

흑연 몰드를 사용하며 소결온도 1150 내지 1250℃, 승온속도 90 내지 110℃/min, 유지시간 5 내지 15분 및 압력 200 내지 400MPa로 하여, 상기 분말을 소결처리하는 단계;를 포함하는 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법.

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항의 제조방법에 의해 제조된 소결체.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 방전 플라즈마 소결방법을 이용하여 텅스텐카바이드 (WC)-코발트(Co)소결체의 제조방법 및 이에 의해 제조된 텅스텐카바이드 (WC)-코발트(Co)소결체에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 텅스텐카바이드(WC)-코발트(Co) 초경합금은 텅스텐카바이드(WC)과 코발트(Co)를 주성분으로 하여 인성이 높고 기계적 성질이 우수하여 가공용 공구, 내마모성공구, 절삭공구, 금형(비구면 렌즈용)등 다양한 용도로 쓰인다. 텅스텐카바이드(WC)-코발트(Co)계 합금은 코발트(Co)의 함유량에 따라서 기계적 성질이 넓은 범위에 걸쳐서 달라지므로 사용목적에 따라서 적절하게 배합량을 골라야 하며 입자의 크기 또는 조직의 영향도 현저히 나타나므로 제조방법도 고려하여야 한다.

[0003] 종래의 텅스텐카바이드 (WC)-코발트 (Co)합금의 제조방법으로는 분말야금법이 있으며, 온도와 압력을 동시에 가하여 비교적 고밀도 소결체를 얻을 수 있는 HIP(hot isostatic pressing)과 HP(hot pressing)방법을 많이 사용하고 있었지만, 이들은 제작단가가 높고 공정시간이 길뿐만 아니라 소결체의 균일한 밀도 및 고밀도화에 한계를 가졌다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 방전 플라즈마소결법에 의해 소결처리하는 단계를 포함하는 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법을 제공하고자 하며, 상기 제조방법에 의해 제조된 텅스텐카바이드-코발트 소결체를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명은 텅스텐카바이드(WC) 분말 및 코발트(Co) 분말을 포함하는 혼합분말을 소결온도 1150 내지 1250℃에서 방전 플라즈마소결법에 의해 소결처리하는 단계를 포함하는 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법을 제공한

다.

- [0006] 상기 혼합분말 100 중량부에 대하여, 텅스텐카바이드 분말 75 내지 95 중량부 및 코발트 분말 5 내지 25 중량부를 포함할 수 있다.
- [0007] 상기 혼합분말 100 중량부에 대하여, 텅스텐카바이드 분말 85 내지 95 중량부 및 코발트 분말 5 내지 15 중량부를 방전 플라즈마 소결 시스템 챔버에 투입하는 단계; 및 흑연 몰드를 사용하며 소결온도 1150 내지 1250℃, 승온속도 90 내지 110℃/min, 유지시간 5 내지 15분 및 압력 200 내지 400MPa로 하여, 상기 분말을 소결처리하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0008] 본 발명은 상기 제조방법에 의해 제조된 텅스텐카바이드-코발트 소결체를 제공한다.

발명의 효과

- [0009] 본 발명의 방전플라즈마 소결공법(SPS, Spark Plasma Sintering)을 이용한 텅스텐카바이드(WC)-코발트(Co) 소결체의 제조방법은 저온소결 및 짧은 공정시간 등으로 인해 종래의 소결법 (HP, HIP)과 비교하여 1/2~1/5의 경제적 효과뿐만 아니라 입자성장 억제로 인해 기계적 성질이 우수하며, 또한 높은 압력과 가열을 동시에 가할 수 있어 한 번의 소결로 소결체를 제조할 수 있기에 소결과 성형을 동시에 함으로써 공정의 간소화를 기할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0010] 도 1은 소결온도에 따른 WC-10wt.%Co의 경도와 상대밀도 변화를 나타낸 것이다.
- 도 2는 온도((a)900℃, (b)1000℃, (c)1100℃, (d)1200℃)에 따른 미세조직 변화를 나타낸 것이다.
- 도 3은 1200℃에서 XRD패턴을 관찰한 것이다.
- 도 4는 코발트 (Co)첨가량에 따른 경도와 상대밀도 변화를 나타낸 것이다.
- 도 5는 코발트 (Co)첨가량에 따른 미세조직 변화를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 발명은 방전 플라즈마소결법에 의해 소결처리하는 단계를 포함하는 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법 및 상기 제조방법에 의해 제조된 텅스텐카바이드-코발트 소결체를 제공한다.
- [0012] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0013] 종래의 텅스텐카바이드 (WC)-코발트 (Co)초경합금 제조법은 텅스텐카바이드 (WC)분말에 코발트 (Co)분말을 결합체로 첨가하여 1400℃이상의 고온에서 장시간 소결하고, 치밀화하기 위하여 후열간정수압처리하는 복잡한 다단계의 공정을 거치는 등 공정이 복잡하고 세밀한 열처리 조작이 요구되었기에, 본 발명자는 상기 문제점을 해결하고자 노력하던 중 본 발명의 제조방법에 의할 때 공정을 간편화시킬 수 있을 뿐만 아니라 저온소결 및 짧은 공정시간 등 경제적 공정을 달성할 수 있음을 확인하고 본 발명을 완성하였다.
- [0014] 본 발명은 텅스텐카바이드(WC) 분말 및 코발트(Co) 분말을 포함하는 혼합분말을 소결온도 1150 내지 1250℃에서 방전 플라즈마소결법에 의해 소결처리하는 단계를 포함하는 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법을 제공한다.
- [0015] 상기 방전플라즈마 소결공법(SPS, Spark Plasma Sintering)은 저온소결 및 짧은 공정시간 등으로 인해 종래의 소결법과 비교하여 1/2~1/5의 경제적 효과뿐만 아니라 입자성장 억제로 인해 기계적 성질이 우수하다는 장점이 있다. 또한 열간 가압 소결과 달리 소결과정에서 펀치와 다이, 분말베드(powder bed)를 통해 직접 전류를 통해 줌으로써 저항발열을 이용한다. 분말 성형체와 다이 사이의 간극은 모두 흑연으로 되어 있어 고주파 교류 전류가 펀치로부터 분말 성형체로 통전되는 메커니즘으로 이루어지는데, 이때 전류를 펄스형태로 가하게 되면 분말 표면의 오염물을 제거할 수 있고, 펄스전류의 통전으로 분말 입자들 간의 전기저항에 따른 자기 발열효과로 인해 소결온도와 시간을 단축시킬 수 있으며 높은 주파수와 전류밀도로 인해 치밀화가 촉진되며, 높은 압력을 가함과 동시에 가열도 함께 할 수 있으며 소결체를 한 번의 소결로 제조할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 소결과 성형을 동시에 함으로써 공정의 간소화라는 장점을 지닐 수 있다.

- [0016] 상기 소결온도는 특별히 한정된 것은 아니나, 바람직하게는 1150 내지 1250℃일 수 있으며, 가장 바람직하게는 1200℃일 수 있다.
- [0017] 일 실시예에 따르면, 소결온도 증가에 비례하여 상대밀도가 증가하다가 1150 내지 1250℃에서 급격히 증가하며, 경도 또한 상대밀도 증가에 비례하여 증가하다가 1150 내지 1250℃에서 급격히 증가함을 확인할 수 있다.
- [0018] 상기 온도보다 낮은 온도에서 고상반응이 활발히 진행되다가, 상기 온도에서 코발트 (Co)액상 출현에 의한 액상 소결이 진행될 수 있으며, FE-SEM으로 관찰한 미세조직 사진은 초기 분말의 형태는 구형에 가까웠지만 소결온도가 높아져 치밀화가 진행됨에 따라 상기 온도에서 텅스텐카바이드 (WC)입자가 다각형 입자 형태로 변화함을 확인할 수 있다.
- [0019] 상기 온도에서 코발트 (Co)가 텅스텐카바이드 (WC)입자 사이에 균일하게 분산되어 코발트 (Co)의 주목적인 결합체의 역할로 소결성을 높임으로써, 밀도와 경도 향상에 영향을 줄 수 있다.
- [0020] 또한, 종래 코발트 (Co)를 결합체로 사용한 초경합금의 경우 텅스텐카바이드 (WC)-코발트 (Co)의 공정온도인 약 1320℃이상의 온도에서 액상이 출현한데 비해 본 발명은 낮은 온도에서 액상이 출현하여 저온소결이 가능함을 확인할 수 있다.
- [0021] 일례로, 1200℃에서 97% 이상의 상대밀도 및 1800Hv이상의 경도를 나타냄을 확인할 수 있다.
- [0022] 상기 혼합분말에 있어서, 텅스텐카바이드 분말과 코발트 분말의 중량부는 특별히 한정된 것은 아니나, 바람직하게는 상기 혼합분말 100 중량부에 대하여 텅스텐카바이드 분말 75 내지 95 중량부 및 코발트 분말 5 내지 25 중량부를 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 코발트 첨가량은 초경합금의 경도나 인성과 같은 물성에 영향을 미칠 수 있으며, 텅스텐카바이드 (WC)-코발트 (Co)계 합금은 코발트 (Co)의 함유량에 따라서 기계적 성질이 넓은 범위에 걸쳐 달라질 수 있기에 각 용도에 맞는 적절한 코발트 (Co)의 배합을 선택할 수 있다.
- [0024] 일 실시예에 따르면, 상기 액상소결온도인 1150 내지 1250℃에 도달한 이후 코발트 (Co)첨가량이 증가하면서 액상이 시편전체에 걸쳐 골고루 퍼지면서 97%이상의 고밀도화가 이루어져 코발트 첨가량이 증가함에 따라 상대밀도가 증가할 수 있으며, 코발트 (Co)첨가량이 늘어남에 따라 단위 체적당 연질상의 체적이 상대적으로 증가하기 때문에 합금의 경도는 낮아질 수 있다.
- [0025] 따라서, 높은 경도를 나타내는 텅스텐카바이드 (WC)-코발트 (Co) 소결체를 얻기 위해서는, 상기 혼합분말 100 중량부에 대하여 텅스텐카바이드 분말 85 내지 95 중량부 및 코발트 분말 5 내지 15 중량부를 포함하는 혼합분말을 소결온도 1150 내지 1250℃에서 방전 플라즈마소결법에 의해 소결처리하는 것이 바람직할 수 있다.
- [0026] 본 발명의 텅스텐카바이드-코발트 소결체의 제조방법의 일례로, 상기 혼합분말 100 중량부에 대하여, 텅스텐카바이드 분말 85 내지 95 중량부 및 코발트 분말 5 내지 15 중량부를 방전 플라즈마 소결 시스템 챔버에 투입하는 단계; 및 흑연 몰드를 사용하며 소결온도 1150 내지 1250℃, 승온속도 90 내지 110℃/min, 유지시간 5 내지 15분 및 압력 200 내지 400MPa로 하여, 상기 분말을 소결처리하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0027] 소결온도는 특별히 한정된 것은 아니나, 상기 소결온도는 상대밀도 및 경도가 우수하고 입자성장이 억제되는 온도로, 상기보다 크게 낮을 때는 불완전한 소결로 상대밀도 및 경도 등 기계적 특성이 저하될 수 있다.
- [0028] 승온속도는 특별히 한정된 것은 아니나, 상기 승온온도는 보유하고 있는 방전플라즈마 소결장치에서의 최대인 90 내지 110℃/min로 하여 소결공정 시간을 최소화하기 위해 적절한 온도로, 상기 승온속도보다 크게 느린 경우 시간이 오래 걸려 생산성이 떨어질 수 있으며, 상기보다 크게 빠른 경우 급격한 온도상승으로 소결체의 특성이 저하될 수 있다.
- [0029] 유지시간은 특별히 한정된 것은 아니나, 상기 시간보다 너무 긴 경우 에너지의 소모가 많으므로 비경제적일 수 있으며, 상기 시간보다 너무 짧은 경우 불완전한 소결로 인해 소결체의 특성이 저하될 수 있다.
- [0030] 상기 압력은 특별히 한정된 것은 아니나, 상기 압력보다 너무 큰 경우 소결 공정이 완료된 후에 소결체에 균열 등이 발생할 수 있고, 상기보다 너무 작은 경우 원하는 고밀도의 소결체를 얻지 못할 수 있다.
- [0031] 상기 소결처리가 완료된 후에는 상기 챔버 온도를 하강시켜 텅스텐카바이드-코발트 소결체를 수득할 수 있다.
- [0032] 종래의 보통 소결방법은 먼저 압축과 같은 성형을 하고 난 뒤에, 소결이라는 공정을 다시 거쳐야 하지만 본 발명에서는 이를 동시에 함으로써 공정시간의 절반 이상 단축할 수 있으며, 압력을 가하면서 열을 가하기 때문에

종래의 소결보다 낮은 온도에서 소결체를 제조할 수 있는 등 저온소결 및 짧은 공정시간 등으로 인해 종래의 소결법 (HP, HIP)과 비교하여 1/2~1/5의 경제적 효과뿐만 아니라 입자성장 억제로 인해 기계적 성질이 우수하며, 또한 높은 압력을 가함과 동시에 가열도 함께 가할 수 있어 소결체를 한 번의 소결로 제조할 수 있다는 장점을 가지기에, 소결과 성형을 동시에 함으로써 공정을 간소화할 수 있다.

- [0033] 본 발명은 상기 제조방법에 의해 제조된 텅스텐카바이드-코발트 소결체를 제공한다.
- [0034] 상기 소결체는 코발트의 첨가량에 따라 소결체의 경도나 인성과 같은 물성에 영향을 미칠 수 있으며, 각 용도에 맞는 적절한 코발트 (Co)의 배합을 선택할 수 있다.
- [0035] 또한, 본 발명의 소결체는 소결조제를 첨가하지 않고 소결이 이루어지므로 WC와 Co이외의 제2상의 출현이 관찰되지 않고 다른 상은 존재하지 않아 경도와 기계적 특성이 우수할 수 있다.
- [0036] 일례로, 상기 혼합분말 100 중량부에 대하여, 텅스텐카바이드 분말 85 내지 95 중량부 및 코발트 분말 5 내지 15 중량부를 포함시, 상대밀도 97 내지 100%, 경도 1800 내지 2000Hv를 나타낼 수 있다.
- [0037] 이하, 본 발명을 하기의 실시예 및 실험예에 의하여 더욱 상세하게 설명한다. 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것으로 본 발명의 내용이 하기 실시예 및 실험예에 의해 본 발명의 범위가 제한되는 것은 아니다.

[0038] <실시예>

[0039] 실시예 1; WC-10wt.%Co 소결체의 제조

[0040] 텅스텐카바이드 (WC)-코발트 (Co) 분말을 사용하여 소결온도를 변화해 가며 실험을 수행하였다. 소결체 제조시 장치(챔버) 내부는 5×10^{-3} torr 이하의 진공 분위기였으며, 상부 프레스의 하중은 343 MPa로 일정하게 유지하였다. 소결체 제조에 사용된 몰드는 흑연으로 제작된 것이며, 몰드의 크기는 높이 50mm, 두께는 15mm, 지름이 30mm인 몰드를 사용하였다. 그리고 지름 30mm, 높이 50mm인 상부편치와 높이 30mm인 하부편치를 사용하였다. 분말의 양을 10g으로 일정하게 넣고 소결 후 소결체가 몰드에 용착되는 것을 방지하기 위하여 몰드 편치 아래, 위로 카본시트와 내벽에는 B, N 스프레이를 사용하였다. 이러한 조건으로 소결온도를 달리하고(900℃, 1000℃, 1100℃, 1200℃) 승온 속도와 유지시간(100℃/min, 10분)을 일정하게 두고 각각의 시편을 제조하였다.

[0041] 실시예 2; 온도에 따른 WC-10wt%Co소결체 제조 및 특성분석

[0042] 2-1. 소결온도에 따른 WC-10wt.%Co의 경도와 상대밀도 변화

[0043] 평균입도 약 0.7 μ m인 WC-10wt%Co 분말을 사용하여 소결온도를 변화해 가며 실험을 수행하였다. 방전 플라즈마 소결법을 이용하여 소결온도 변화(900℃, 1000℃, 1100℃, 1200℃)에 따른 경도(HV)와 상대밀도(%)를 측정하였다.

[0044] 도 1에 나타난 바와 같이, 소결온도 900℃에서 53.1%, 1000℃의 온도에서 74.4%, 그리고 1100℃에서 77.3%, 1200℃에서 가장 높은 97.1%의 상대밀도를 얻을 수 있었으며, 소결온도 증가에 비례하여 상대밀도가 증가하다가 1200℃에서는 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다.

[0045] 또한, 경도시험결과, 900℃의 소결 온도에서 210.4Hv, 1000℃에서 406.3Hv, 그리고 1100℃에서 500.2 Hv, 1200℃에서는 1812.1Hv를 나타내어 상대밀도 증가에 비례하여 경도가 높아지다가 1200℃에서 급격히 높아지는 것으로 나타났다.

[0046] 2-2. 온도에 따른 미세조직 변화

[0047] 평균입도 약 0.7 μ m인 WC-10wt%Co 분말을 사용하여 소결온도를 변화해 가며 실험을 수행하였다. 방전 플라즈마

소결법을 이용하여 소결온도 변화(900℃, 1000℃, 1100℃, 1200℃)에 따른 미세조직 변화를 측정하였다.

[0048] 도 2의 FE-SEM으로 관찰한 미세조직 사진에서 보듯이 초기 분말의 형태는 구형에 가까웠지만 소결온도가 높아져 치밀화가 진행됨에 따라 (d)1200℃에서는 텅스텐카바이드 (WC)입자가 다각형 입자 형태로 변화하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 점에서 900℃, 1000℃, 1100℃에서는 온도가 올라감에 따라 고상반응이 활발히 진행되었다고 사료되어지며 1200℃에서 앞서 언급한 바와 같이 경도와 상대밀도가 급격히 상승한 것과 함께 미루어 볼 때 코발트 (Co)액상 출현에 의한 액상소결이 진행되는 것으로 사료되어 진다.

[0049] 2-3. 1200℃에서 XRD패턴

[0050] 평균입도 약 0.7 μ m인 WC-10wt%Co 분말을 사용하여 실험을 수행하였다. 1200℃에서 다각형 입자형상을 보이는 WC-10wt%Co 소결체의 상변화를 알아보기 위해 XRD 패턴을 측정하였다.

[0051] 도 3에서 나타난 바와 같이, 소결전 분말에서와 마찬가지로 텅스텐카바이드 (WC)와 코발트 (Co) 이외의 제2상의 출현이 관찰되지 않았으며, 다른 상은 존재하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

[0052] 실시예 3; 코발트 (Co)첨가량에 따른 소결체의 특성변화

[0053] 3-1. 코발트 (Co)첨가량에 따른 경도와 상대밀도 변화

[0054] 실시예 2의 실험온도범위 내에서 높은 소결 특성을 가지는 1200℃에서 10분 유지한 조건하에 소결체의 코발트 (Co)함량에 따른 텅스텐카바이드 (WC)-코발트 (Co)계 초경합금의 특성 및 사용용도를 분석하고자 10wt%Co 이상의 코발트 (Co)(15, 20, 25wt% 이하 Co첨가량)를 첨가하여 그에 따른 초경합금의 표면조직을 관찰하고 코발트 (Co)첨가량별 텅스텐카바이드 (WC)-코발트 (Co) 소결체의 경도와 상대밀도 변화를 측정하였다.

[0055] 도 4에서 나타난 바와 같이, 코발트 (Co)첨가량이 증가함에 따라 15wt% 코발트 (Co)에서의 상대밀도는 97.8%, 20wt% 코발트 (Co)에서 97.8%, 그리고 25wt% 코발트 (Co)에서는 10wt% 코발트 (Co)에 비해 약 1.0% 상승한 98.2%의 상대밀도를 얻을 수 있었다.

[0056] 또한, 경도시험 결과, 10wt%코발트 (Co)에서 1812Hv였던 경도값이 15wt% 코발트 (Co) 첨가시 1715Hv, 20wt% 코발트 (Co)에서는 1550Hv, 그리고 25wt%코발트 (Co) 첨가시에는 1026Hv로 코발트 (Co)첨가량이 늘어남에 따라 경도는 비례적으로 감소하는 것으로 나타났다.

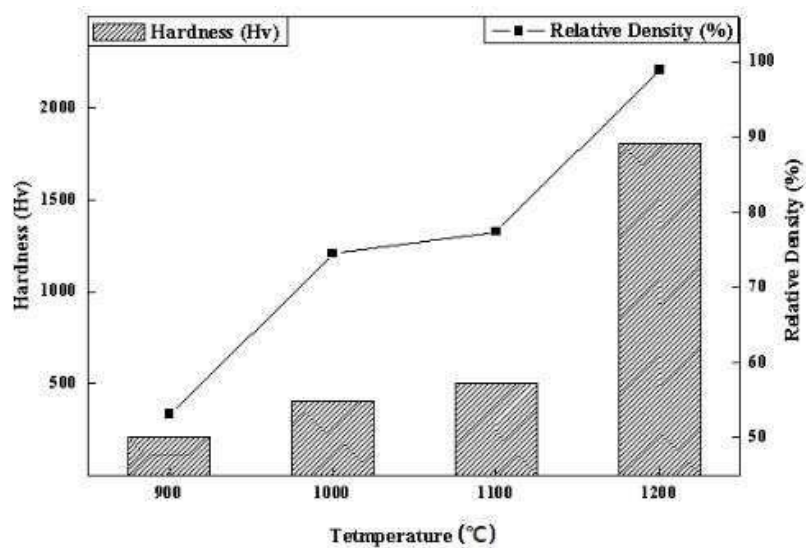
[0057] 3-2. 코발트 (Co)첨가량에 따른 미세조직 변화

[0058] 1200℃에서 10분 유지한 조건하에 소결체의 코발트 (Co)함량(10, 15, 20, 25wt% 이하 Co첨가량)에 따른 미세조직의 변화를 FE-SEM으로 측정하였다.

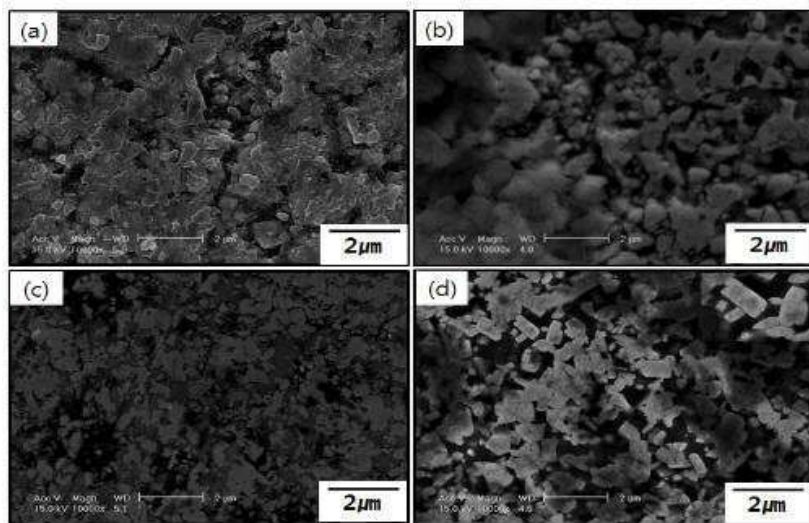
[0059] 도 5에서 나타난 바와 같이, 코발트 (Co)첨가량이 증가할수록 텅스텐카바이드 (WC)입자가 다소 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

도면

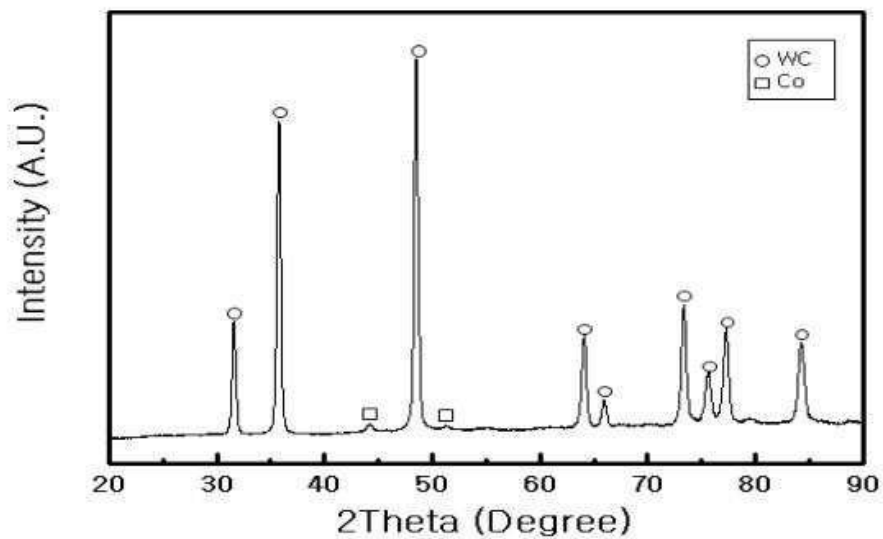
도면1



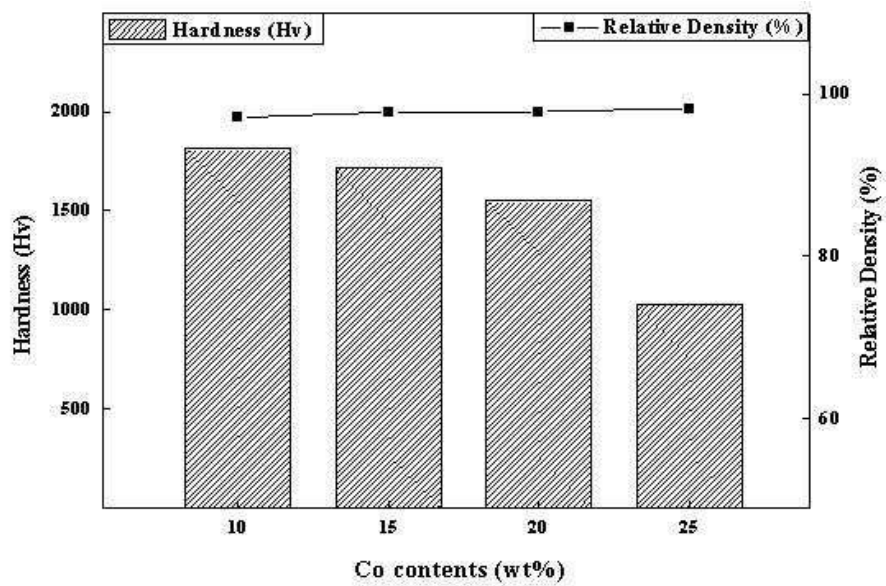
도면2



도면3



도면4



도면5

