(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0112768
(43) 공개일자 2020년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 5/00 (2006.01) *B22F 3/12* (2006.01)
B22F 9/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B22F 5/00 (2013.01)
B22F 3/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0119946(분할)
(22) 출원일자 2020년09월17일
심사청구일자 2020년09월17일
(62) 원출원 특허 10-2018-0059657
원출원일자 2018년05월25일
심사청구일자 2018년05월25일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
주식회사 엔지엠
부산광역시 남구 신선로 365, 6공학관 105,106호 (용당동, 부경대학교 용당캠퍼스)
(72) 발명자
권한상
부산광역시 수영구 광안해변로 459-5, 402호(민락동, 화인아트빌리지)
(74) 대리인
김정수

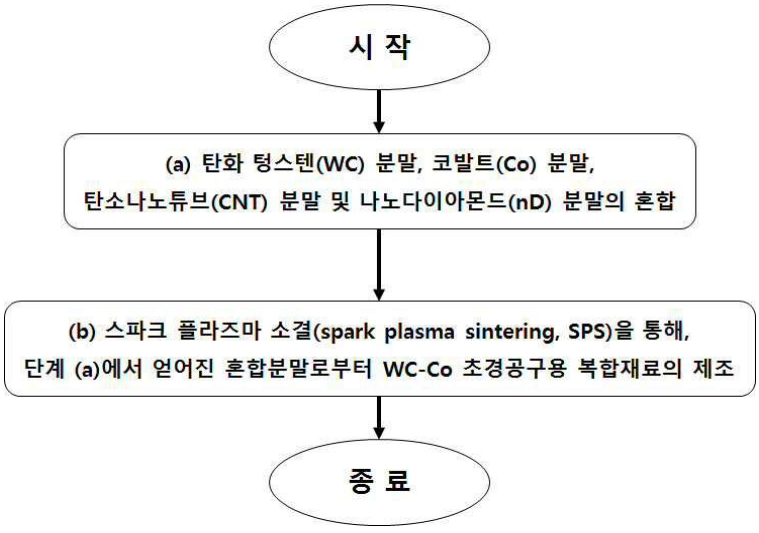
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **WC-Co계 초경공구용 복합재료 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 98 내지 99.8 부피%의 WC-Co; 0.01 내지 1 부피%의 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT); 및 0.01 내지 1 부피%의 나노다이아몬드(nanodiamond, nD)를 포함하는 초경공구용 복합재료 및 그 제조방법에 대한 것으로서, 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료(WC-Co-CNT-nD)는, WC-Co 초경합금에 탄소나노튜브와 나노다이아몬드를 강화재로 동시에 포함함으로써 전통적인 WC-Co 초경합금과 비교해 현저히 향상된 경도 및 인성을 가지며, 또한, 상기 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료를 방전플라즈마 소결 공정을 이용해 제조함으로써 액상이 발생되지 않는 고상 소결을 통해 우수한 기계적 특성을 지닌 복합재료를 경제적으로 대량 생산할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B22F 9/04 (2013.01)
B22F 2005/001 (2013.01)
B22F 2009/043 (2013.01)
B22F 2202/13 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

(a) 98 부피%의 WC-Co 분말; 1 부피%의 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT) 분말; 및 1 부피%의 나노다이아몬드(nanodiamond, nD) 분말을 혼합하되,

상기 WC-Co는 6 중량%의 Co 및 94 중량%의 WC를 포함하며,

볼(ball)에 대한 WC-Co 분말, CNT 분말 및 나노다이아몬드 분말 전체의 중량비를 10 : 1 내지 1 : 1으로 설정하여, 100 내지 500 rpm으로 1 내지 20시간 동안 유성 볼밀링 공정(planatary ball milling process)을 수행해 WC-Co 분말, CNT 분말 및 나노다이아몬드 분말을 혼합하는 단계; 및

(b) 상기 단계 (a)에서 얻어진 혼합분말을, 1150 ℃의 온도 및 50 MPa의 압력하에서 3 분 동안 스파크 플라즈마 소결(spark plasma sintering, SPS)하여 복합재료를 제조하는 단계;를

포함하는 초경공구용 복합재료의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 초경공구 소재로 사용될 수 있는 신규한 복합재료 및 그 제조방법에 대한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 초경공구는 금속을 절삭 가공하기 위한 공구로서 다양한 산업용 부품 제조에 사용되고 있으며, 인성이 좋은 금속 기지(matrix)에 경도가 매우 높은 금속 탄화물이 분산된 형태의 초경합금(cemented carbide)으로 이루어지는 것이 일반적이다.

[0003] 상기 초경합금에 대해 보다 상세히 설명하면, 경도가 대단히 높은 원소 주기율표 상의 Ⅳ · Ⅴ · Ⅵ족의 전이금속 탄화물 등의 경질상 분말과 인성이 우수한 Fe, Co, Ni 등의 철족 금속 분말을 함께 소결하여 만든 합금으로서, 실온부터 고온까지 기계적 성질이 특히 우수하여 절삭공구, 내마모 부품 및 금형 등에 사용되고 있는 WC-Co계 합금을 대표적인 예로 들 수 있다.

[0004] 한편, 최근 들어 종래의 공업용 재료보다 강도가 매우 높은 재료들이 개발되고 있는 실정이며, 이러한 재료들을 가공하기 위해서는 초경합금과 같은 공구용 재료 역시 보다 더 우수한 기계적 물성의 확보가 필요하다.

[0005] 또한, 초경합금의 제조 방법으로서 기존에는 강화상 입자 크기 및 금속 함량에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 통상적으로 금속 탄화물 및 금속 분말로 성형체를 제조한 후약 1400℃ 이상의 고온에서 1시간 이상 가열해 소결하는 방식이 널리 사용되어 왔는데, 해당 제조방법은 고온에서 장시간에 걸쳐 제조한다는 점에서 경제적으로 바람직하지 않다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2018-0048663호 (공개일: 2018.05.10.)

(특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-1733661호 (등록일: 2017.04.28.)

(특허문헌 0003) 일본공개특허 제2018-053358호 (공개일: 2018.04.05.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 전통적인 WC-Co 초경합금의 한계를 극복해 기계적 물성이 현저히 향상된 신규한 초경공구용 WC-Co계 복합소재 및 상기 초경공구용 WC-Co계 복합소재를 경제적으로 대량 생산할 수 있는 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 기술적 과제를 달성하기 위해, 본 발명은 98 내지 99.8 부피%의 WC-Co;

[0009] 0.01 내지 1 부피%의 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT); 및

[0010] 0.01 내지 1 부피%의 나노다이아몬드(nanodiamond, nD)를 포함하는 초경공구용 복합재료를 제안한다.

[0011] 이때, 상기 WC-Co는 3 내지 20 중량%의 Co를 포함할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 WC-Co에 포함된 WC는 0.2 내지 100 ㎛의 입도를 가질 수 있다.

[0013] 그리고, 본 발명은 발명의 다른 측면에서 상기 복합재료 제조방법의 일례로서, (a) 98 내지 99.8 부피%의 WC-Co 분말; 0.01 내지 1 부피%의 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT) 분말; 및 0.01 내지 1 부피%의 나노다이아몬드(nanodiamond, nD) 분말을 혼합하는 단계; 및 (b) 상기 단계 (a)에서 얻어진 혼합분말을 스파크 플라즈마 소결(spark plasma sintering, SPS)하여 복합재료를 제조하는 단계;를 포함하는 초경공구용 복합재료의 제조방법을 제안한다.

[0014] 이때, 상기 단계 (a)에서, 볼(ball)에 대한 WC-Co 분말, CNT 분말 및 나노다이아몬드 분말 전체의 중량비를 10 : 1 내지 1 : 1으로 설정하여 유성 볼밀링 공정(planatary ball milling process)을 수행할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 유성 볼밀링 공정은 100 내지 500 rpm으로 1 내지 20시간 동안 수행할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 단계 (b)에서 1050 내지 1300 ℃의 온도 및 50 내지 1,000 MPa의 압력하에서 1 내지 5 분 동안 스파크 플라즈마 소결을 수행할 수 있다.

[0017] 나아가, 본 발명은 상기 복합재료를 포함해 이루어지는 초경공구를 제안한다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료(WC-Co-CNT-nD)는, WC-Co 초경합금에 탄소나노튜브와 나노다이아몬드를 강화재로 동시에 포함함으로써 전통적인 WC-Co 초경합금과 비교해 현저히 향상된 경도 및 인성을 가진다.

[0019] 특히, 나노다이아몬드는 Co 기지(matrix)에 분산되어 복합재료의 경도를 크게 향상시키는 역할 뿐만 아니라, 탄소나노튜브가 응집되지 않고 Co 기지 내에 균일하게 분산될 수 있도록 함으로써, 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료의 향상된 기계적 물성에 지대한 역할을 한다.

[0020] 또한, 상기 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료를 방전플라즈마 소결 공정을 이용해 제조함으로써 액상이 발생되지 않는 고상 소결을 통해 우수한 기계적 특성을 지닌 복합재료를 경제적으로 대량 생산할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명에 따른 WC-Co 초경공구용 복합재료 제조 방법의 공정 흐름도이다.

도 2는 실시예 및 비교예 1 내지 3 각각에 따라 제조된 시편의 평면 및 단면에 대한 비커스 경도(Vickers hardness) 시험 결과로서, 압흔(indentation)이 형성된 각 시편 표면에 대한 광학 현미경 사진 및 경도 측정값(최우측 칼럼 기재 수치는 2회 측정 평균값)을 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.

[0023] 본 발명의 개념에 따른 실시예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예를 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변

경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0024] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0025] 이하, 본 발명을 상세히 설명하도록 한다.

[0026] 본 발명에 따른 WC-Co계 초경공구용 복합재료는 98 내지 99.8 부피%의 WC-Co; 0.01 내지 1 부피%의 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT); 및 0.01 내지 1 부피%의 나노다이아몬드(nanodiamond, nD)가 복합화되어 이루어진 것을 특징으로 한다.

[0027] 상기 WC-Co 초경합금을 이루는 경질상(WC) 및 연질상(Co)의 중량비는 특별히 제한되지 않지만, 바람직하게는 상기 WC-Co는 3 내지 20 중량%의 Co를 포함할 수 있다.

[0028] 또한, 상기 WC-Co에 포함된 WC는 0.2 내지 100 ㎛의 입도를 가질 수 있으나, 반드시 이에 제한되는 것은 아니다.

[0029] 한편, 상기 WC-Co 초경합금의 기계적 특성은 화학적 조성, 경질상(WC) 입자의 입도 분포 및 합금 중의 탄소량, 미세조직, 기공도, 결함 등에 의하여 영향을 받지만 그 중에서도 WC 입자의 크기와 WC 입자 사이의 연질상인 Co 바인더 층의 두께는 초경합금의 기계적 특성을 결정하는 가장 중요한 변수이다. 따라서, 높은 경도의 초경합금을 얻기 위해서는 WC 입자의 크기를 감소시키고, WC 입자 사이의 Co 층의 두께를 얇게 할 필요가 있다. 그러나, 수백 nm 크기의 WC 입자를 사용하거나 WC 입자 사이의 Co 층의 두께를 감소시키게 되면 경도는 향상되는 대신 인성은 감소하는 문제가 발생한다.

[0030] 이에, 본 발명에 따른 WC-Co계 초경공구용 복합재료는 탄소나노튜브 및 나노다이아몬드의 2종의 강화재를 포함해 경도는 물론 인성의 향상까지 도모할 수 있다.

[0031] 상기 2종의 강화재 중 하나인 탄소나노튜브는 Co 바인더 내에 분산되어 강도를 향상시키는 동시에 Co 결정립 사이를 연결시켜 크랙 발생 및 전파를 효과적으로 방어함으로서 복합재료의 인성을 한층 향상시킬 수 있다.

[0032] 또한, 탄소나노튜브는 높은 열전도도를 가져 본 발명에 따른 복합재료가 절삭공구의 소재로 사용될 경우 피삭재와의 마찰시 발생하는 열을 효율적으로 배출할 수 있다.

[0033] 상기 탄소나노튜브는 0.01 내지 1 부피%의 함량으로 복합재료에 포함되는 것이 바람직한데, 이는 0.01 부피% 미만으로 포함되면 복합재료의 기계적 특성 향상이 기대에 미치지 못하며, 1 부피%를 초과해 포함되면 추가적인 물성 향상을 기대하기 어렵기 때문이다.

[0034] 한편, 본 발명에 따른 복합재료에 강화재로서 상기 탄소나노튜브만 포함될 경우에는, 응집성이 높은 탄소나노튜브의 특성상 탄소나노튜브가 복합재료 전체에 걸쳐 고르게 분산되지 않고 특정 지점에 편재되어 오히려 기계적 물성의 저하시킬 수 있다.

[0035] 이에, 본 발명에 따른 복합재료는 탄소나노튜브 외에도 나노다이아몬드를 강화재로 함께 포함하여 기계적 물성 향상은 물론 탄소나노튜브의 응집 문제를 동시에 해결할 수 있다.

[0036] 즉, 나노다이아몬드는 Co 기지(matrix)에 분산되어 복합재료의 경도를 크게 향상시키는 역할 뿐만 아니라, 탄소나노튜브가 응집되지 않고 Co 기지 내에 균일하게 분산될 수 있도록 함으로써, 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료의 향상된 기계적 물성에 지대한 역할을 한다.

[0037] 참고로, 나노다이아몬드(nanodiamond, nD)는 표면에 탄소원자가 헤테로 원자로 결합된 구조를 가지며, 입자 크기가 5 ~100 nm인 다이아몬드 단결정 나노입자를 일컫는다. 나노탄소의 한 종류인 나노다이아몬드는 다른 탄소소재와 달리 내마모성, 생체적합성, 윤활성, 열전도, 비전도 특성에 특화된 성질을 보이는 첨단 소재이며 산업 고도화에 따른 고기능성, 고부가가치, 고사양의 첨단 제품에 대한 적용이 가능한 신소재이다.

[0038] 상기 나노다이아몬드는 전술한 효과 달성 및 함량 증가에 따른 제조원가 상승을 함께 고려해 본 발명에 따른 복합재료에 0.01 내지 1 부피%로 포함되는 것이 바람직하다.

[0039] 상기 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료는 스파크 플라즈마 소결(spark plasma sintering, SPS)에 의한 분말

야금공정을 통해 제조하는 것이 바람직하다.

[0040] 일례로, 도 1에 도시한 바와 같이, (a) 98 내지 99.8 부피%의 WC-Co 분말; 0.01 내지 1 부피%의 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT) 분말; 및 0.01 내지 1 부피%의 나노다이아몬드(nanodiamond, nD) 분말을 혼합하는 단계; 및 (b) 상기 단계 (a)에서 얻어진 혼합분말을 스파크 플라즈마 소결(spark plasma sintering, SPS)하여 복합재료를 제조하는 단계를 포함하는 제조방법에 따라 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료를 제조할 수 있다.

[0041] 이때, 상기 단계 (a)에서는, WC-Co 분말, CNT 분말 및 나노다이아몬드 분말을 볼밀링하여 균일하게 혼합된 복합분말을 제조할 수 있다.

[0042] 또한, 본 단계에서는, 전동 볼밀링, 교반 볼밀링, 유성 볼밀링 등의 다양한 형태의 볼밀링 공정을 통해 WC-Co 분말, CNT 분말 및 나노다이아몬드 분말을 혼합하여 균질한 혼합분말을 제조할 수 있다. 바람직하게는, 유성 볼밀링 공정(planatary ball milling process)을 수행하여 혼합분말을 제조할 수 있으며, 볼(ball)에 대한 WC-Co 분말, CNT 분말 및 나노다이아몬드 분말 전체의 중량비(BPR)를 10 : 1 내지 1 :1으로 설정하여 유성 볼밀링 공정을 수행할 수 있으며, 바람직하게는, BPR을 6 : 1로 설정하여 유성 볼밀링 공정을 수행함으로써, 균질한 혼합분말을 제조할 수 있다. 특히, 상기 유성 볼밀링 공정에 사용되는 볼은 자기윤활성, 인성 및 기계적 강도와 같은 특성이 우수한 지르코니아 볼을 사용할 수 있다.

[0043] 또한, 상기 유성 볼밀링 공정을 100 내지 500 rpm으로 1 내지 20시간 동안 수행할 수 있다.

[0044] 다음으로, 상기 단계 (b)에서는, 이전 단계에서 제조한 혼합분말을 스파크 플라즈마 소결(spark plasma sintering, SPS)하여 초경공구용 복합재료를 제조하는 단계이다.

[0045] 상기 스파크 플라즈마 소결은, 압력이 가해지는 조건에서 상기 혼합분말에 직류 전류를 가해 혼합분말의 입자 사이로 흐르는 펄스상의 직류 전류에 의해 불꽃방전 현상이 발생되고, 이에 의해 순간적으로 발생하는 스파크 플라즈마의 높은 에너지에 의한 열확산 및 전계 확산과 몰드의 전기저항에 의한 발열 및 가해지는 압력과 전기에너지에 의해 혼합분말이 소결되어 단시간에 WC-Co 분말, CNT 분말 및 나노다이아몬드 분말을 복합화하여 치밀한 구조의 복합재료를 제조할 수 있으며, 이러한 소결능을 통해 복합재료 결정립의 성장을 효과적으로 제어할 수 있고, 균일한 미세구조를 갖는 초경공구용 복합재료를 제조할 수 있다.

[0046] 특히, 상기와 같이 스파크 플라즈마 소결을 통해 초경공구용 복합재료를 제조하게 되면, 통상의 소결 공정에 의해 발생할 수 있는 문제점(WC와 탄소나노튜브 및/또는 나노다이아몬드 간의 반응에 의한 탄화물을 형성 또는 WC의 화학양론비 변화에 따른 복합재료의 기계적 물성 열화)을 미연에 예방할 수 있을 뿐만 아니라, 액상이 발생되지 않는 고상 소결을 통해 우수한 기계적 특성을 지닌 복합재료를 경제적으로 대량 생산할 수 있다는 예상외의 효과를 거둘 수 있다.

[0047] 본 발명에서는 상기 스파크 플라즈마 소결 공정을 위해, 예를 들어, 상부전극 및 하부전극이 구비되어 전류를 공급해 스파크 플라즈마를 발생시켜 혼합분말을 소결할 수 있는 몰드를 수용하는 공간을 형성하는 챔버, 냉각수를 유통시켜 상기 챔버를 냉각할 수 있는 냉각부, 상기 상부전극 및 하부전극에 전류를 공급하는 전류공급부, 상기 챔버에 온도를 검출할 수 있는 온도감지부, 상기 챔버 내부에 내기를 외부로 배출할 수 있는 펌프, 상기 챔버 내부에 압력을 공급할 수 있는 압력공급부, 상기 온도감지부가 감지하는 온도에 따라 스파크 플라즈마 소결 공정의 온도를 제어하는 제어부 및 상기 제어부를 조절할 수 있는 조작부를 구비한 스파크 플라즈마 소결장치를 이용하여 스파크 플라즈마 소결 공정을 수행할 수 있다.

[0048] 본 단계에서는 상기 혼합분말을 스파크 플라즈마 소결하기 위해서, 상기 스파크 플라즈마 장치에 구비된 펌프를 이용하여 챔버의 내부가 진공 상태가 될 때까지, 배기하여 감압시킴으로써, 챔버 내에 존재하는 가스 상의 불순물을 제거하고, 산화를 방지하도록 구성하여 스파크 플라즈마 소결 공정을 수행할 수 있다.

[0049] 또한, 상기 혼합분말을 100 ℃/분의 승온 속도로 소결 온도까지 가열하여 상기 혼합분말을 선예열한 후, 스파크 플라즈마 소결을 수행할 수 있고, 상기와 같은 승온속도로 혼합분말을 선예열하여, 스파크 플라즈마 소결 공정을 통해 혼합분말의 내부 및 외부에 균일한 온도가 공급됨으로 인해 균일한 구조의 복합재료를 형성시킬 수 있다.

[0050] 또한, 상기 스파크 플라즈마 소결 공정은 승온 속도 조절을 통해 복합재료 입자의 성장을 억제하는 것이 가능해 제조되는 복합재료의 크기를 제어할 수 있다.

[0051] 상기한 스파크 플라즈마 소결 공정은 바람직하게는, 1050 내지 1300 ℃의 온도에서 1 내지 5 분 동안 수행하도록 구성하여 금속 및 단일벽 탄소나노튜브의 복합재료를 제조할 수 있다. 이때, 스파크 플라즈마 소결온도가

1050 ℃ 미만일 경우, 저밀도를 가지는 소결체가 제조되며, 스파크 플라즈마 소결 온도가 1300 ℃를 초과하는 경우 복합재료의 결정립의 급성장과 Co 액상이 생성될 수 있어 기계적 특성이 저하될 수 있다. 또한, 1 분 미만으로 스파크 플라즈마 소결 공정을 수행할 경우, 불완전한 소결로 인해 충분한 소결 효과를 기대하기 어렵고, 소결 시간이 5 분을 초과하는 경우, 에너지의 소모가 증가해 비경제적일 뿐만 아니라, 소결에 의한 치밀화 효과를 더 이상 기대하기 어렵다.

[0052] 아울러, 상기 스파크 플라즈마 소결 공정은 50 내지 1,000 MPa의 압력하에서 수행하도록 구성하여 혼합분말을 가압하여 복합재료를 제조할 수 있다. 즉, 50 MPa 미만의 압력하에서는 제조되는 복합재료의 밀도가 저하되는 단점이 있고, 1,000 MPa를 초과하는 경우에서는 압력이 높아 제조되는 복합재료에 균열이 발생할 수 있어 상기한 조건으로 스파크 플라즈마 소결 공정을 수행할 수 있다.

[0053] 또한, 본 단계에서는 상기와 같이 복합재료를 소결한 후 상기 복합재료를 냉각하는 단계를 추가로 포함할 수 있다. 예를 들어, 일정 압력을 유지하는 조건에서 상기 복합재료 소결체를 냉각하도록 구성하여 표면 및 내부에 형성되는 보이드 등의 형성을 억제할 수 있다.

[0054] 상기에서 설명한 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료(WC-Co-CNT-nD)는, WC-Co 초경합금에 탄소나노튜브와 나노다이아몬드를 강화재로 동시에 포함함으로써 전통적인 WC-Co 초경합금과 비교해 현저히 향상된 경도 및 인성을 가진다.

[0055] 특히, 나노다이아몬드는 Co 기지(matrix)에 분산되어 복합재료의 경도를 크게 향상시키는 역할 뿐만 아니라, 탄소나노튜브가 응집되지 않고 Co 기지 내에 균일하게 분산될 수 있도록 함으로써, 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료의 향상된 기계적 물성에 지대한 역할을 한다.

[0056] 또한, 상기 본 발명에 따른 초경공구용 복합재료를 방전플라즈마 소결 공정을 이용해 제조함으로써 액상이 발생되지 않는 고상 소결을 통해 우수한 기계적 특성을 지닌 복합재료를 경제적으로 대량 생산할 수 있다.

[0057] 이하, 실시예를 들어 본 발명에 대해 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0058] 본 명세서에 따른 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 명세서의 범위가 아래에서 상술하는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않는다. 본 명세서의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 명세서를 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.

[0059] **<실시예> WC-Co 초경공구용 복합재료(WC-6wt% Co-1vol% CNT-1vol% nD)**

[0060] 먼저, 6 중량% Co 및 94 중량% WC(평균 입도 2.5㎛)를 포함하는 혼합분말 98 부피%, 단일벽 탄소나노튜브(평균 길이 10㎛, 평균 직경 5nm) 분말 1 부피% 및 나노다이아몬드 분말 1 부피%를 유성 볼밀링 장치에 공급하고, 20 mL의 헵탄(heptane)을 투입하였다. 볼 대 혼합분말의 중량비를 8 : 1로 설정하여 볼을 투입하고, 250 rpm으로 6 시간 동안 유성 볼밀링 공정(planatary ball milling process)을 수행하여 혼합분말을 제조하였다.

[0061] 제조한 혼합분말을 탄소 몰드에 장입하고, 몰드를 스파크 플라즈마 소결 장치의 챔버에 장착하였다. 챔버에 압력을 진공상태가 되도록 조절하고, 상부 전극 및 하부 전극에 전류를 인가하여 1150 ℃의 온도 및 50 MPa의 압력 조건하에서 3 분 동안 스파크 플라즈마 소결 공정을 실시해 WC-Co계 초경공구용 복합재료 시편을 얻었다.

[0062] **<비교예 1> WC-Co 초경합금(WC-6wt% Co) 소결체의 제조**

[0063] 원료 분말로서 6 중량% Co 및 94 중량% WC(평균 입도 2.5㎛)를 포함하는 혼합분말 100 부피%를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예와 동일한 방법으로 WC-Co 소결체를 제조하였다.

[0064] **<비교예 2> 탄소나노튜브 강화 WC-Co 초경합금(WC-6wt% Co-1vol% CNT) 소결체의 제조**

[0065] 원료 분말로서 6 중량% Co 및 94 중량% WC(평균 입도 2.5㎛)를 포함하는 혼합분말 99 부피% 및 단일벽 탄소나노튜브(평균 길이 10㎛, 평균 직경 5nm) 분말 1 부피%를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예와 동일한 방법으로 WC-Co계 복합재료 소결체를 제조하였다.

[0066] **<비교예 3> 나노다이아몬드 강화 WC-Co 초경합금(WC-6wt% Co-1vol% nD) 소결체의 제조**

[0067] 원료 분말로서 6 중량% Co 및 94 중량% WC(평균 입도 2.5㎛)를 포함하는 혼합분말 99 부피% 및 나노다이아몬드 분말 1 부피%를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예와 동일한 방법으로 WC-Co계 복합재료 소결체를 제조하였다.

[0068] **<실험예>**

[0069] 도 2는 실시예 및 비교예 1 내지 3 각각에 따라 제조된 시편의 평면 및 단면에 대한 비커스 경도(Vickers hardness, HV) 시험 결과로서, 압흔(indentation)이 형성된 각 시편 표면에 대한 광학 현미경 사진 및 경도 측정값(최우측 칼럼 기재 수치는 2회 측정 평균값)을 보여준다.

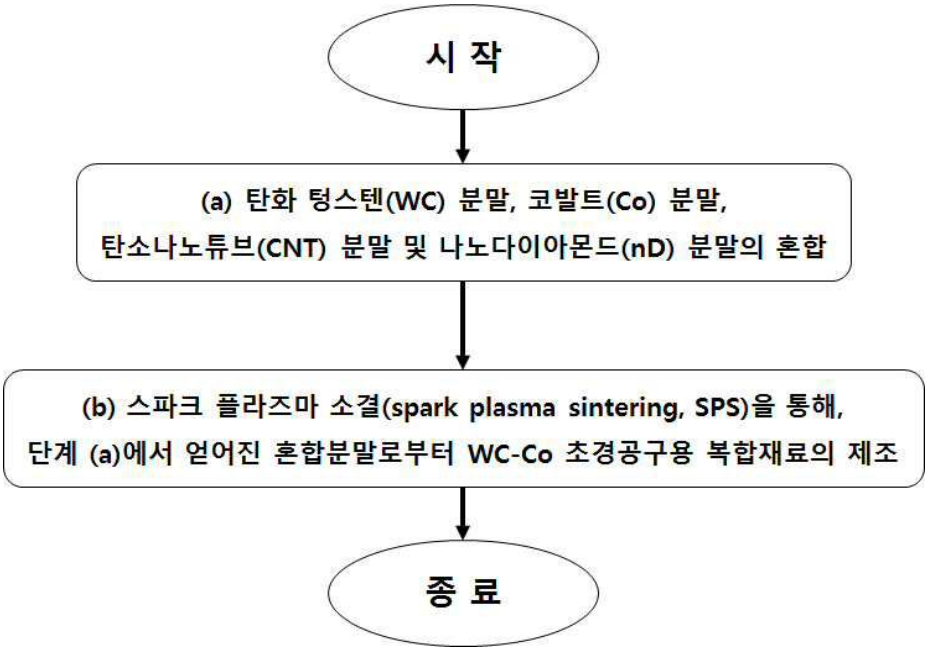
[0070] 도 2를 참조하면, 강화재로서 탄소나노튜브(CNT) 및 나노다이아몬드(nD)를 모두 포함하는 실시예에 따른 복합재료는, 강화재 미포함 WC-Co 초경합금(비교예 1)은 물론 탄소나노튜브(CNT) 및 나노다이아몬드(nD) 중 어느 하나만을 포함한 복합재료(비교예 2 및 비교예 3)에 비해서도 훨씬 향상된 경도 값을 나타냈다.

[0071] 특히, 실시예 따른 복합재료는 일차원의 선형인 CNT와 점의 형상인 nD를 동시에 첨가하고 혼합해 제조함으로써 일반적으로 알려져 있는 CNT의 분산/혼합의 어려움 (강력한 발데월스힘과 높은 장단축비로 인해서 분산이 어려움)을 자연스럽게 해결할 수 있는 장점이 있는 것으로 확인되었다(볼밀링 공정시 nD가 물리적으로 응집된 CNT 사이를 효과적으로 침투하여 응집을 파괴함).

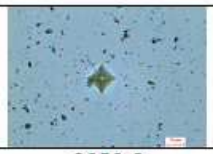
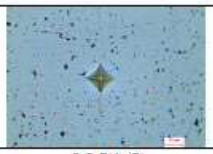
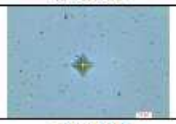
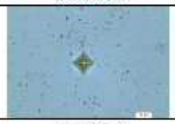
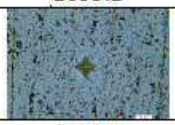
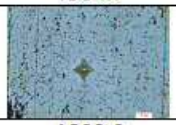
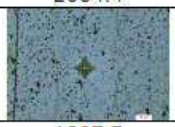
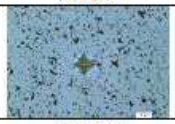
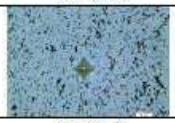
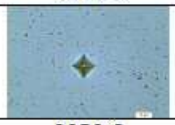
[0072] 이상, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

도면1



도면2

Sample		비커스 경도(Hv)		
실시예 WC /Co 6wt% /CNT 1vol% /nD 1vol%	평면	 2050.6	 2064.6	2057.6
	단면	 2107.7	 2093.2	2100.5
비교예 1 WC /Co 6wt%	평면	 1904.7	 2064.4	1984.6
	단면	 1892.0	 1807.7	1849.9
비교예 2 WC /Co 6wt% /CNT 1vol%	평면	 1995.3	 1982.4	1988.9
	단면	 2036.5	 2036.3	2036.4
비교예 3 WC /Co 6wt% /nD 1vol%	평면	 2050.6	 2036.5	2043.6
	단면	 2009.9	 2050.6	2030.3