November 2013
Master's Thesis

Microstructure and Mechanical Properties of SS400 by FSWed with WC-Binder Tool by SPS

Graduate School of Chosun University
Department of Naval Architecture &
Ocean Engineering
Jung-Han Ryu

Microstructure and Mechanical Properties of SS400 by FSWed with WC-Binder Tool by SPS

방전플라즈마소결법으로 제작 된 툴을 이용한
마찰교반용접에 적용 및 특성평가

November , 2013

Graduate School of Chosun University

Department of Naval Architecture &
Ocean Engineering

Jung-Han Ryu

Mechanical properties and Microstructure of Friction Stir Welds for high melting temperature materials

Advisor: Professor Hee-Seon Bang
A Thesis submitted for the degree of
Master of Engineering

November 2013

Graduate School of Chosun University
Department of Naval Architecture &
Ocean Engineering
Jung-Han Ryu

Thesis, written by Jung-Han RYU, is approved by Faculties

Department of Naval Architecture at Chosun University 375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwang-ju Republic of Korea

Chairman Dr. Hee-Seon Bang ____

Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Automotive Components R&D Group

Councillor Dr. Ik-Hyun Oh____

Department of Naval Architecture at Chosun University 375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwang-ju Republic of Korea

Councillor Dr. Han-Sur Bang ____

February 2013

Graduate School of Chosun University

CONTENTS

제 1 장 서 론

제 2 장 이론적 배경

제 3 장 실험 방법

제 4 장 시험결과 및 고찰

제 5 장 결론

List of Tables

List of Figures

ABSTRACT

SS400에 대한 마찰교반용접부의 기계적 성질 및 미세조직 평가

Ryu, Jung-Han
Advisor : Prof. Bang, Hee-Seon, Ph.D.
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering ,
Graduate School of Chosun University

마찰교반용접(Friction Stir welding, FSW)는 고상접합법으로서 probe와 shoulder로 구성되는 Tool을 고속으로 회전시켜 용접하고자 하는 재료에 삽입하여 재료의 표면과 내부에서 발생하는 마찰열을 이용하여 재료를 연화함과 동시에 고온 소성유동을 일으켜 툴의 좌우에 배치된 재료의 일부를 상호간에 맞은편 영역에 교반혼입시켜 접합을 실현하는 고상 접합 방법이다. 이 접합방법은 마찰열을 이용한 소성유동에 의한 접합으로 기존의 용융 용접 방법들보다 발열이 최소한으로 억제된다. 따라서 접합 후 열에 의한 변형이 적으며 결함도 거의 발생되지 않는다. 또한 용접 공정중 환경에 유해한 요소가 발생하지 않아 친환경적이다. 이러한 장점으로 현재 자동차, 철도차량, 선박 및 항공우주분야 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 최근에는 동, 타이타늄, 고장력강 등으로 적용을 확대하기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 기존의 툴을 사용하여 고융점소재 즉 타이타늄, 고장력강에 마찰교반용접을 적용시킬 경우 툴의 마모가 발생하여 건전한 접합체을 얻을 수가 없다.

그리하여 본연구에서는 Spark Plasma Sintering (SPS,방전유도소결법)을 Tool 재료 개발에 적용시켜, 고융점 소재에 대한 마찰교반용접의 최적화 공정을 개발하였다. 아울러 용접부에 대한 기계적성질을 평가하기 위해 인장시험, 경도시험을 실시하였고, 미세조직은 광학현미경과, 주사전자현미경을 사용하여 평가하였다.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

현재 환경문제에 따른 경량화, 안전문제에 의한 고강도 재료의 사용의 요구가 산업분야에 요구되어 지고 있다. 특히 항공, 자동차, 철도산업 등의 분야에 있어서 에너지 환경의 급격한 변화에 따른 환경규제가 심화됨으로 인하여 연비를 향상시킬 수 있는 경량소재의 사용이 요구되며 안전규제의 강화에 따라 고강도 소재의 적용 필요성이 점차 증가하고 있다.

마찰교반용접은 용접공정중 환경에 유해한 요소가 발생하지 않아 친환경적인 용접방법이며, 기존용접 방법들과 비교하여 접합 후 재료의 변형이 적어 현재 다양한 산업분야에 적용되어 지고 있다. 또한 알루미늄, 마그네슘과 같은 저 융점재료부터 타이타늄 스틸등의 고융점 재료로의 마찰교반용접 기술이 적용되고 있다.

고 융점소재 즉 타이타늄, 고장력강에 마찰교반용접을 적용시킬 경우, 기존의 툴은 마모가 발생하여 건전한 접합체를 얻을 수가 없다. 또한 현재 개발된 미국 Megastir사의 PCBN 툴의 경우 산업분야에 적용하기에 높은 가격을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 Spark Plasma Sintering process(SPS, 방전유도소결법)을 적용하여 고 융점 소재의 저렴한 Tool 재료를 개발하여 마찰교반용접에 적용하였다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 FSW의 원리 및 특징

2.1.1 FSW의 원리

비소모성 공구를 접합할 A와 B의 사이에 고속으로 회전시키면서 삽입을 하면 공구와 피접합체와 마찰열이 발생하게 된다. 이 마찰열에 의하여 공구 주변의 재료는 연화되어 공구의 교반에 의한 재료의 소성유동으로 접합이 이루어 지게 된다. 낮은 입열하에서 접합이 이루어 지므로 기존의 용융용접 방법과 비교하여 잔류응력 및 변형을 최소화할수 있다. 따라서 마찰교반용접시 용접부의 기계적 특성을 향상시킬수 있으며, 별도의 열원, 용접봉, 용가제 등이 불필요하여 접합과정에서 환경에 유해한 물질이 배출되지 않으므로 친환경적이며 경제적인 용접방법이다.

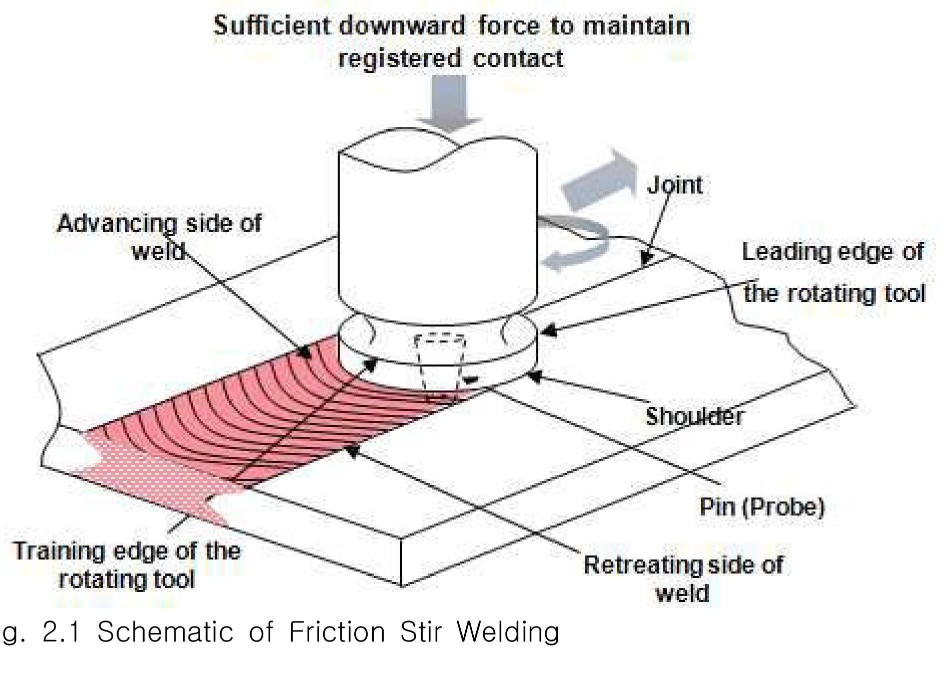
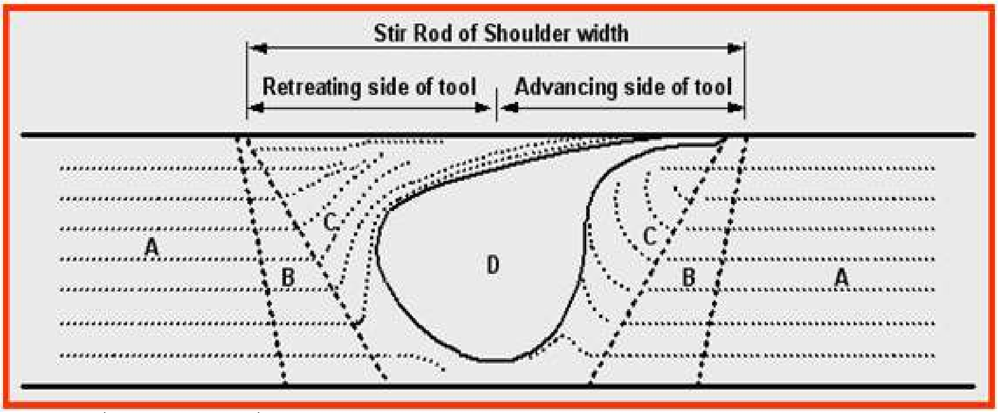


Fig. 2.1 Schematic of Friction Stir Welding



A: BM (Base Metal)

B: HAZ (Heat Affected Zone; affected by heat generated during FSW)

C: TMAZ (Thermomechanically Affected Zone; contains material that interacts indirectly with the tool , plastically deformed with partial recrystallization)

D: SZ (Stir Zone; contains material that interacts directly with the tool, dynamically recrystallized)

Fig 2.2 Microstructural regions in FSWelded SS400

2.1.2 FSW의 특징

마찰교반용접은 기존의 용융용접과 비교하여 별도의 열원, 용접봉, 용가제등이 불필요하여 접합과정에서 유해 관성이나 유해 물질이 배출되지 않아 경제적이면서 친환경적이라는 장점을 가진다. 또한 용접과정에서 fumes 과 spatter 가 발생하지않아 용접부의 기계적 특성이 우수하며 접합후 외관이 양호하다. 용융 용접에서 발생하기 쉬운 기공, 균열 등의 결함이 거의 발생하지 않으며 작업자의 숙련도나 기량에 크게 의존하지 않고, 자동화와 표준화가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 단점으로는 마찰교반접합부 종단에 Tool 핀부분의 구멍이 남는다는 것이지만 후처리 공정으로서 해결할수 있는 방법이 개발되어 지고 있다.

이러한 장점으로 많은 산업분야에 현재 마찰교반용접이 적용되어 지고 있다. 그중 자동차 분야에 있어서 혼다는 강철과 알루미늄을 마찰교반용접기술을 이용하여 신형 어코드(2.4 model)에 적용하여 기존의 강철제 프레임보다 강도를 20%높이고 무게는 25%낮추어 경량화로 인한 연비향상과 고강도로 안정성을 모두 향상시킬수 있었다. 마찰교반용접은 자동차, 조선등 기존 제조업부터 전자산업까지 응용범위가 확대되어 가고 있다. 가장최근 애플(apple)의 아이맥(iMAC)에 마찰교반용접이 적용되어 기존 제품보다 두께를 40% 이상 감소 시켰으며 두께 감소에 따른 경량화를 이루었다.

2.2 방전플라즈마소결

방전플라즈마 소결이란 직류펄스상의 전기에너지를 분말 입자간 방전에 의해 순간적으로 발생하는 고온의 플라즈마 에너지와 자체 저항발열 에너지, 가압에의한 기계적 에너지를 동시에 이용한 것이다. 이때 입자사이에서 발생한 방전플라즈마는 입자표면을 정화(Cleaning Effect)하거나 활성화시키고, 전기장에 의한 확산 작용으로 소결을 촉진한다. 기존의 방법인 상압소결, HP, HIP등에 비해 낮은 소결온도, 짧은 소결시간, 재현성 등의 이점이 있다. 이로인하여 고밀도 및 고순도의 소결체가 낮은 온도, 단시간에 제조될 수 있다. Fig2. 에 방전플라즈마현상의 모식도를 나타내었다.

방전플라즈마소결법의 가장큰 특징은 대전류와 압력을 재료에 가하여 고품질의 제품을 단시간에 재조하는데 있다. 방전 플라즈마 소결은 종래의 열간압축법(Hot Press)에 비해서 전력소비가 약 1/3~1/5정도로 적어지는 에너지 절감형 소결법이다. 또한 취급이 간편하면서 소결기술에 대한숙련이 필요하지 않다. 재료의 녹는점 아래에서 소결하기 때문에 기존의 높은 온도를 필요한(2000℃) 난소결성 재료 또한 소결이 가능하다.

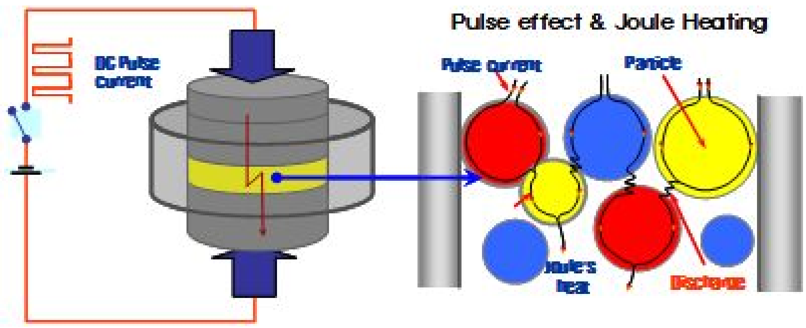


Fig2.3 DC pulse current flow through the particles of Spark Plasma Sintering

2.3 연강의 특성

탄소강은 함유된 탄소의 양에 따라 극연강(0.12%이하), 연강(0.12%~0.30%),경강(0.30%~0.50%), 최경강(0.50~0.90)으로 나누어진다. 본 논문에 쓰인 SS400은 연강(0.12%~0.30%)으로서 가장 많이 사용되는 강종으로 기계 및 구조물의 보조 부재로 사용되고 있다. 이 재료는 용접성과 가공성 경제성이 좋다는 장점이 있다. 현재 건축용 자재, 자동차용, 선박용, 해양구조물 건축 교량용으로 널리 사용 되고 있다. 시편의 크기는 300mm(L) × 100mm(W) × 2mm(T)로 가공되어 마찰교반용접방법에 의한 맞대기 접합이 실시되었다.

Materials	Chemical composition(wt%)				
SS400	C	Si	Mn	P	S
	0.14	0.009	0.67	0.01	0.003

Table 2.1 Chemical compositions of SS400

	Yield stress(MPa)	UTS(MPa)	Elongation(%)
SS400	310	350	42

Table 2.2 Mechanical properties of SS400

제 3 장 실험 방법

3.1 FSW 실험장비

본 논문에서는 Table 3.1의 WINXEN 사의 마찰교반용접장비가 사용되었다. 최대 회전속도는 3,000RPM, 최대 틸팅각은 5°이다. 또한 표에 나타난 바와 같이 X, Y 그리고 Z축은 각각 1,600mm, 1,800mm, 360mm 이다. 냉각 시스템이 장비에 장착되어어 있으며 최대 하중은 2,000kgf 이다.

FSW machine	Item		Specification
	X-axis	Stroke	1,600mm
		Speed	Max. 2,800 mm/min (3.2kw)
	Y-axis	Stroke	1,800mm
		Speed	Max. 2,800mm/min (3.2kw)
	Z-axis	Stroke	360mm
		Speed	Max. 2,800mm/min (5.5kw)
	Turn Axis		1~20RPM(2.1kw)
	Spindle Speed		Max. 3,000RPM (22kw)
	Tilting angle		Max. 5°
	Pressure Load		Max. 2,000kgf
	Temperature Telemetry System		Available
	Cooling System		Available

Table 3.1 Dimensional precision FSW machine and its specification

3.2 방전플라즈마소결 장비

본실험에서는 Fig,3.1 의 SPS(Sumitomo Coal Mining in Japan)1,000A 30,000A급의 소결장비를 사용하였다. 이 장비는 12V, 30,000A DC 전류공급이 가능하다. 또한 300 tons 의 최대 압력을 가할수 있고 최대 소결온도는 2200℃ 이다. 진공은 4.5 X 10-5torr 까지 가능하다. 그라파이트 몰드에 분말을 충진후 실험을 진행하였으며 이때 승온속도는 분당 60℃와 압력은 60MPa을 적용하였다.

Fig.3.1 Spark Plasma Sintering Machine

3.3 툴 형상 및 재원

SS400재료에 마찰교반용접을 적용하기 위하여 방전플라즈마소결 방법에 의해 WC-1wt.%Co-1wt.%TiC-1wt.%Mo2C -1wt.%ZrC 성분의 툴이 제조 되었다. 제조된 툴은 기계적 특성평가를 위해 비커스 경도 및 인성이 조사되었으며 미세구조 분석을위해 XRD장비와 FE-SEM 장비에 의해 분석되었다. 이 툴의 기계적 특성은 Table 3. 에 나타나 있다. 툴의 Probe 길이는 Fig. 와 같은 1,6mm에 3°의 concave 형태의 숄더를 적용하였다.

Before Welding	After Welding	Material	WC-binders
		Probe Diameter(mm)	3~5
		Probe Length(mm)	1.6
		Shoulder Diameter(mm)	11

Table 3.2 Tool appearance and Tool geometry

	Conventional Tool	Developed Tool
Hardness	1500HV	2100HV
Fracture Toughness	18MPa*$m^{1/2}$	9.8MPa*$m^{1/2}$

Table 3.3 Mechanical properties of conventional and developed tool material.

3 . 4 마찰교반용접 조건

FSW에서 주요 접합변수는 Tool의 회전속도(Rotating speed),Tool의 이송속도 (Travel speed), Tool의 삽입위치(Offset from weld line),Tool의 회전방향(Rotation direction), Backing plate등이 있다. 본 연구에서는 Tool 의 회전속도와 이송속도를 주요 변수로 선정하여 용접 조건을 고려하였다. 회전속도는 400~800RPM 그리고 이송속도는 2~8mm/s로 고려되었으며 접합할 판재 SS400은 두께 2mm 와 폭100mm, 길이 300mm의 두 개의 판재를 butt 용접하였다. 사용된 Tool 의 probe 길이는 1,6mm이고 숄더부의 직경은 11mm이다. 마찰교반용접이 적용된 각 시편은 인장시험 및 충격시험을 통하여 기계적 특성이 분석되었으며 OM 및 FE-SEM 장비를 이용하여 미세구조가 분석되었다.

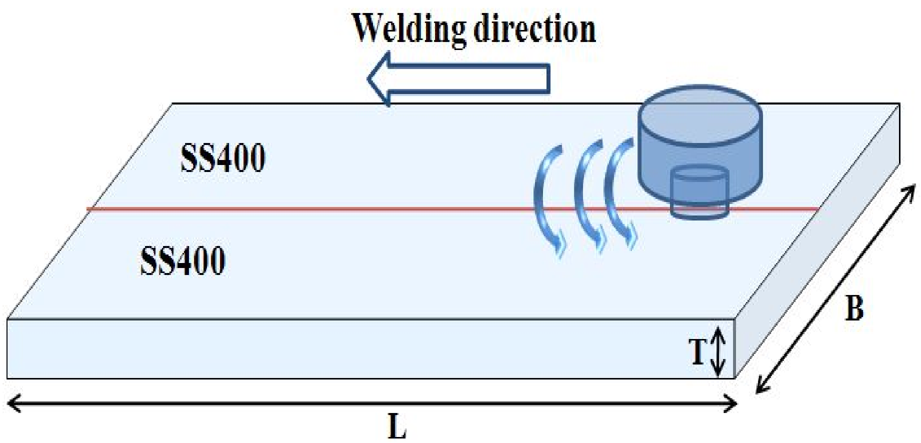


Fig. 3.3 Schematic illustrating of friction stir welding

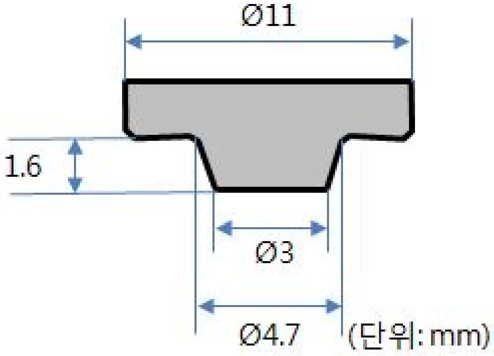


Fig. 3.4 Details of Tool shape

Welding condition		Values
FSW	Rotation speed(RPM)	400~800
	Welding speed(mm/s)	2~6
	Shoulder dia.(mm)	Ø11
	Pin dia.(mm)	Ø3~5
	Room temperature	20°
	Tilt angle	3°

Table 3.4 Welding condition during FSW

3.5 실험방법

3.5.1 인장시험

인장시험기는 Dongil-Simaz의 인장시험기(EHF-EG200KN-40L)를 사용하였다. Fig, 3. 와 같이 인장시편을 제작하였으며 이 인장시험편의 치수는 ASTM:E8 Subsize 규격을 사용하였다. 인상시험에 WINSERVO 프로그램을 사용하여 분석하였으며 인장시험시 하중속도는 0.05mm/sec를 사용하여 stress-strain 곡선이 분석되었다.

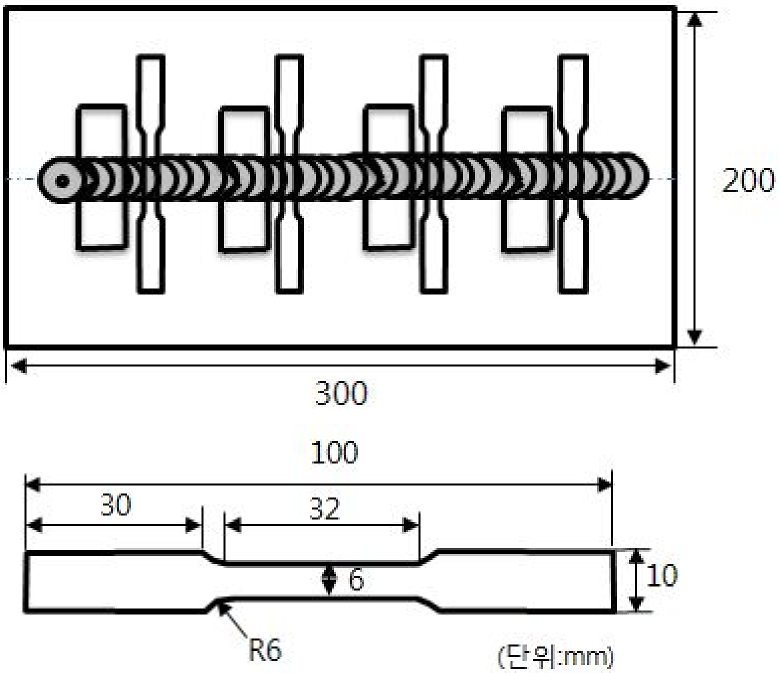


Fig. 3.5 Dimension of tensile test specimen

3.5.2 경도시험

Fig 3.7장비를 사용하여 용접시편의 용접부의 비커스 경도가 측정되었다. 사용된장비는 AKASHI HM-112 비커스 경도시험기 이며 500g 하중을 10초간 적용하여 경도가 측정되었다. Fig3. 와 같이 용접부의 중앙부를 0.3mm 간격으로 40번 측정하여 각각의 용접 시편을 분석하였다.

Fig. 3.6 Vickers hardness test machine and specimen

3.5.3 충격시험

구조물 또는 기계의 부재들은 사용 중 정적, 동적 하중을 받는다. 이때 동적 하중에 대한 재료의 저항력을 평가하는 요소로서 재료의 취성이나 인성이 중요한 판단 요소가 된다. 충격시험의 기본 원리는 충격 시험편에 충격을 가하고 시험편이 파손되는 과정에 소모하는 에너지를 측정하여 재료의 충격저항을 측정한다. 충격시험에서 나타나는 특징은 다음과 같다.

- 상온에서 연성 파괴되는 재료라 할지라도 특정 온도 이하에서는 취성파괴가 일어날 수 있다.
- 시편의 노치(notch)에 의한 영향을 많이 받는다.
- 가해지는 충격하중의 속도에 의한 영향이 크다.

샤르피(Charpy)충격시험은 일정한 질량을 갖고 있는 펜듈럼 해머를 일정한 각도로부터 내리쳐서 수직의 위치에 있는 시험편을 1회의 충격으로 파괴시켜 이때의 소모 된 에너지를 그 재료의 충격값으로 나타낸다. 이 충격시험의 원리로는 Charpy가 처음 시도한 충격 굽힘 시험법으로 시험편을 양단힌지로 고정한 다음 시험편의 notch부분이 타격위치에 오도록 한 후 시험편에 충격하중을 가하여 시험편이 파손되는데 소요된 흡수에너지를 측정한다.

* $h1 = \ell \{1 + \cos(180° - \alpha)\}$

* $h2 = \ell (1-\cos\beta)$

* $h = h1 - h2 = \ell \{\cos(180° - \alpha) + \cos\beta)\} = \ell(-\cos\alpha + \cos\beta)$

* $E = Wh = W\ell \{\cos\beta - \cos\alpha)$

Impact value $U = E/A$

Therefore, $U = W\ell (\cos\beta - \cos\alpha) / A$ [kgf-m/cm²]

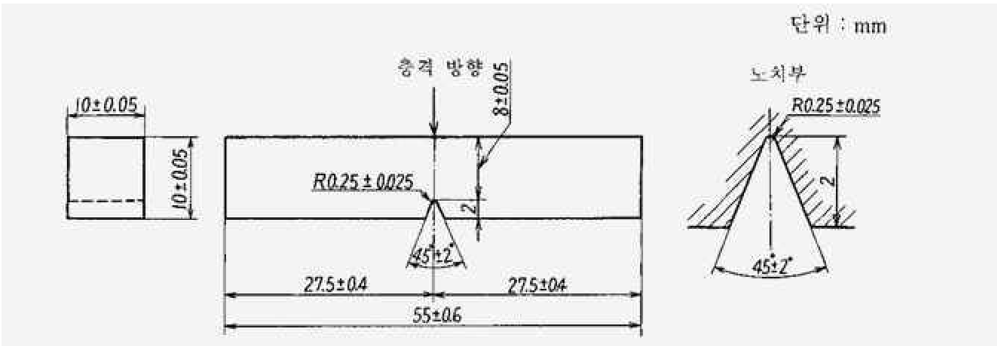


Fig. 3.7 Impact test

3.5.4 마이크로조직 분석시험

접합부의 결함과 미세조직 관찰을 하기위하여 접합한 소재의 접합부를 절단한 후 마운팅 하였다. 마운팅한 시편은 연마후 질산(Nitric acid) 5㎖, 에탄올(ethanol) 100㎖ 혼합용액(Nital)으로 에칭하였다. 조직은 Fig3.8의 OLYMPUS사의 Bx51m광학현미경(Optical Microscope)를 이용하여 접합부의 조건별 단면 미세조직특성을 분석하였다.

Fig. 3.8 Optical microscope

제 4 장 시험결과 및 고찰

4.1 방전플라즈마소결

4.1.1 사용분말 및 미세구조분석

본 실험에 사용된 분말은 텅스텐카바이드 (대구텍, 0.4~0.5 ㎛)와 코발트 (Alfa, 2㎛) 지르코늄카바이드(Alfa, 1㎛), 타이타늄카바이드(Alfa, 1㎛), 몰리브덴 카바이드(Alfa, 1㎛) 분말을 사용하였다. Fig. 1은 분말의 미세구조 분석을 위하여 FE-SEM과 XRD 장비를 이용하여 초기 분말들이 분석 되었다. Fig. 1에서 보는 봐와 같이 텅스텐카바이드는 구형을 띄고 있으며, 코발트의 경우 구형의 입자와 원통형 형상을 띄고 있는 것을 확인 할 수 있었다. XRD 피크 분석결과 Fig1 과 같이 나타났으며 Table 과 같이 중량비를 적용하여 분말을 혼합하였다.

분말은 High Enegy Ball Milling 방법에 의하여 10시간 동안 직경10mm 의 초경볼과 함께 혼합되었으며 혼합된 분발은 Fig 에 나타난 것과 같이 FE-SEM을 이용하여 분말의 형상이 분석되었으며 EDAX 분석을 통하여 분말의 조성비 또한 분석되었다. 분석결과 초기 계획한 분말조성비대로 분말의 조성이 잘 이루어진 것을 확인할 수 있었으며 이 분말을 이용하여 방전플라즈마 소결에 적용하였다.

	Powder Composite
1.	WC-1.wt%Co-1.wt%TiC
2.	WC-1.wt%Co-1.wt%ZrC
3.	WC-1.wt%Co-1.wt%TiC-1.wt%Mo2C
4.	WC-1.wt%Co-1.wt%TiC-1.wt%Mo2C -1.wt%ZrC

Table 4.1 Powder Composite for Spark Plasma Sintering

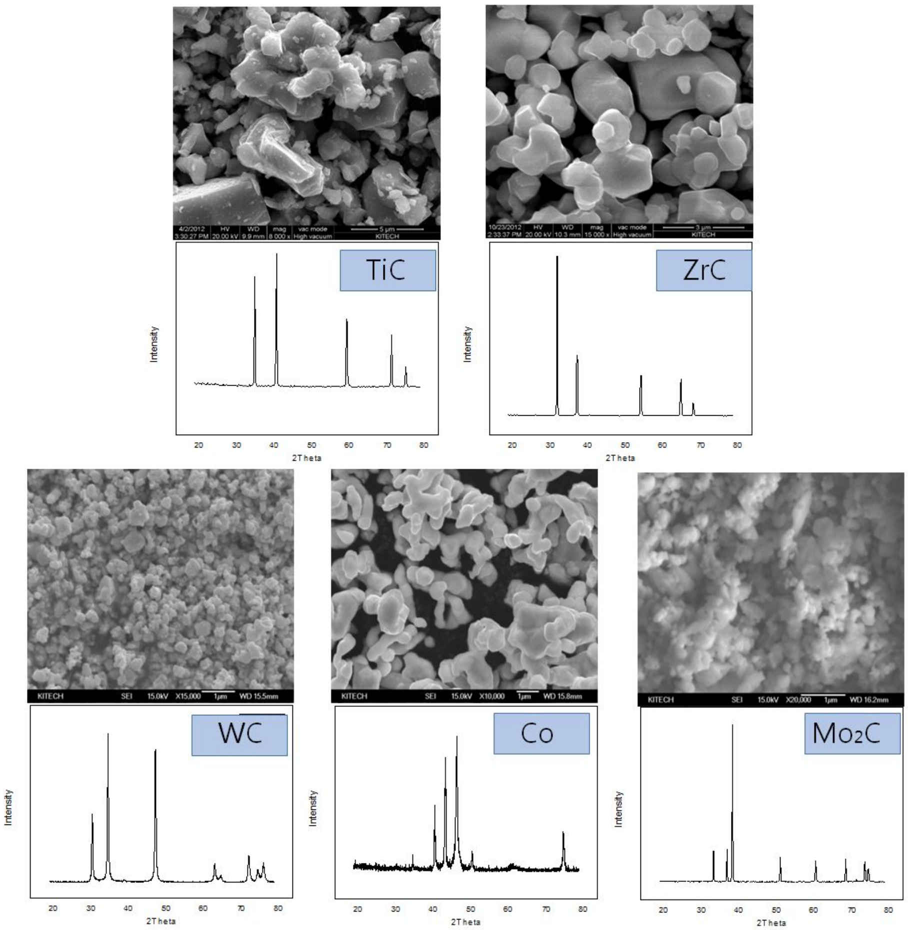


Fig4.1 FE-SEM image with XRD graph of Raw powders

4.1.2 방전플라즈마소결 및 기계적 특성평가

밀링 후 혼합 분쇄된 분말을 그라파이트 다이(외경 30 mm, 내경 10 mm, 높이 40 mm)에 충진 후 방전플라즈마소결실험을 진행하였다. 실험 순서로는 챔버 내에 밀링된 분말이 충진된 그라파이트 몰드를 장입한 후 진공상태로 만들어 주며, 이때 60 MPa의 압력을 가하여 준후 그라파이트 펀지에 직류 전류를 흘려주어 소결을 진행 하였다. 이때 Fig 와같이 시간에따른 수축 길이의 변화와 온도를 관찰하였으며, 온도의 변화는 파이로 메타를 이용하여 다이 표면의 온도를 측정하였다. 이때 승온 속도는 100 ℃/min으로 하여 약 10분간 소결을 진행하였다. 최종 온도인 1000℃에서 소결을 종료하였으며 다음 Fig. 4와 같이 소결실험이 진행되었다.

소결된 시편의 밀도는 아르키메데스 방법을 이용하여 밀도를 측정하였으며, 소결체의 표면은 무라카미 부식법(5g Fe3(CN)6, 5g NaOH 및 50 ml의 증류수)을 이용하여 에칭한후 주사 전자 현미경을 이용하여 표면이 관찰되었다. 선형 분석법을 이용하여 결정립 크기가 측정되었으며 또한 소결 후의 상 변화 관찰을 위하여 XRD 분석과 비커스 경도계를 이용하여 기계적 특성 평가를 실시하였다.

$$K_{IC} = 0.016\ (E/H)^{1/2}\ P\ /\ C^{3/2}$$

여기서 E는 탄성계수, H는 경도, P는 하중, C는 크랙의 길이이다. 다음 식에따라 Fig4.3 에 분석되었으며 WC-1.wt%Co-1.wt%TiC-1.wt%Mo2C-1.wt%ZrC 의 조성의 경우 가장 높은 인성값을 나타내었다. 이 식을 적용한 인성값은 Fig4.3에 나타나 있다.

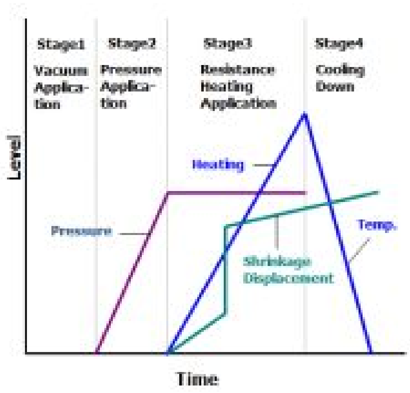


Fig4.2 Schematic diagram of time, temperature, pressure and shrinkage displacement profile during SPS process and different stages of consolidation

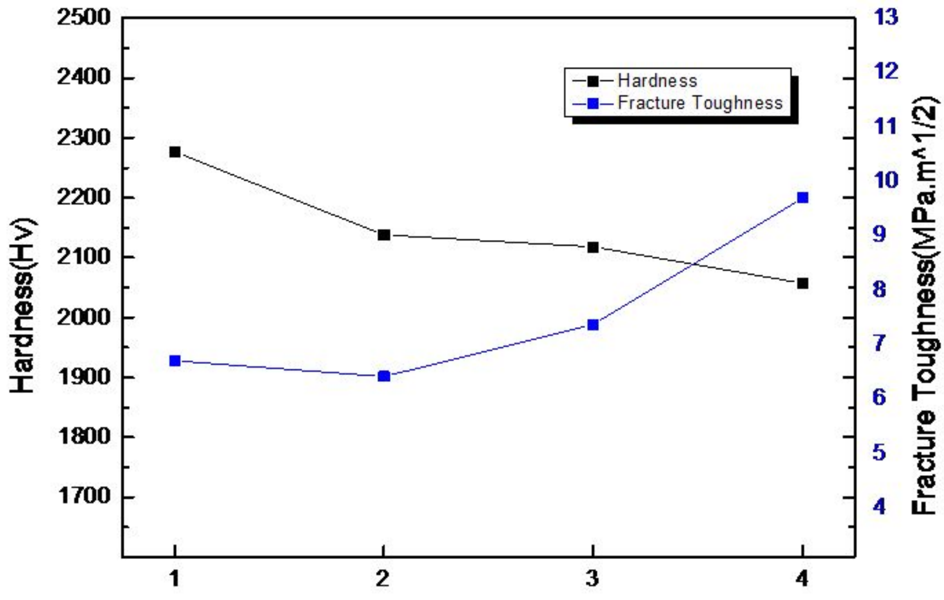


Fig4.3 Hardness and Fracture Toughness of sintered material

1.WC-1.wt%Co-1.wt%TiC 2.WC-1.wt%Co-1.wt%ZrC

3.WC-1.wt%Co-1.wt%TiC-1.wt%Mo2C

4.WC-1.wt%Co-1.wt%TiC-1.wt%Mo2C

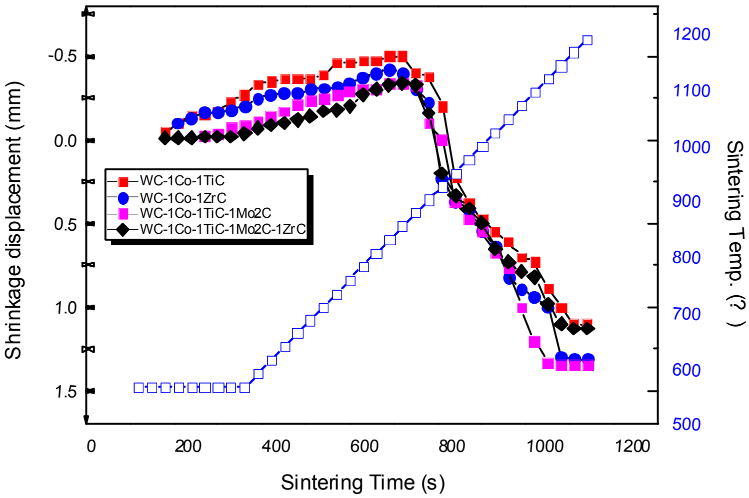
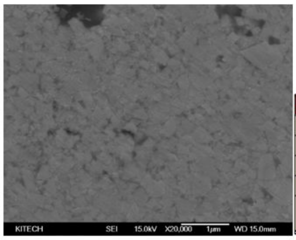


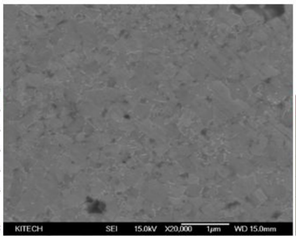
Fig4.4 Sintering Temp and Shrinkage displacement with sinteing time

4.1.3 미세구조 분석

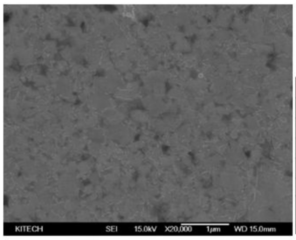
Fig4.6 에서와 같이 XRD 분석결과 코발트(Co)상이 HCP 구조에서 FCC 구조로 변화된 것을 확인할 수 있었다. 소결이 진행되면서 코발트가 약 600°℃에서 액상화 된 이후 다시 냉각으로 인하여 고체화 되면서 FCC 구조로 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 시편은 무라카미(5g $Fe_3(CN)_6$, 5g NaOH, 50ml distilled water) 법을 사용하여 10초간 상온에서 에칭 하였으며 에칭된 시편은 FE-SEM을 이용하여 ASTM B657 방법에 의해 결정립의 크기가 분석되었다. 결정립 크기를 분석한 결과 결정립 크기는 약 0.5 ㎛ 크기로 측정되었고 EDAX 분석결과 Fig4.5 와 같이 분석되었다. 이 시편을 이용하여 Fig4.7 와 같이 소결체를 재작, 가공하여 마찰교반용접에 적용하였다.



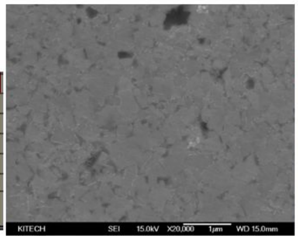
Element	Wt%	At%
CK	10.28	64.33
TiK	00.92	01.80
CoK	01.18	01.50
WL	86.81	32.37
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
CK	10.12	62.00
ZrK	0.89	0.88
CoK	1.03	1.44
WL	87.81	35.67
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
CK	13.32	66.69
TiK	0.94	1.19
CoK	1.24	1.20
MoCK	0.87	0.78
WL	86.24	30.14
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
CK	13.27	67.87
TiK	1.21	1.23
CoK	0.98	1.42
ZrK	1.23	0.74
MoCK	1.33	0.74
WL	82.34	28.00
Matrix	Correction	ZAF

Fig4.5 FE-SEM image with EDAX of Sintered material

1.WC-1.wt%Co-1.wt%TiC 2.WC-1.wt%Co-1.wt%ZrC

3.WC-1.wt%Co-1.wt%TiC-1.wt%Mo2C

4.WC-1.wt%Co-1.wt%TiC-1.wt%Mo2C

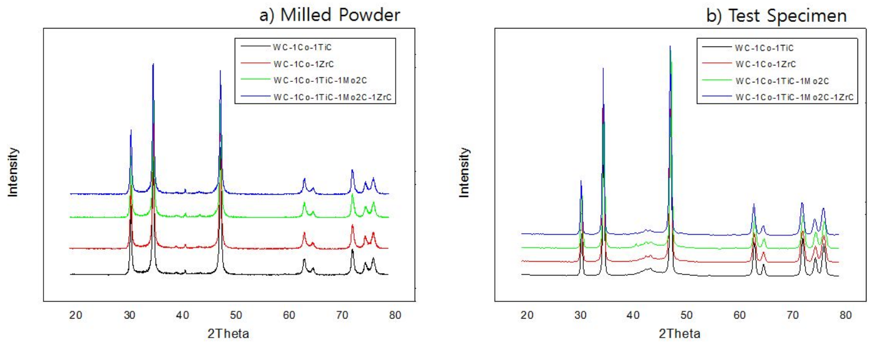


Fig4.6 XRD peaks a) Milled Powder, b) Test Specimen

Fig4.7 Sintered Material

4.2 FSW 접합조건별 비드의 형상

회전속도 400,600,800(RPM) 이송속도 2, 4, 6(mm/s)으로 용접 조건을 정하여 마찰교반용접 실험을 실시 하였다. 조건별 용접부 외관은 Fig 4,8에 나타내었다. 회전속도800, 이송속도2 에서는 높은 회전속도와 낮은 이송속도로 인하여 과다한 입열이 발생하여 용접부에 과대한 버가 발생함을 확인 하였다.

Rotation Speed (RPM)	Traveling Speed (mm/s)	Bead Appearance
400	2	
400	4	
400	6	
600	2	
600	4	
600	6	
800	2	
800	4	
800	6	

Fig4.8 Bead Appearance according to Rotation Speed with Traveling Speed

4.2.1 인장시험 및 충격시험

인장시험은 ASTM E8규격에 따라 시편을 재작하여 실험을 실시하였다. 실험결과 Fig4.10에서 나타난바와 같이 회전속도 400, 600(RPM) 이송속도2, 4 (mm/s) 조건에서 모재파단으로 양호한 인장시험편을 확인할 수 있었다. 회전속도 800(RPM) 이송속도 4 (mm/s) 에서는 용접부 파단이 관찰되었으며 회전속도 400, 600 (RPM) 이송속도 2(mm/s) 에서는 입열량 부족에 의하여 용접부에서 시편이 파단된 것으로 사료된다. Fig4.11 에는 충격시험 결과를 나타내었다. 충격시험은 KS B 0809 규격에 따라 시험편을 제작하여 실험을 실시 하였다. 충격시험 결과 회전속도 400(RPM) 이송속도 4 (mm/s) 조건에서 모재와 가장 비슷한 특성을 나타내었다. 인장시험과 충격시험결과를 바탕으로 SS400에서는 회전속도 400RPM, 이송속도 2mm/s 인 조건에서 가장 알맞은 마찰교반용접 공정조건으로 사료된다.

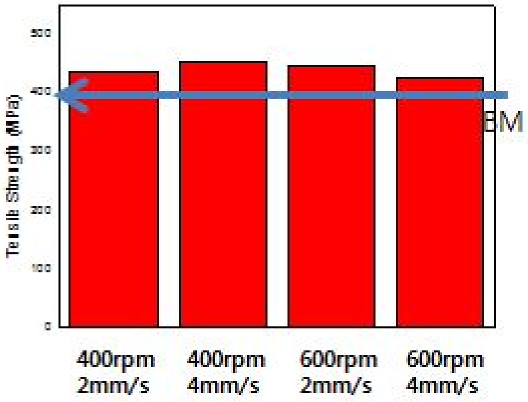


Fig4.9 Tensile Strength of FSWed SS400

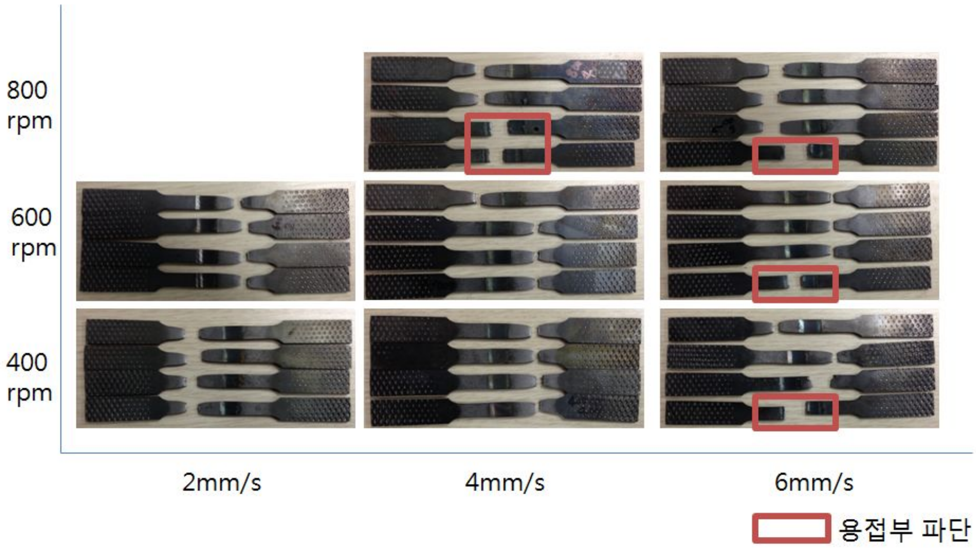


Fig 4.10 Fractured specimens after tensile test

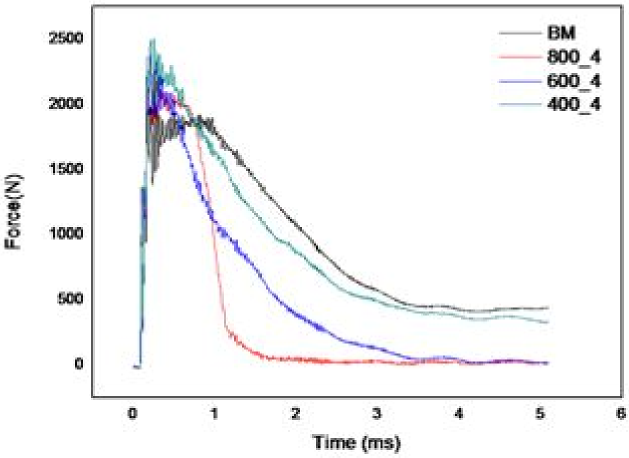


Fig4.11 Impact Test of SS400

4.2.2 용접부 경도시험

마찰교반용접을 400RPM 이송속도 3, 4, 5 mm/s 조건으로 실험한 시편의 용접부 횡단면을 마크로 애칭하여 모재부와 용접부의 경도변화를 관찰하였다. 측정간격은 0.3 mm 간격으로 총 40번 측정하였으며 모재부의 경우 약 140HV 값을 가졌으며 열영향부(TMAZ) 부분에서 201HV 값으로 가장 높은 경도 값을 가졌다. 용접부(Stir Zone) 의 경우는 약 180HV 값으로 열영향부에 비해서는 낮은 경도값을 가지나 모재부 보다는 더 높은 경도값을 가지는 것을 확인하였다.

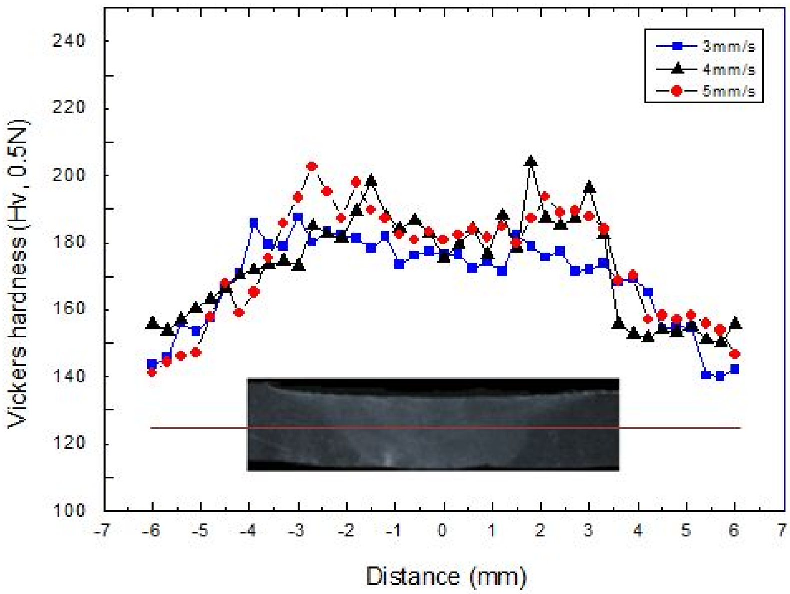


Fig 4.12 Hardness distributions of FSWed SS400 with 400RPM

4.3 마찰교반용접부 미세조직 관찰

용접 조건에 따른 용접부의 미세조직을 광학현미경을 통하여 관찰하였다. 모재부의 경우 20 ㎛ 의 입자크기를 가지며 용접부의 경우 5 ㎛ 로 입자의 크기가 작아지는 것을 확인하였다. Fig 4.13 과 Fig 4.14의 a, c 부분은 용접부의 열영향부(TMAZ)를 나타내며 b부분은 용접부(SZ)의 중앙부를 나타낸다. 용접부는 모재와 비교하여 입자크기의 감소는 관찰되었으며 마찰교반용접에 따른 상의 변화는 관찰되지 않았다.

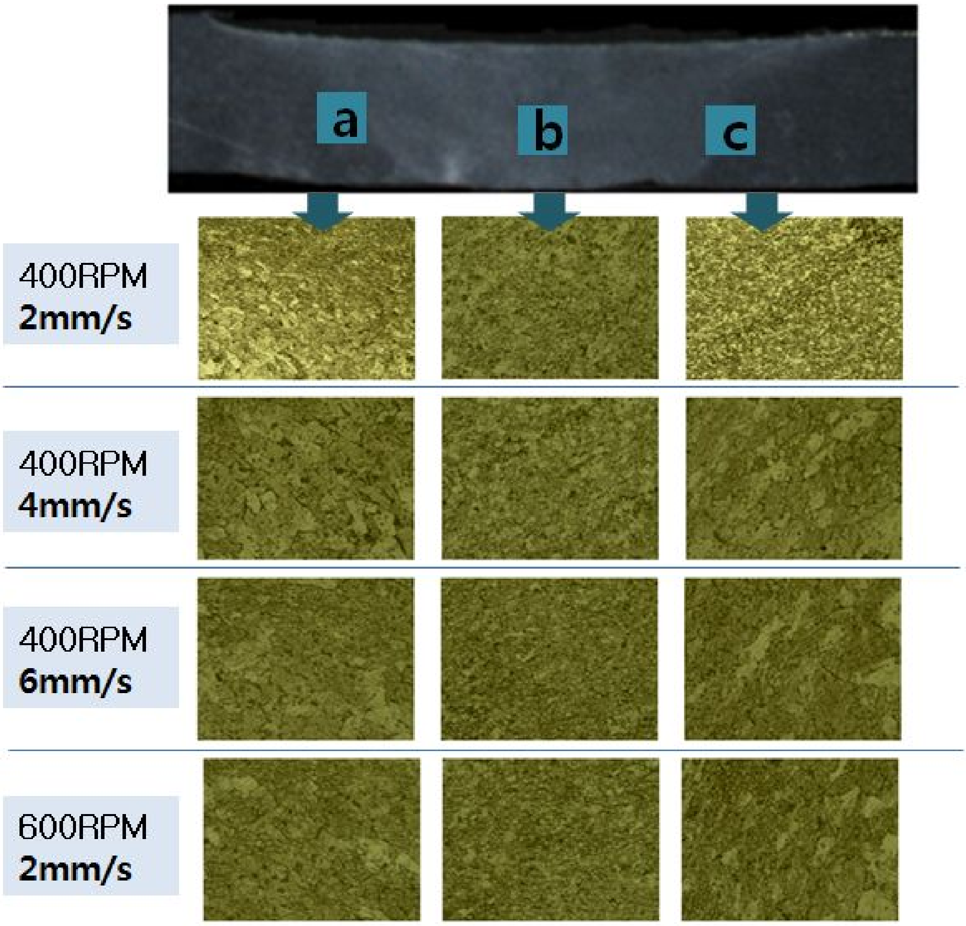


Fig4.13 Optical image of SS400 : 400RPM_2, 4, 6mm/s, 600RPM_2mm/s

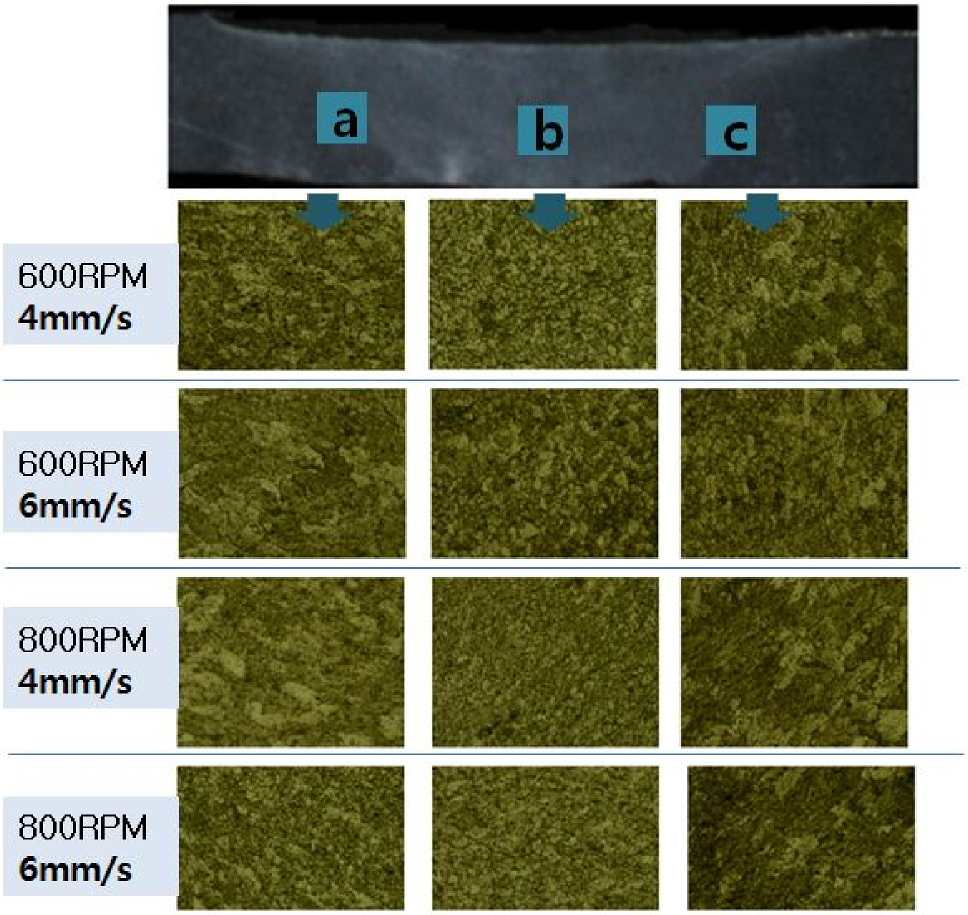


Fig4.14 Optical image of SS400 : 600RPM_, 4, 6mm/s, 800RPM_4,6mm/s

4.4 방전플라즈마소결법 제조 툴에대한 수명평가

방전플라즈마소결법에 의해 재조된 소결 툴 WC- 1.wt%Co -1.wt%TiC -1.wt%Mo2C 의 수명은 총 20m의 결과를 나타내었다. 기존의 미국 Megasitr 사의 PCBN 소재의 툴과 수명을 비교하였을 경우 수명은 약 1/2 로서 수명이 짧지만 방전플라즈마 소결 방법에 의한 소결 툴 재조시 소결 툴의 재조 비용이 1/10로 줄어든다. 따라서 비록 소결 툴의 수명은 PCBN과 비교 하여 짧지만 비용적인 면에서는 소결 툴의 경우 더 우수하다. 또한 마찰교반용접시 툴의 마모도는 가공 후 소결툴의 무게 766g에서 1m 당 약 0.02g 씩 감소함을 확인하였다. 하지만 약 20m 마찰교반용접 후 툴의 핀 부분이 삽입시 파괴되는 현상이 관찰되었다. 추 후 소결툴에 대한 코팅공정을 거침으로써 더 강도 및 인성이 높은 소재 개발이 요구된다.

제 5 장 결론

5.1 결론

방전플라즈마법에 의해 소결된 툴을 이용하여 SS400에대한 마찰교반용접이 실험되었으며 가장 적합한 용접조건을 확인하기 위한 분석이 수행되었다. 가장 적합한 용접조건을 확인하기 위해 인장시험과 충격시험을 통하여 기계적 특성평가를 확인하였으며 미세조직이 관찰되었다. 이 분석들을 통하여 다음 사항들이 확인되었다.

- 회전속도 400RPM, 이송속도 2mm/s 의 경우 인장시험과 충격시험을 통하여 가장 양호한 용접조건이 확인 되었으며 미세조직관찰결과 결함이 없음을 확인하였다.
- 회전속도 800RPM, 이송속도 2mm/s 의 경우 높은 욧접 입열로 인하여 용접 외관에서 버가 과대하게 생기는 것을 관찰하였다.
- 마크로 경도 시험을 통하여 모재부와 비교하여 열영향부(TMAZ)와 용접부(SZ)에서 경도값이 높아지는 것을 확인하였으며 용접부(SZ)는 열영향부와 비교하여 경도값이 약간 낮아지는 것을 확인하였다.
- 인장시험 결과를 통하여 회전속도 400, 600 (RPM) 이송속도 2, 4 (mm/s) 인 경우 양호한 용접시험편을 얻을 수 있었다. 그 외의 조건에서는 모재부에서 시편이 파단 됨을 확인함으로써 용접조건으로 적합하지 않은 것을 확인하였다.

미국 Megasitr 사의 PCBN 소재의 툴과 수명을 비교하였을 경우 수명은 약 1/2 로서 수명이 짧지만 툴의 재조 비용이 1/10로 줄어든다. 따라서 비록 소결 툴의 수명은 PCBN과 비교 하여 짧지만 비용적인 면에서는 소결 툴의 경우 더 우수하다. 툴의 마모도는 가공 후 소결툴의 무게 766g에서 1m 당 약 0.02g 씩 감소함을 확인하였다. 하지만 약 20m 마찰교반용접 후 툴의 핀 부분이 삽입시 파괴되는 현상이 관찰되었다. 추 후 소결툴에 대한 코팅공정을 거침으로써 더 강도 및 인성이 높은 소재 개발이 요구된다.

REFERENCES

[1] H.S. Bang, H.S. Bang, S.M. Joo, “Numerical simulation of Al-SPCC weldment”, Key Engineering Materials, P1738~1744, Oct., 2006

[2] Y.J.Chao, and X.Qi: Heat transfer and thermo-mechanical analysis of Friction Stir joining of Al6061-T6 plates, 1st International Symposium on Friction Stir Welding, (1999).

[3] A.Askari, S.Silling, B.London, and M.Mahoney: Modelling and Analysis of Friction Stir Welding Processes, Friction stir welding and Processing, TMS publication,(2001) p.43.

[4] H.S. Bang. "Study on The Mechanical Behaviour of Welded part in thick Plate - Three-dimensional Thermal Elasto-Plastic Analysis Baseon Finite Element Method." Journal of the Korean Welding Society, Vol.10, No.4, pp.37～43, December 1992.

[5] G.H. Jeon, A Study on Weldability of TIG Assisted Friction Stir Dissimilar Welding of Al6061 Alloy and STS Sheet, 2010

[6] Ulrike Dressler, Gerhard Biallas, Ulises Alfaro Mercado. "Friction stir welding of titanium alloy Ti6Al4V to aluminium alloy AA2024-T3", 2009

[7] AWS, WELDING HANDBOOK, Vol.1, Eighth Edition, 1987.

[8] AWS, WELDING HANDBOOK, Vol.2, Eighth Edition, 1991.

[9] Bynum, J.E., "Modification to the Hole Drilling Technique of Measuring Residual Stresses for Improved Accuracy and Reproducibility", Journal of Experimental Mechanics, U.S.A., Vol. 21, No. 1, Jan. 1981.

[10] Hidekazu Murakawa, Jianxun Zhang and Hiroyuki Minami, ''FEM Simulation of welding process(ReportⅢ)", Trans. JWRI, Vol. 28, No.1, pp.41~46, 1999.

[11] L.E.Murr, et al.: Solid-state flow association with the friction stir

welding of dissmilar metals, Fluid flow phenomena in metals processing (1999), 31-40
[12] Z. Sun, R. Karppi, "The application of electron beam welding for the joining of dissimilar metals: an overview", Journal of materials processing technology 59 (1996) 257-267
[13] H.S. Bang, G.Y. Han, "The plane-deformation thermal elasto-plastic analysis during welding of plate", The society of naval architects of korea p33~40, Apr.1994
[14] WELDING HANDBOOK, Eighth Edition, Volume 3, MATERIALS AND APPLICATION PART 1, pp.100~110, AMERICAN WELDING SOCIETY.
[15] E. G. WEST, THE WELDING OF NON-FERROUS METALS, CHAPMAN & HALL LTD, 1951, pp.129~254.