

고온 진공 브레이징을 이용한 초경합금과 스테인리스강의 접합 계면 특성

박동환¹ · 현경환² · 권혁홍^{3,#}

Analysis of Bonding Interfaces between Cemented Carbide and Stainless Steel made via Hot Vacuum Brazing

D. H. Park, K. H. Hyun, H. H. Kwon

(Received October 8, 2020 / Revised November 6, 2020 / Accepted November 10, 2020)

Abstract

The cemented carbide and stainless steel were bonded using a hot-vacuum brazing method to analyze the bonding interface. Since it is suitable for the hot vacuum brazing, nickel metal was used as a binder among the main components of the cemented carbide, and a new cemented carbide material was developed by adjusting the alloy composition. The paste, which is one of the important factors affecting the hot vacuum brazing bonding, was able to improve brazing adhesion by mixing solder as Ni powder and a binder as an organic compound at an appropriate ratio. Division of the stainless steel yielded a dense brazing result. This study elucidated the interfacial characteristics of wear-resistant parts by bonding stainless steel and cemented carbide via hot vacuum brazing.

Key Words: Vacuum Brazing, Bonding Interfaces, Heterogeneous Material, Cemented Carbide, Stainless Steel

1. 서 론

용융아연도금은 다른 재질의 용융금속도금보다 효과가 우수하고 경제적이기 때문에 다른 용융금속도금에 비해 그 수요가 많으며, 용융아연도금 방법으로 만들어진 아연도금강판은 자동차 및 가전제품의 외장재 및 건축토목 분야에 폭 넓게 사용되고 있다. 연속용융아연도금 설비는 아연도금강판을 연속으로 생산할 목적으로 만들어진 장비이며, 탈지세정, 산세, 플럭스처리, 건조, 용융아연도금조 침적, 수냉 및 건조 등의 공정을 통하여 제작된다. 특히 용융아연도금조의 침적공정에서 도금용 강판이 약

500~600°C 용융아연도금조에 침지된 상태로 싱크롤(sink roll), 스타브 롤(stab roll) 및 코렉트 롤(correct roll)의 경로로 이송되는 과정에서 아연이 강판 표면에 도포된 후 인출되면서 용융 아연도금이 이루어진다. 실제로 도금이 이루어지는 용융아연도금조에서 강판이 이송되는 동안에 싱크롤, 스타브롤 및 코렉트롤의 부품들이 용융아연용액에 침지된 상태로 구동하게 되며, 더불어 강판과 접촉되는 각 롤(roll)에는 강판의 장력에 의해 하중이 부과된다. 이로 인하여 용융아연에 침지된 각 롤의 양 끝단 축수부에 위치한 베어링 부품, 즉 부시(bush)와 슬리브(sleeve)에 하중이 부과된 상태로 회전함에 따라 이들 부품에 마모가 발생하게 된다. 특히, 강판이 아연도금용액에 침지된 후에 처음으로 접촉되는 싱크롤에 가장 높은 하중이 부과되기 때문에 베어링 부품의 마모량이 매우 심하여 단기간에 부품을 교체

1. 경북하이브리드부품연구원, 책임연구원
2. 인하대학교 금속재료공정공학과, 대학원생
3. 대전대학교 기계공학과, 교수

Corresponding Author : Department of Mechanical Engineering, Daejin University, E-mail: hhkwon@daejin.ac.kr
ORCID: 0000-0002-4249-4868

하고 있는 실정이다[1-7]. 또한, 연속용융아연도금조의 롤 축수부용 베어링 부품, 즉 부시와 슬리브가 과도한 마모로 인하여 베어링 부품의 교체 주기가 짧아지는 경우에는 생산성 저하뿐만 아니라, 아연도금강판의 품질 저하 및 환경오염 문제 등이 점진적으로 발생함에 따라 기존 제품보다 가격이 저렴하면서도 고수명화가 가능한 부품 개발이 요구된다.

베어링 부품 중에서 슬리브 부품은 고온에서 내마모성이 요구되는 부품으로 다이 캐스팅(die casting)과 샌드 캐스팅(sand casting) 등 주조 공정과 달리 초경합금을 주로 사용한다[8-14]. 하지만, 초경합금은 고가로 슬리브 부품 전체를 사용하기에는 고가이므로 슬리브 부품은 스테인리스강인 STS316L 소재로 제작하고, 일부는 초경합금 편(button)으로 제작하여 원가절감이 가능하다. 초경합금은 금속탄화물(WC, TiC, TaC)을 골격으로 하고, 철족 금속(Fe, Ni, Co)을 결합제(binder)로 사용하여 분말야금(powder metallurgy) 공법으로 제조한 합금이다. 산업전반에서 가장 많이 사용되는 초경합금은 WC+Co를 기본으로 한다. 즉, 초경합금은 고용점 탄화물의 분말을 체적비에 의해 10~30%의 코발트·니켈로 소결한 합금으로 높은 경도와 강한 인성을 가진 합금이다. 초경합금의 기계적 성질은 바인더(Fe, Ni, Co) 양이 증가하면 내마모성, 압축강도 및 경도는 감소하나 인성은 증가한다. 바인더의 양이 동일한 경우에 WC의 결정입도가 미세할수록 경도는 증가하나 조대할수록 떨어진다.

Lee 등[15]은 탄소강 와이어 다단 신선공정 시 와이어 표면에서 발생하는 축방향 잔류응력 예측 모델을 제안하였다. Lee 등[16]은 용접시편의 위치에 따라 연속압입시험을 행하고 각각의 실험에서 도출된 압입하중-변위곡선의 변화추이 분석을 통해서 비파괴적으로 용접부의 잔류응력을 측정하였다. 잔류응력은 온도의 차이나 가해지는 힘의 차이에 의해 발생하게 된다. 특히 온도의 차이에 의해 발생하는 잔류응력은 강구조물을 용접할 경우 용접부 끝부분이 안쪽에 비해 그 냉각속도가 빠르기 때문에 끝부분은 빠른 수축으로 인한 압축응력이 발생하고 안쪽은 인장응력이 발생하게 되는데, 이로 인하여 내부에는 잔류응력이 발생하게 된다. 잔류응력이 발생하는 요인은 용접, 압연 및 단조 가공 등에 의해 높은 잔류응력이 발생하게 되면 재료가 가지고 있는 원래의 물성을 구현하지 못하고 발생된 잔류응력만

큼의 물성이 감쇄하는 경우가 있으므로 설계하중에서 피로파괴의 원인이 될 수 있다.

본 연구는 고온 진공 브레이징을 이용한 연속 용융금속 도금조용 고수명 이중재질 내마모 부품 개발로 Fig. 1 과 같이 연속용융금속도금설비 중에 약 500~600°C 용융금속도금조에 침지된 상태로 회전하면서 고하중이 부과되어 마모가 심하게 발생하는 롤 축수부에 위치한 베어링 부품을 내식합금 주강인 스테인리스강과 분말야금으로 제작한 초경합금(cemented carbide)을 고온 진공 브레이징 공법으로 접합하여 기존보다 고수명을 달성하고자 한다[17-19]. 고온 진공 브레이징을 이용한 이중재질 내마모 부품은 고온에서 고하중이 적용되는 용융금속도금설비에서 가장 마모가 심한 부품이다. 내식합금 주강과 초경합금을 고온 진공 브레이징으로 접합하여 내마모 접합부품의 계면 특성을 파악하고자 한다.

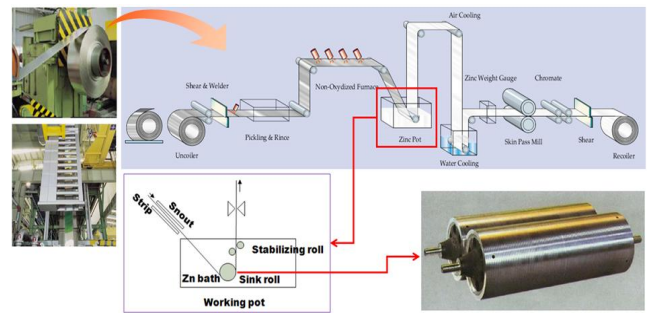


Fig. 1 Continuous hot-dip galvanizing equipment process and working pot

2. 실험 방법

2.1 초경합금 제조

초경합금은 고온에서 내마모성이 우수해야 하며, 초경합금과 스테인리스강을 접합할 경우 고온 진공 브레이징 공정에 적합해야 하므로 새로이 합금성분 조정을 통하여 초경합금 소재를 개발하였다. 초경합금의 주성분 중에 결합제(binder) 금속으로 주로 사용되는 코발트(Co)를 배제하고, 니켈(Ni)을 적용하였다. 즉, 일반적으로 사용되는 바인더는 Co 금속이지만, 내식성과 고온작업에 유리한 원소인 Ni 금속을 적용하였다. Ni는 소결 시 온도조절이 어렵고, 성분에 함유된 탄소(carbon)의 조절이 어려운 특성을 가지고 있다. 그러므로 초경합금 성분은 WC 84%, Ni

16%로 구성하였으며, WC 는 내열성과 내마모성을 향상하기 위해 입도가 중간크기인 $4\ \mu\text{m}$ 로 제작하고, Ni 는 입도가 $1.3\ \mu\text{m}$ 크기로 제작하였다. 초경합금의 전체 탄소 함량은 유리탄소가 나타나지 않고 건전한 조직을 얻을 수 있는 5.12%로 결정하였다. 초경합금 소재 개발은 원료 제조, 성형, 예비소결, 소결 순으로 실시하였다.

먼저, 초경합금의 원료 제조는 합금성분 조정, 배합, 건조, 채질 순으로 진행하였다. 배합(mixing)은 볼밀(ball mill)로 $\varnothing 6$ 초경합금 볼을 매디아로 사용하고, 용매로는 석유화학 제품의 부산물인 노말헥산을 사용하였다. 또한, 배합 작업 시 분산효과를 얻기 위해 계면활성제를 투입하였다. Fig. 2 는 초경합금의 원료 배합을 위한 볼밀을 보여준다. 건조(dry)는 볼 밀 작업을 완료한 원료를 초경합금 볼과 분리하여 파라핀 왁스(윤활제)를 투입하여 달턴 믹서기에서 30rpm 으로 회전시켜 헥산이 완전히 증발할 때까지 95°C 에서 2 시간 건조하였다. 채질(sieving)은 건조가 완료된 원료를 균일한 입도를 얻기 위해 진동 장치가 설치된 체(#40)에서 $425\ \mu\text{m}$ 이하 크기로 채질 작업을 진행하였다.

초경합금의 성형은 30ton 유압프레스에서 압력은 $30\text{kgf}/\text{mm}^2$, 크기는 폭 8mm, 길이 25mm, 두께 4mm 로 성형하였다. Fig. 3 은 초경합금 팁을 성형하기 위한 금형을 보여준다. 성형된 시편을 700°C 수소-질소 분위기에서 파라핀 왁스의 제거 및 강도 부여 등의 목적으로 예비소결을 실시하였다. 즉, 예비소결은 유압프레스 성형 제품에 파라핀 왁스를 제거하기 위한 공정으로 공정 중에 가스를 투입으로 WC 와 산소(O_2)와의 반응, 즉 산화방지 효과가 발생하도록 하였다. 예비소결 제품을 고진공(2×10^{-3} Torr) 및 $1,380^\circ\text{C}$ 이상의 고온에서 소결을 실시하였다. Fig. 4 는 초경합금을 소결하기 위한 진공 소결로를 보여준다. 소결은 진공 분위기에서 이루어지며, 바인더인 니켈(Ni)이 액상화가 되는 시점에서 Ni 의 증발을 방지하기 위하여 저진공($1.0 \times 10^{-1} \sim 1.8 \times 10^{-1}$ Torr)으로 실시하였다.

초경합금 팁의 밀도, 경도, 항절력에 대한 측정결과를 Table 1 과 같이 목표 물성에 도달함을 알 수 있다.

제조과정에서 혼입된 이물질이나 미세기공(micro pore)이 관찰되지 않고 건전한 조직을 얻을 수 있었으며, 과다 소결(over sintering)로 인한 입자 성장이

발생하지 않았다. Fig. 5 는 소결 후 초경합금 팁을 보여준다. 소결 시편의 외형에서 치수, 함몰, 균열(crack) 및 뒤틀림 등이 발생하지 않음을 알 수 있었다.



Fig. 2 Ball mill equipment for material mixing



Fig. 3 Forming die for making specimens



Fig. 4 Vacuum sintering furnace for making cemented carbide



Fig. 5 Cemented carbide specimens after sintering

Table 1 Test results of cemented carbide tip

Classification	Dimensional tolerance	Measurement data
Density(g/cm ³)	13~15	14.04
Hardness(HRA)	80~95	86.4
Transverse Rupture Strength(N/mm ²)	2,550~3,500	2,980

2.2 진공 브레이징 접합

고온 진공 브레이징 공정에서 가장 중요한 것은 적정량의 Ni 합금이 치밀하고 균일한 두께로 빈틈 없이 접합부위가 형성되도록 하는 것이 핵심이다. 고온 진공 브레이징의 최적 조건을 확보하기 위하여 초경합금 팁과 스테인리스강 몸체를 사용하여 브레이징 작업을 실시하였다. 여기서 사용된 스테인리스강 몸체는 STS316L 소재를 적용하였다. 고온 진공 브레이징 접합에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나인 페이스트(paste)는 솔더(solder)와 바인더로 구성하였다. 솔더는 Ni 성분을 주성분으로 선정하여 내식성과 강도가 우수하며, 적용하는 온도 범위를 크게 할 수 있는 특징이 있다. 바인더는 평활도가 뛰어난 유기 화합물을 선정하였다.

니켈 분말에 함유된 수분을 제거하기 위해 80°C에서 30 분 이상 충분히 예열하고 바인더와 배합을 실시하였다. 그러므로 페이스트는 Ni 분말인 솔더와 유기 화합물인 바인더를 적정비로 배합하여 브레이징 밀착력을 향상할 수 있도록 하였다. 장입 방식은 그라파이트 판 위에 세라믹 지그를 이용하여 상호 간섭이 일어나지 않는 일정 간격을 유지하게 배열하여 고온 진공 브레이징 작업을 2 단계로 실시하였다. Fig. 6 은 고온 진공 브레이징 작업용 시편을 보여준다. 고온 진공 브레이징 작업은 1 단계로 필수적으로 혼입되어야 하는 유기물질, 즉 바인더를 브레이징 과정에서 충분히 배출할 목적으로 400°C에서 2 시간동안 유지하였다. 또한, 2 단계로 브레이징 층의 치밀성을 높이기 위해 액상선 위의 온도인 1,150°C에서 30 분간 유지하였다. 고온 진공 브레이징 기술을 적용한 초경합금과 스테인리스강을 접합한 시제품 제작을 위하여 접합부의 균일성과 밀착성을 얻기 위하여 여러 번의 시험을 진행하였다.

초경합금과 스테인리스강 접합을 위한 소재 표면의 연마 작업은 브레이징 과정에 밀착성을 높이는 중요한 과정으로 표면조도와 치수 관리가 핵심이다. 표면 연마에 사용된 공구는 #170 다이아몬드 연마석을 사용하여 0.02mm의 절입속도로 거친 표면을 만들어 브레이징 작업 시 밀착력을 증대시킬 수 있도록 하였다. 초경합금과 스테인리스강 형상은 직사각형으로 고온 진공 브레이징 과정에서 밀착력을 개선하기 위해 알루미늄 분말(#200)로 샌드블라스트 작업을 실시하여 이물질 제거와 동시에 표면에 요철을 부여하였다. Fig. 7은 고온 진공 브레이징 작업을 위해 연마 완료된 초경합금 팁과 스테인리스강 몸체를 보여준다.

고온 진공 브레이징 과정에서 장비의 미세한 진동으로 인하여 가공품의 위치 이동 방지와 균일한 두께의 브레이징 층을 얻기 위하여 고정 지그를 사용하였다. 고정 지그는 1,100°C 내외의 고온에서 금속과 반응성이 없는 알루미늄 세라믹으로 제작하였다. Fig. 8은 알루미늄 세라믹으로 제작한 고온 진공 브레이징 작업용 고정 지그를 보여준다.



Fig. 6 Specimens for hot vacuum brazing work



Fig. 7 Cemented carbide tip and stainless steel body after polishing

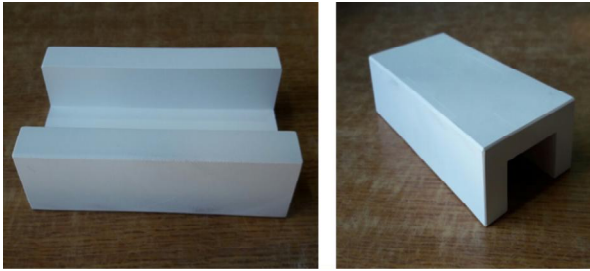


Fig. 8 Charging jig for hot vacuum brazing

3. 실험결과 및 고찰

3.1 진공 브레이징 접합 계면 평가

일반적으로 초경합금은 경도가 높고 내마모성이 높으며, 스테인리스강의 2.5 배~3 배나 높은 영율을 가지고 있다. 특히, 열전도율에 있어서 스테인리스강의 2 배로 탁월하지만, 열팽창계수는 스테인리스강(STS316L)은 열팽창계수가 $16.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 값을 가지며, 초경합금은 강의 약 1/2 정도로서 $4.5 \sim 8.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 값을 갖는다. 강과 조합하여 사용하는 경우 강과의 열팽창계수 차이 때문에 가공온도와 사용온도 차이에 의한 변형관계를 주의해야 한다. Fig. 9와 같이 1 차로 초경합금 팁과 스테인리스강 몸체를 대상으로 제작을 진행하였으나, 진공 브레이징 계면에서 파손이 발생하였으며, 스테인리스강 몸체는 굽힘 현상이 발생하였다. 이는 초경합금 및 스테인리스강 재질에서 나타나는 열팽창계수 차이에 의해 발생하는 응력을 견디지 못하여 브레이징 계면이 파손되며, 스테인리스강 몸체는 굽힘이 발생하는 것으로 판단된다. 또한, 브레이징 접합부의 한쪽 끝단에서 약 0.8mm의 틈이 발생되어 완전하게 접합되지 않는 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 고온 진공 브레이징 공정에서 상온까지 냉각되는 과정에서 발생하는 응력을 브레이징 접합면 전체로 분산시키는 방향으로 시도하였다.

Fig. 10과 같이 2 차로 초경합금 팁과 스테인리스강 몸체를 대상으로 제작을 진행하였으나, 진공 브레이징 계면에서 파손이 발생하였으며, 스테인리스강 몸체는 굽힘 현상이 발생하였다. 스테인리스강 몸체의 형상을 변형시켜 초경합금에 가해지는 부하 및 굽힘 현상을 최소화하기 위하여 스테인리스강 하단에 깊이 5mm, 폭 1.5mm의 홈을 10mm 간격으로 10개 형성시켜 고온 진공브레이징 작업을 실시하였

다. 1 차에서 보다 상당히 개선되었으나, 들뜸 상태의 틈(간격 0.2~0.3mm, 길이 약 11mm)이 발생하였다.

Fig. 11과 같이 3 차로 초경합금 팁과 스테인리스강 몸체를 대상으로 제작을 진행하였으나, 진공 브레이징 계면에서 파손이 발생하였으며, 스테인리스강 몸체는 굽힘 현상이 발생하였다. 스테인리스강 몸체의 형상을 변형시켜 초경합금에 가해지는 부하 및 굽힘 현상을 최소화하기 위하여 스테인리스강 몸체의 형상을 폭 2mm, 깊이 4mm의 홈을 양단에 13개 형성시켜 브레이징 부위의 응력을 분산시키는 방향으로 시도하였다. 브레이징 작업결과 개선된 현상이 나타났으나, Fig. 11에서 보는 바와 같이 미세한 틈(간격 0.1mm 이하, 길이 약 8mm)이 한쪽 끝단에서 발생하였다.

Fig. 12와 같이 최종적으로 초경합금 팁과 스테인리스강 몸체를 대상으로 제작을 진행하여 진공 브레이징 계면에서 파손이 발생하지 않고, 치밀한 브레이징 결과를 얻을 수 있었다. 브레이징 시제품은 초경합금을 일체형으로 제작하고, 스테인리스강 몸체를 여러 조각으로 분리하는 방향으로 설계하여 기존에 발생한 브레이징 접합부의 파손 문제를 해결하였다. 그러므로 치수가 큰 초경합금(50mm 이상)을 브레이징 하는 경우 상대물인 스테인리스강 몸체를 여러 조각으로 분리하여 접합하면 열팽창계수 차이로 인한 브레이징 계면의 파손이 방지되는 것으로 판단된다.

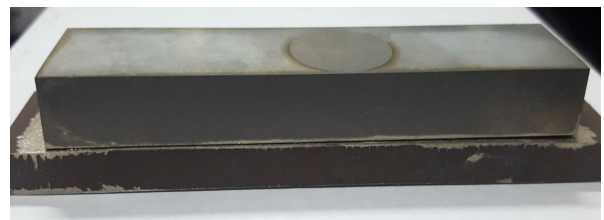


Fig. 9 First specimens of hot vacuum brazing

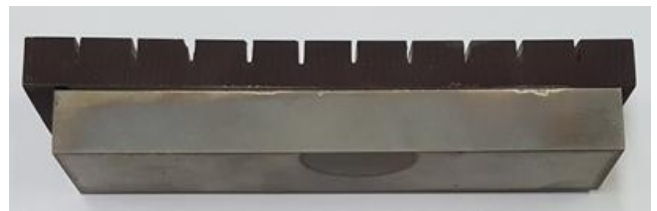


Fig. 10^{2nd} specimens of hot vacuum brazing



Fig. 11 3rd specimens of hot vacuum brazing

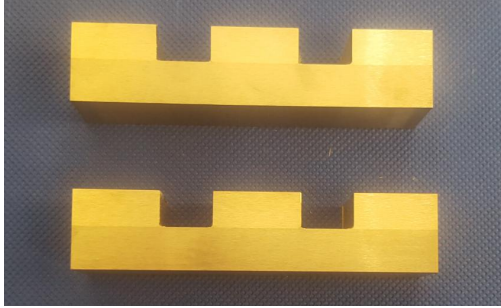


Fig. 12 Final specimens of hot vacuum brazing

3.2 잔류응력 평가

잔류응력이란 물체가 외부의 힘에 의해 영구 변형이 발생되었을 때 그 외부의 힘을 제거한 뒤에도 물체에 남아있는 응력을 말한다. 잔류응력은 비파괴 방식인 X-Ray 를 이용하여 2 개의 이미지 센서로 감지하여 측정하였다. 잔류응력을 측정하기 위한 시험장치는 Fig. 13 과 같이 지그를 사용하여 시험편을 완전히 고정하고, 스테인리스강과 초경합금의 각 부위 지점을 지정하여 잔류응력을 측정하였다. 잔류응력 측정값의 편차를 줄이기 위해 동일조건에서 반복시험을 통해 측정하였다. Fig. 14 는 2 차 시험 시험편의 잔류응력 측정부위를 보여준다. 스테인리스강 몸체의 형상을 변형시켜 초경합금에 가해지는 부하 및 굽힘 현상을 최소화하기 위해 스테인리스강 하단에 홈을 형성시켜 브레이징을 실시한 결과 브레이징 부위에서 들뜸 상태의 틈이 발생된 시험편에 대해 잔류응력을 측정하였다. XRD 방식을 이용하여 표면 잔류응력을 측정한 결과, 스테인리스강 몸체에는 주로 압축 잔류응력이, 초경합금 팁에는 인장 잔류응력이 나타나고, 전반적으로 낮게 나타났다. 이는 스테인리스강 몸체의 하단절개로 구속이 자유로운 반면에 초경합금 팁과 브레이징으로 구속되어 있는 스테인리스강 몸체 상부는 냉각과정에서 수축에 의한 변형이 작용하여 굽힘 현상에 의한 낮은 압축 잔류응력이 나타나고, 브레이징으로 구속되어 있는 초경합금 팁

의 하단에는 이에 상응하는 낮은 인장 잔류응력이 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 15 는 3 차 시험 시험편의 잔류응력 측정부위를 보여준다. 스테인리스강 몸체 양단에 홈을 형성시켜 브레이징을 실시한 결과 브레이징 접합부에서 들뜸 상태의 틈이 발생된 시험편에 대해 잔류응력을 측정하였다. 잔류응력을 측정한 결과, 스테인리스강 몸체에는 인장 잔류응력, 초경합금 팁에는 압축 잔류응력이 나타나고 응력 수준이 전반적으로 낮게 나타났다. 이는 스테인리스강 몸체의 상·하부 절단으로 브레이징이 구속된 상태로 냉각과정에서 스테인리스강 하부에 수축 변형으로 인한 낮은 압축응력이 작용함에 따라 스테인리스강 상부에 인장 잔류응력이 나타나고, 브레이징 접합된 초경합금 팁에 이와 상응하여 압축 잔류응력이 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 양단 홈이 형성된 일체형 스테인리스강 몸체인 경우 열팽창계수 차이에 의한 변형으로 발생한 잔류응력을 완전히 이완시키기에 충분하지 않아 파손이 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 16 은 최종 시험 시험편의 잔류응력 측정부위를 보여준다. 열팽창계수 차이에 의한 브레이징 접합부의 파손을 방지하기 위해 스테인리스강 몸체를 절단·분할하여 브레이징을 실시한 결과 양호하게 브레이징 접합된 시험편에 대한 잔류응력을 측정하였다. Table 2 는 계량적 수치로 나타낸 잔류응력 측정결과를 보여준다. XRD 방식을 이용한 표면 잔류응력을 측정한 결과, 스테인리스강 몸체에는 인장 잔류응력이, 초경합금 팁에는 압축 잔류응력이 발생되었으며, 각 위치별 잔류응력 수준이 비교적 높게 나타났다. 이와 같은 잔류응력 수준에도 파손이 발생하지 않은 것은 스테인리스강 몸체의 절단·분할로 인하여 스테인리스강 및 초경합금의 열팽창계수 차이에 의한 변형으로 잔류응력이 브레이징 접합부의 파손을 발생시킬 수 있는 수준에 도달하지 않았기 때문으로 판단된다. 따라서 스테인리스강 몸체의 형상을 절단 분리하여 열팽창계수 차이에 의한 변형으로 잔류응력을 이완시킬 수 있다면 스테인리스강 몸체에는 인장 잔류응력이, 초경합금 팁에는 압축 잔류응력이 비교적 높게 존재하더라도 브레이징 부위의 파손은 발생하지 않는 것으로 판단된다.

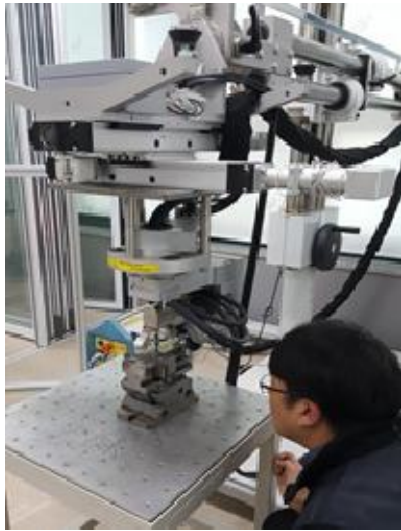


Fig. 13 Residual stress measuring machine

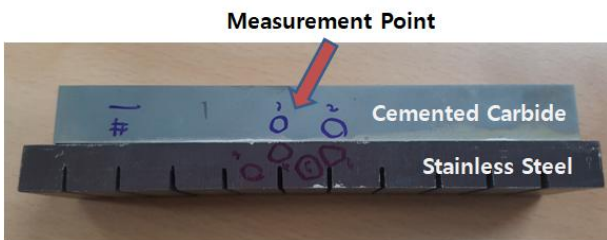


Fig. 14 Measurement position of residual stress of 2nd specimens

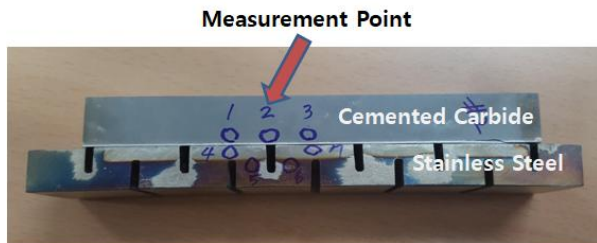


Fig. 15 Measurement position of residual stress of 3rd specimens

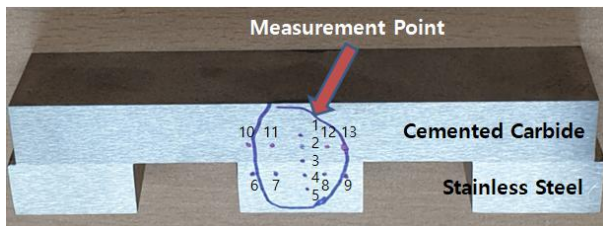


Fig. 16 Measurement position of residual stress of final specimens

Table 2 Measurement results of residual stress of final specimens

Measurement Position No.	Residual stress[MPa]
1	271
2	356
3	-17
4	-592
5	-535
6	-631
7	-567
8	-557
9	-552
10	284
11	201
12	253
13	234

4. 결론

본 연구는 연속용융금속도금설비 중에 약 500~600°C 용융금속도금조에 침지된 상태로 회전하면서 고하중이 부과되어 마모가 심하게 발생하는 롤 축수부에 위치한 베어링 부품을 내식합금 주장인 스테인리스강과 분말야금으로 제작한 초경합금을 고온 진공 브레이징 공법으로 접합하여 접합 계면 특성을 파악하였다. 이상의 연구를 통하여 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 고온 진공 브레이징 공정에 적합해야 하므로 초경합금의 주성분 중에 결합제로 니켈 금속을 적용하여 새로이 합금성분 조정을 통하여 초경합금 소재를 개발하였다.

(2) 고온 진공 브레이징 접합에 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나인 페이스트는 Ni 분말인 솔더와 유기 화합물인 바인더를 적정비로 배합하여 브레이징 밀착력을 향상할 수 있었다.

(3) 초경합금 및 스테인리스강 재질에서 나타나는 열팽창계수 차이에 의해 발생하는 응력을 견디지 못하여 브레이징 계면이 파손되며, 스테인리스강 몸체는 굽힘이 발생되므로 상온까지 냉각되는 과정에서 발생하는 응력을 브레이징 접합면 전체로 분산시키는 방향으로 스테인리스강을 분할하여 치밀한 브레이징 결과를 얻을 수 있었다.

(4) 스테인리스강 몸체의 형상을 절단 분리하여 열팽창계수 차이에 의한 변형으로 잔류응력을 이완시킬 수 있다면 스테인리스강 몸체에는 인장 잔류응력이, 초경합금 팁에는 압축 잔류응력이 비교적 높게 존재하더라도 브레이징 부위의 파손이 발생하지 않음을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] D. H. Park, J. T. Hong, H. H. Kwon, 2017, Development of Sleeve Parts for Continuous Hot Zinc Plating Roll Applied to Wear-Resistant Alloy Cast Steel, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.* 26:4 357-364. <https://doi.org/10.7735/ksmte.2017.26.4.357>
- [2] D. H. Park, J. J. Yun, J. T. Hong, H. H. Kwon, 2017, Sand Casting Process Design for the Bush Parts of the Continuous Hot Zinc Plating Roll Applied to Wear-Resistant Alloy Cast Steel, *KSMPE*, 16:4 104-112. <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2017.16.4.104>
- [3] K. D. Lee, T. K. Ha, J. Y. Jung, 2009, Characterization of High Temperature Mechanical Properties of Cast Stainless Steels for Exhaust Manifold, *Trans. Mater. Process.* 18:3 217-222. <https://doi.org/10.5228/kspp.2009.18.3.217>
- [4] S. W. Kim, J. S. Park, K. A. Khalil, 2006, Effects of C, Si and RE on Microstructures of DCI using Permanent Mold Casting, *Journal of the Korean Foundrymen's Society*, 26:4 174-179. <https://doi.org/10.1007/s12540-009-0221-6>
- [5] S. T. Kim, Y. S. Park, 2009, Effects of Copper and Sulfur Additions on Machinability Behavior of High Performance Austenitic Stainless Steel, *Metals and Materials International*, 15:2 221-230. <https://doi.org/10.1007/s12540-009-0221-6>
- [6] Y. S. Kim, W. T. Kwon, M. S. Seo, S. H. Kang, 2012, Tool Performance of New Wear-Resistant Cermets, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 13:6 941-946. <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0122-3>
- [7] H. S. Yoon, Y. K. Oh, 2011, Numerical Study on Thermal Deformation of AC4C and AC7A Casting Material, *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 20:5 541-546.
- [8] E. S. Kim, 2005, Die Casting Process Design for Gear Housing of Automobile Transmission by using MAGMA Soft, *Trans. Mater. Process.* 14:2 112-120. <https://doi.org/10.5228/kspp.2005.14.2.112>
- [9] Y. C. Kim, S. W. Choi, J. I. Cho, C. Y. Jeong, C. S. Kang, 2008, Optimization of the Thin-walled Aluminum Die Casting Die Design by Solidification Simulation, *Journal of the Korean Foundrymen's Society*, 28:4 44-48.
- [10] J. J. Han, H. W. Kwon, 2011, Effects of Alloying Element and Grain Refinement on the Tensile Properties of Mg Alloy Casted with Sand Mold, *Journal of the Korean Foundrymen's Society*, 31: 4 212-217. <https://doi.org/10.7777/jkfs.2011.31.4.212>
- [11] S. R. Choi, C. K. Kim, K. Park, C. H. Oh, 2000, Development of Precision Casting Technology for Inlet Gear Box using Selective Laser Sintering, *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, 9:1 30-37.
- [12] Singaram Lakshmanan, 2010, Improving Quality of Sand Casting using Taguchi Method and Analysis, *International Journal on Design and Manufacturing Technologies*, 4:1 1-5. <https://doi.org/10.18000/ijodam.70071>
- [13] I. Nawi, W. A. Siswanto, A. E. Ismail, 2014, A Study of Auto Pour in Sand Casting Process, *Applied Mechanics and Materials*, 660:1 74-78 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.660.74>
- [14] M. G. Kim, Y. J. Kim, 2002, Investigation of Interface Reaction between TiAl Alloys and Mold Materials, *Metals and Materials International*, 8:3 289-293. <https://doi.org/10.1007/bf03186098>
- [15] D. W. Kim, S. K. Lee, B. M. Kim, J. Y. Jung, D. Y. Ban, S. B. Lee, 2010, Prediction Model of Surface Residual Stress for Multi-Pass Drawn High Carbon Steel Wire, *Trans. Mater. Process.* 19:4 224-229. <https://doi.org/10.5228/kspp.2010.19.4.224>
- [16] J. S. Lee, Y. H. Lee, Y. Choi, K. H. Kim, D. I. Kwon, 2005, Evaluation of Residual Stress for Weldments using Continuous Indentation Technique, *Trans. Mater. Process.* 14:6 541-546. <https://doi.org/10.5228/kspp.2005.14.6.541-546>
- [17] S. Y. Lee, 2012, Microstructures of Bonding Interfaces after Semi-Solid Brazing of Aluminium using A357

- as a Filler Metal, Trans. Mater. Process. 21:8 506-511.
<https://doi.org/10.5228/kstp.2012.21.8.506>
- [18] N. H. Kim, J. R. Cho, Y. J. Ra, S. B. Lee, Y. S. Choi, 2018, Structural Reliability Evaluation for Brazed Joints of Fine Tube Heat Exchanger on an Aero Engine, J. Korean Soc. Precis. Eng., 35:8 783-789.
<https://doi.org/10.7736/kspe.2018.35.8.783>
- [19] T. W. Kim, S. H. Ham, H. I. Moon, H. Y. Kim, 2007, Prediction of Residual Stress in Straightening Process of SUS304 Wire, Trans. Mater. Process. 16:6 463-46.
<https://doi.org/10.5228/kspp>