

Fe-23Cr-2.5C-1.2Si-1.08Mn-0.48Mo-0.3V-xNi 주철의 내식성 및 피삭성에 미치는 Ni의 영향

김기빈, 정성식, 백민숙, 윤동주*
순천대학교 차세대전략산업용 희유자원실용화센터

Effect of Nickel Content on Corrosion Resistance and Machinability of Fe-23Cr-2.5C-1.2Si-1.08Mn-0.48Mo-0.3V-xNi Cast Iron

Ki-Bin Kim, Sung-Sik Jung, Min-Sook Baek, Dong Joo Yoon*
Center of Practical use of Rare Materials, Suncheon National University

요 약 압출기 스크류 소재는 주로 냉간 금형 공구강(SKD11)이 사용되고 있는데, 최근 합성 수지의 발달로 화학적 부식 및 마모 발생이 증가하고 있다. 이를 개선하기 위해 내마모성과 내식성이 우수한 고크롬 주철의 사용이 요구되지만, 난가공성으로 사용이 기피되고 있다. 본 연구에서는 고크롬 합금의 난가공성을 개선하기 위해 Fe-23Cr-2.5C-1.2Si-1.08Mn-0.48Mo-0.3V 조성의 고크롬 주철에 가공성이 우수한 니켈을 0, 0.5, 1.0, 1.5 % 첨가하여 주조하고 열처리를 진행한 후, 선삭 시험과 동전위 분극 시험을 통해 니켈이 피삭성 및 내식성에 미치는 영향을 분석하여 SKD11과 비교하였다. 고크롬 주철은 고주파 진공유도용해로를 사용하여 주조하고, 이후 750 °C에서 5시간 동안 풀림 처리와 풀림 처리 후 1100 °C에서 5시간동안 재열처리를 실시하였다. 750 °C 풀림 처리 후 선삭 시험을 실시한 결과 니켈의 함량이 1.0% 이상에서 피삭성은 현저히 향상되었다. 5% NaCl 용액에서 동전위 분극 시험 결과 주방상태와 750 °C 풀림 처리에서는 니켈의 함량이 증가할수록 내식성은 저하되었으나, 1100 °C 재열처리 후에는 1.5% 니켈에서 가장 우수한 내식성을 나타냈다.

Abstract The extruder screw material is mainly SKD11, but the recent development of synthetic resins have increased the occurrence of chemical corrosion and wear. To solve this issue, high chromium cast iron is needed because of its good abrasion resistance and corrosion resistance, but its use is avoided because of its poor machinability. In this study, to improve the machinability of high chrome cast iron, 0, 0.5, 1.0, 1.5% of nickel, which has excellent workability, was added to high chromium cast iron with a composition of Fe-23Cr-2.5C-1.2Si-1.08Mn-0.48Mo-0.3V, and annealed after casting. Subsequently, the effect of nickel on the machinability and corrosion resistance was analyzed using a turning test and coin polarization test, and compared with SKD11. After casting using a high-frequency vacuum induction furnace, the annealing treatment was performed at 750 °C for five hours and then reheated at 1100 °C for five hours. A turning test after annealing at 750 °C showed that the machinability was improved remarkably when the nickel content was over 1.0%. In the potentiodynamic polarization test in a 5% NaCl solution, the corrosion resistance decreased with increasing nickel content in the as-cast and annealing treatment. On the other hand, after reheating, the corrosion resistance was best with a 1.5% nickel content.

Keywords : Cast Iron, Machinability, Corrosion Resistance, Turning Test, Potentiodynamic Polarization Test

본 논문은 지역수요맞춤형 연구개발사업의 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Dong-Joo Yoon(Suncheon National Univ.)

email: djyoon@scnu.ac.kr

Received December 3, 2019

Revised January 8, 2020

Accepted March 6, 2020

Published March 31, 2020

1. 서론

압출기의 스크류는 최근 유리섬유 등 내마모성 첨가제와 폴리카보네이트, 셀룰로오스, 염산, 유황 등 난연성 물질이 함유된 폴리머중합체 수지를 사용함으로써 표면에 심각한 화학적 부식작용 및 마모가 발생하고 있다. 현재 압출기 스크류 소재로 사용하는 냉간 금형 공구강(SKD11)은 내마모도는 좋으나 내부식성이 좋지 않고, 스테인리스강은 내부식성은 뛰어나지만 내마모성이 약하여 압출기 스크류 소재로 적합하지 않아서 내마모성과 내부식성이 우수한 고크롬 주철을 사용이 고려되고 있으나 난가공성으로 인하여 사용이 제한되고 있다.

고크롬 주철은 Cr을 약 12%이상 함유한 백주철의 일종으로서 오스테나이트 기지에 불연속적인 탄화물이 다량으로 생성되어 높은 내마모성을 보인다[1-5]. 또한 부식에 관하여 스테인리스강에 필적하는 우수한 내식성을 지니고 있어 내마모성과 내식성을 동시에 요구하는 제철소 및 화력발전소의 탈황 설비 등에 주로 이용되고 있다[6]. 하지만 많은 C의 함량으로 인하여 다양한 탄화물을 생성하기 때문에 사용 목적에 맞게 합금 성분의 조절할 필요가 있다[7-8].

따라서 본 연구에서는 Fe-23%Cr-2.5%C-1.2%Si-1.08%Mn-0.48%Mo-0.3%V의 조성을 가지는 고크롬 주철에 Ni을 0, 0.5, 1.0, 1.5wt.% 첨가하여 동전위분극 시험을 통한 내식성과 선삭시험을 통한 피삭성에 영향을 미치는 Ni의 영향을 분석해서 압출기용 스크류 소재로 적합한지 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 주형 제작

주형은 알루미늄을 사용하여 match plate 형태의 상, 하 분할형 몰드를 만들어 로스트 왁스법으로 Ø10 × 10 mm의 환봉을 20 ~ 24개 얻을 수 있도록 제작하였다.

2.2 합금설계

본 연구에 사용된 합금의 조성은 ASTM Class III-A (23~28%Cr)을 바탕으로 23%Cr-2.5%C-1.2%Si-1.08%Mn-0.48%Mo-0.3%V(이하 23Cr 주철)의 기본 조성을 설계하고[9], 여기에 Ni을 0, 0.5, 1.0, 1.5%로 첨가량에 차이를 주었다.

2.3 용해작업

시편은 순수한 상업용 품위를 갖는 전해철(99.9%), Cr(99.9%), Mo(99.7%), Ferro-V(80~85%), 가탄제(90~95%) 등을 사용하여 다음과 같이 용해하였다.

먼저 용점이 높은 Mo은 비소모성 진공아크용해로를 이용하여 전해철과 모합금을 제작하였고, Fig. 1 (a)와 같이 용량이 80 kW인 고주파 진공유도용해로를 이용하여 알루미늄이나 도가니에 가탄제를 제외한 모든 합금 원소를 장입하고 진공분위기에서 용해를 시작하였다. 용해는 1500 °C ~ 1570 °C의 온도로 30분 ~ 40분 동안 진행하였으며, 모든 원소가 녹아 용탕이 충분히 교반된 후 가탄제를 첨가하여 1550°C에서 5분 정도 유지하고, 800 °C에서 1시간 이상 예열한 Fig. 2 (b)와 같은 형상의 주형에 용탕을 주입하여 노냉하여 10 kg 중량의 잉고트(Ingot)를 제작하였다. 그 후 탈사, 절단을 통하여 Fig. 1 (c)와 같이 시험편을 제작하였다. Table 1은 용해한 합금들(0%Ni, 0.5%Ni, 1.0%Ni, 1.5%Ni)과 비교제인 SKD11의 화학성분을 나타낸 것이다. 용해한 합금의 화학성분은 발광성분분석기를 이용하여 측정하였다.

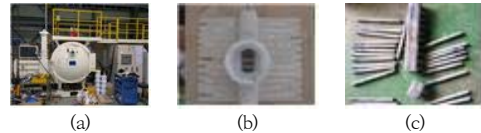


Fig. 1. (a) High frequency induction furnace, (b) Lost wax mold, (c) Casting specimens.

Table 1. Chemical composition of the experimental alloys.(wt%)

Alloy	C	Cr	Mn	Mo	Ni	Si	V	Fe
0%Ni	2.30	23.0	0.62	0.41		1.15	0.33	bal.
0.5%Ni	2.51	21.6	0.61	0.43	0.56	0.11	0.33	bal.
1.0%Ni	2.56	21.6	0.82	0.42	0.99	0.13	0.33	bal.
1.5%Ni	2.46	23.1	0.83	0.42	1.43	1.14	0.34	bal.
SKD11	1.5	12	0.6	1.0		0.4	0.35	bal.

2.4 열팽창분석기(TMA)

절삭성을 향상시키기 위한 폴리머처리 온도를 산정하기 위하여 Ni 함량에 따른 열적특성변화를 Netzsch사의 TMA 402F1 장비를 이용하여 측정하였다. 시편은 범용 선반을 이용하여 Ø5 mm × 15 mm로 가공하였으며

Ar gas 분위기에서 1 N의 하중 하에, 5 °C/min의 속도로 1200 °C까지 상승시켜 온도에 따른 상변태구간을 측정하였다.

2.5 열처리

열처리는 2가지 방법으로 행하였는데 (1) 주방상태의 시편을 각각 750 °C에서 5시간 동안 풀림 처리를 실시한 것, (2) 750 °C, 5시간 동안 풀림 처리를 실시한 시험편을 다시 1100°C, 5시간 동안 열처리 후 N₂ gas quenching을 실시한 시험편으로 구분할 수 있다. 모든 열처리는 진공분위기에서 실시하였고, 열처리하는 동안 진공도는 4.3 ~ 8.9 × 10⁻⁴ Torr를 유지하였다.

2.6 미세조직 관찰

적당한 크기로 절단된 시편을 hot mounting 시킨 후 320, 600, 1200 mash의 순서로 연마한 후 다시 0.9, 0.3, 0.1 μm diamond suspension으로 미세 연마 후 Vilella's 용액(5 mL HCl + 1 g picric acid + 94 mL methanol)으로 3~5분 동안 부식 시켰다. 조직관찰은 광학현미경(OM)과 주사전자현미경(SEM)을 사용하였다.

2.7 경도측정

경도는 Mitutoyo사의 HM-124 모델의 비커스 경도기를 사용하여 측정하였으며, 2 kg의 하중에서 10초 동안 유지하여 기조직과 탄화물들을 Random하게 함께 측정하였다.

2.8 피삭성 시험

모든 시편은 직경 Ø9 mm가 되도록 선반가공하였으며, 화천사의 HL-720 범용선반과 CNMG 12040 MT 바이트를 사용하여 절삭가공된 칩의 형상을 관찰하여 Ni 첨가량에 따른 피삭성을 평가하였다. 시편의 직경이 작기 때문에 범용선반의 회전속도를 280 rpm, 절삭 속도를 40 mm/min로 고정하고, 절삭 깊이(D)는 2.0 mm의 조건으로 절삭 가공하였다.

선반가공 후 시편의 피삭성 평가는 가공칩의 상태 및 Asmeto 사의 DH - 8로 표면 거칠기를 측정하여 평가하였다.

2.9 동전위 분극시험

시편은 Ø15 × 2 mm의 크기로 와이어 방전 가공하여 SiC 연마지로 320, 600, 1200, 1500 mash 순서로

연마하여 2000 mash 까지 연마하고 초음파 세척을 하였다. 제작된 시편의 동전위 분극 시험은 Gamry Instruments 사의 G300 모델로 다음 순서에 따라 실시하였다.

- (1) 시편을 1 cm²만 노출되도록 300 ml의 용량을 가진 분극 시험 용기 한쪽 면에 고정한다.
- (2) 시편의 노출면이 모두 잠길 수 있도록 실험용액 200 ml를 주입한다. (실험용액은 5% NaCl 이다.)
- (3) 보조전극(고밀도 흑연봉)과 기준 전극(포화 감홍 전극(SEC))을 장착한다.
- (4) 부식전위를 측정하고 이 전위로부터 양극방향으로 5 mV/sec의 속도로 분극하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직 변화

3.1.1 주방상태

Ni의 함량을 달리한 23Cr 주철의 조성은 Table 1과 같고, 광학현미경을 이용하여 1000배율로 관찰한 주방상태 조직사진을 Fig. 2에 나타내었다.

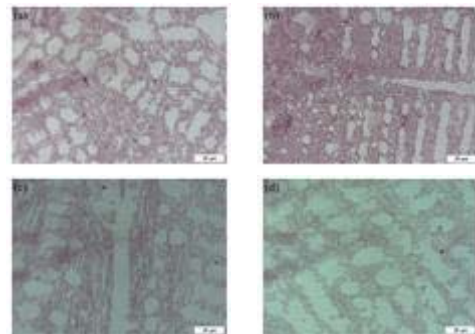


Fig. 2. Microstructure of specimens as-cast. (a) 0%Ni (b) 0.5%Ni, (c) 1.0%Ni, (d) 1.5%Ni (OM, x1000)

상태도에 의하면 23Cr 주철은 응고시 처음에 초정 오스테나이트가 생성되어 수지상정을 발전하고, 이후 공정 반응에 의해서 오스테나이트와 탄화물이 정출하게 된다 [10-11]. 주방상태의 23Cr 주철에서 Ni 양에 따른 미세 조직변화는 관찰되지 않았다.

3.1.2 풀림처리

다함금 고크롬 주철은 주방상태에서 가공이 어렵기 때

문에 풀림처리를 통해 가공성을 부여하고 있다. 고크롬 주철에서 안정화된 오스테나이트는 950 ℃ ~ 1000 ℃ 그리고 650 ℃ ~ 700 ℃ 까지 매우 큰 변태속도를 갖는 C-shaped curve의 형태를 가지며, 유지시간에 의해 온도가 변한다. 일반적으로 풀림처리는 시멘타이트 조직을 페라이트(ferrite) + 흑연(graphite) 조직으로 만들어서 절삭성을 개선하기 위해 이용되기 때문에 700 ℃ ~ 800 ℃의 온도에서 1시간 이상 유지한 후 서냉한다고 알려져 있다[12~13].

본 연구에서 사용한 각 조성의 풀림처리 온도를 결정하기 위하여 TMA를 사용하여, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. Ni의 함량이 늘어날수록 페라이트와 흑연화 온도영역이 낮아졌다.

Table 2. Transformation temperature measurement of high chromium alloy using TMA.

	Ferrite temp. section	Graphite temp. section
0%Ni	610.6 ~ 700.9	859.2 ~ 891.3
0.5%Ni	629.0 ~ 679.8	820.1 ~ 856.0
1.0%Ni	608.9 ~ 681.8	787.9 ~ 841.4
1.5%Ni	589.9 ~ 666.9	757.7 ~ 815.2

750 ℃에서 5시간 동안 풀림 처리한 시편들을 광학현미경을 사용하여 1000배율로 확대한 미세조직을 Fig. 3에 나타내었다. Ni이 첨가되지 않은 Fig. 3의 (a)에서는 풀림처리 온도가 페라이트화 온도와 가까워지면서 오스테나이트가 페라이트로 변태하고 과포화되어 있던 탄소가 탄화물 + 흑연으로 정출하였다. Ni이 첨가되는 양이 늘어날수록 오스테나이트에서 변태하는 페라이트 상은 감소하고 흑연은 증가하였다.

Fig. 4는 Fig. 3의 (d)에서 흑연을 확인하기 위하여 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 5000배로 확대하여 관찰할 것이다. 흑연상은 입계에 주로 발달해 있었으며, 내부에도 비교적 구형으로 존재하였다.

Ni 양이 증가할수록 흑연의 양은 증가하고 페라이트 조직은 감소하였다. 이는 Table 2.에 나타난 것과 같이 Ni의 첨가량이 증가할수록 변태 온도가 낮아져서 오스테나이트가 페라이트로 변하는 양이 적어지고 M_3C 가 분해되어 흑연으로 변태되기 때문이다. 또한 풀림 처리 시간이 5시간으로 비교적 길어서 탄화물이 흑연으로 변태하여 성장하는데 충분한 시간이 주어졌기 때문에 판단된다.

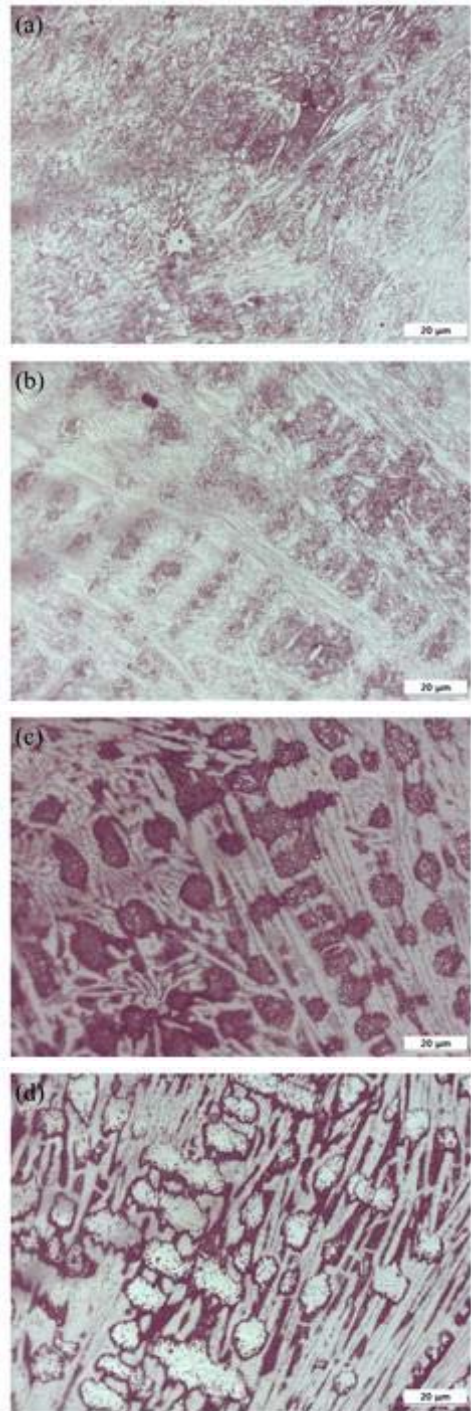


Fig. 3. Microstructure of 750 ℃ annealed specimens. (a) 0%Ni (b) 0.5%Ni, (c) 1.0%Ni, (d) 1.5%Ni (OM, x1000)

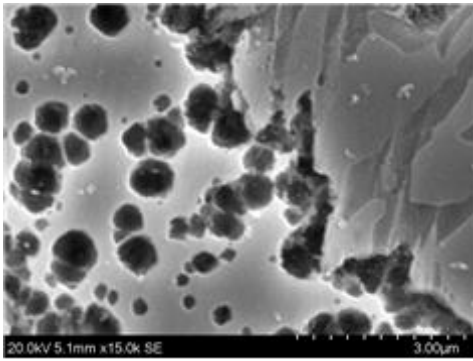


Fig. 4. Microstructure of graphite precipitated from 1.5% Ni specimen after 750°C annealing (SEM x5000)

3.1.2 재열처리

Fig. 5는 750 °C에서 5시간 풀림 처리한 시편을 1100 °C에서 5시간 동안 재열처리하여 질소가스로 냉각한 시편들을 광학현미경으로 1000배에서 관찰한 것이다. Fig. 4에서 나타났던 페라이트 + 흑연 조직은 오스테나이트로 변태되고 미세한 $M_{23}C_6$ 가 2차 탄화물로 오스테나이트 기지 안에 재석출하였다. Ni의 첨가량이 많을수록 2차 탄화물이 기지 내에 균일하게 분포하였다.

3.2 경도 변화

비커스 경도기를 사용하여 측정한 결과를 Fig. 6에 도시하였다. 주방상태에서 나타난 경도값의 변화는 Ni의 첨가량 때문이 아닌 2 kg의 하중으로 인한 압자의 넓은 면적에 Fig. 1에서 나타나는 단단한 탄화물이 얼마나 많이 걸쳐 있느냐에 따른 것으로 판단된다.

750 °C 풀림 처리한 경우에는 Ni이 1.0% 이상 첨가된 조성에서 경도 값에 확연히 높아 졌으며, 이는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 (a), (b)에서는 기지조직이 페라이트로 되어 있는 반면 (c), (d)에서는 기지조직의 페라이트 변화가 작고 흑연이 석출하였기 때문이다.

750 °C 풀림 처리 후 1100 °C로 재열처리 한 경우에는 Ni의 첨가량이 많아질수록 경도 값이 높아졌으며, 이는 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 Ni의 함량이 증가할수록 $M_{23}C_6$ 가 기지조직에 균일하게 분포하였기 때문이다.

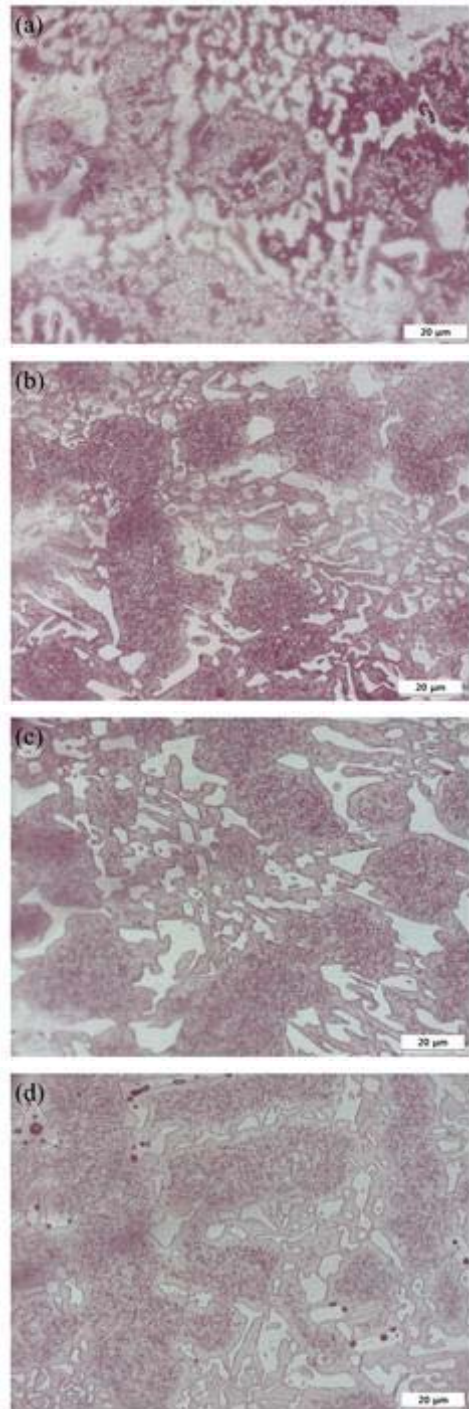


Fig. 5. Microstructure of 1100°C heat treated specimens after 750°C annealing. (a) 0%Ni (b) 0.5%Ni, (c) 1.0%Ni, (d) 1.5%Ni (OM, x1000)

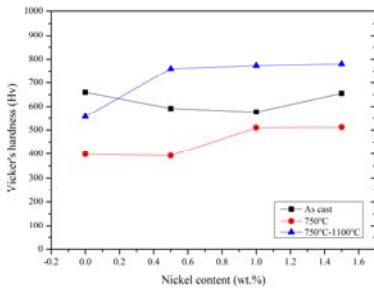


Fig. 6. Vicker's hardness of 23Cr-2.5C-1.2Si-1.08Mn-0.48Mo-0.3V-xNi cast iron.

3.3 피삭성

750 °C에서 풀림 처리한 시편을 절삭 깊이 2.0 mm 발생한 chip의 형상은 Fig. 7에서 보는 바와 같으며, Ni의 첨가량이 1.0% 이상일 때 피삭성이 현저히 향상되었다.

일반적으로 Ni은 오스테나이트 영역을 확장하고 흑연화를 촉진하는 원소로 알려져 있으며, 주철에서 절삭성은 페라이트-흑연 조직이 가장 우수하고 펄라이트-흑연, 조대한 흑연, 보통 흑연, 미세한 흑연, 시멘타이트 순서인 것으로 알려져 있다[13~15]. Ni이 1.0%이상 첨가되면 Fig. 2의 (c), (d)에서 보는 것과 같이 기지 내에 흑연의 석출이 증가하기 때문에 Fig. 5에서와 도시한 바와 같이 주방상태보다 경도값이 높음에도 불구하고 피삭성이 향상된 것으로 판단된다.

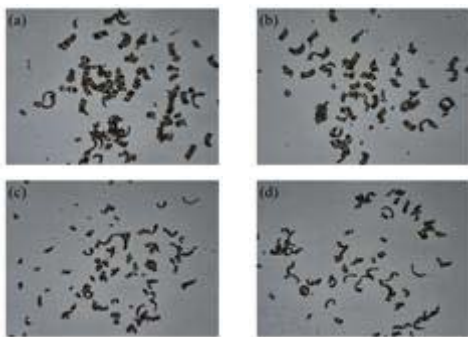


Fig. 7. Change in chip shapes for specimens. (a) 0%Ni (b) 0.5%Ni, (c) 1.0%Ni, (d) 1.5%Ni

가공표면의 거칠기를 측정된 결과를 Fig. 8에 도시하였다. 750 °C에서 풀림처리를 하였을 때 23Cr 주철은 모든 조성에서 SKD11 보다는 표면 거칠기값(Ra)이 좋았고, Ni의 함량이 증가할수록 표면 거칠기값(Ra)은 향상

되었다. 1.0, 1.5%Ni에서 표면거칠기 값은 비슷하였다.

23Cr 주철은 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 750 °C에서 5시간 동안 풀림처리하면서 조직이 오스테나이트에서 페라이트로 변태하였기 때문에 금형공구강(SKD11)보다 표면 거칠기값이 우수한 것으로 판단되며, Ni의 함량이 증가할수록 흑연의 석출량이 늘어서 가공바이트와의 윤활작용을 원활하게 하기 때문인 것으로 사료되며, 피삭성의 향상에 필요한 Ni의 함량은 1.0% 이상이면 충분할 것으로 판단된다.

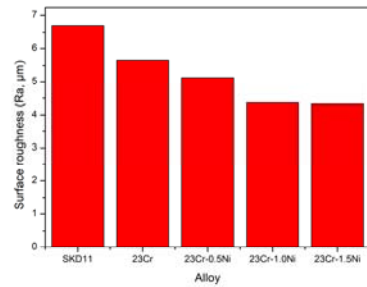


Fig. 8. Surface roughness measurement result by alloys.

3.4 내식성

동전위분극시험에서 부식저항성을 비교할 때, 일반적으로 주어진 전위에서 전류밀도가 더 높을수록 부식이 더 쉽게 생기고, 부식전위가 낮을수록 전기화학적반응성이 있다. 즉 부식이 더 잘된다는 것을 의미한다[16].

SKD11과 0, 0.5, 1.0, 1.5%Ni을 첨가한 23Cr 주철의 동전위분극 시험결과를 Fig. 9에 나타내었다. 부식전위는 0%Ni에서 가장 높았고, 0.5, 1.0, 1.5%Ni 순서였으며, SKD11이 가장 낮았다. 부식전위밀도는 SKD11이 가장 높고, 1.5, 1.0, 0.5, 0%Ni 순서로 나타났다.

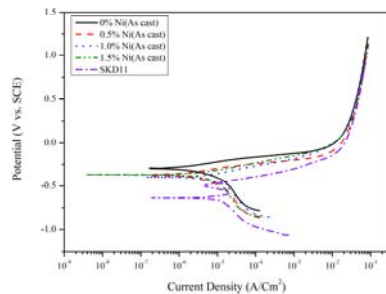


Fig. 9. Polarization curves of the as-cast.

Fig. 10은 750 °C에서 5시간 동안 풀림처리한 시편의 동전위분극시험 결과이다. 부식전위는 0%Ni이 가장 높았지만 0.5%Ni과 비슷한 부식전위값이 나타났고, 1.0, 1.5%Ni도 비슷한 부식전위값이 나타났다. 부식전류밀도는 1.5%Ni이 가장 높고 1.0%Ni, 0%Ni, 0.5%Ni 순서로 나타났다.

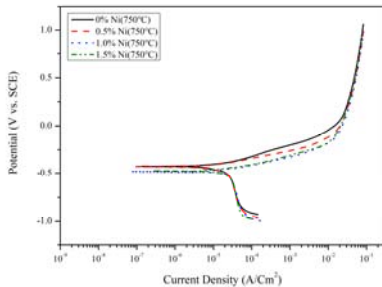


Fig. 10. Polarization curves of the 750°C annealing.

Fig. 11은 750 °C에서 5시간 동안 풀림처리 후 1100 °C에서 5시간 동안 재열처리한 시편에 대한 동전위분극 시험 결과이다. 1.5%Ni의 부식전위값이 가장 높았고, 1.0%Ni과 0%Ni은 비슷하고 0.5%Ni이 가장 낮게 나타났다. 부식전류밀도는 1.0%Ni이 가장 높았고, 1.5%Ni, 0.5%Ni, 0%Ni 순서로 나타났다.

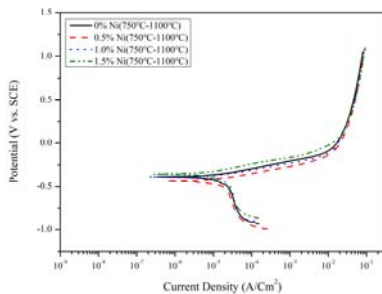


Fig. 11. Polarization curves of the 1100°C reheat treatment after 750°C annealing.

동일 조성에서 열처리 온도에 따른 부식전위와 부식전류밀도의 크기는 750 °C 풀림 처리 하였을 때 가장 부식전위가 가장 낮았고, 750 °C 풀림처리 후 1100 °C 열처리, 주방상태 순서로 낮아진 반면, 전류밀도는 750 °C 풀림처리에서 가장 높았고, 750 °C 풀림처리 후 1100 °C

열처리, 주방상태 순서였다.

일반적으로 Ni을 14 ~ 38% 첨가하면 오스테나이트 영역을 안정화 시켜서 내식성 및 내알칼리성이 매우 향상된다고 알려져 있지만[15], 본 실험에서는 Ni의 첨가량이 작기 때문에 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 오스테나이트 영역을 안정화시키는 효과보다는 흑연 생성을 촉진시키는 효과가 더 커서 Ni의 첨가량이 증가할수록 내식성이 감소한 것으로 판단된다. 따라서 열처리에 따른 흑연의 석출이 많았던 1.0%Ni과 1.5%Ni 조성에서 내식성의 변화가 큰 것으로 판단된다. 1100 °C 재열처리 후 1.5%Ni 조성의 시편에서 내식성이 가장 좋아진 이유는 Ni이 오스테나이트를 안정화 시키고 기지조직 내에 생성되는 2차 탄화물을 구상으로 균일하게 분포하도록 만들었기 때문으로 판단된다.

4. 결론

Fe-23%Cr-2.5%C-1.2%Si-1.08%Mn-0.48%Mo-0.3%V-xNi 합금에서 Ni 함량을 변화시켜 용해, 주조한 합금을 풀림처리 및 재열처리를 실시하여 동전위분극시험 및 피삭성 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 750 °C에서 5시간동안 풀림처리한 23Cr 주철에서 Ni을 1.0% 이상 첨가하였을 때 가장 좋은 피삭성을 보였다.
- (2) 750 °C에서 5시간동안 풀림처리한 23Cr 주철들과 SKD11의 선삭가공 후 표면 거칠기값(Ra)은 23Cr 주철이 더 우수하였다.
- (3) 5% NaCl용액에서 동전위분극시험을 하였을 때 23Cr 주철은 Ni 함량이 증가할수록 부식전위가 낮아지고, 전류밀도가 증가하였으나, SKD11보다는 향상된 내식특성을 보였다.
- (4) 5% NaCl용액에서 23Cr 주철은 750 °C 풀림처리를 하였을 때 흑연의 생성으로 내식성이 저하되었다.
- (5) 1100 °C 재열처리한 경우 Ni이 오스테나이트를 안정화 시키고 탄화물을 기지내에 구상으로 균일하게 분포시켜 1.5%Ni에서 가장 우수한 내식특성이 나타났다.

References

- [1] W. Fairhurst and K. Rohrig, Foundry Trade Journal, "Abrasion resistant high-chromium white cast irons" vol.136, no.2999, pp.685-698, 1974
- [2] R.B. Gundlach and J.L. Parks, Wear, "Influence of abrasive hardness on the wear resistance of high chromium irons", vol.46, pp.97-108, 1978
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1648\(78\)90113-8](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1648(78)90113-8)
- [3] K.H. Zum Gahr and D.V. Doane, Metall. Mater. Trans. A, "Optimizing fracture toughness and abrasion resistance in white cast irons", vol.11A, pp.613-643, 1980
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02670698>
- [4] O.N. Dogan, J.A. Hawk and G. Laird II, Metall. Mater. Trans. A, "Solidification structure and abrasion resistance of high chromium white irons", vol.28A, pp.1315-1328, 1997
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11661-997-0267-3>
- [5] M. Radulovic, M. Fiset and K. Peev, J. Mater. Sci., "The influence of vanadium on fracture toughness and abrasion resistance in high chromium white cast irons", vol.29, pp.5085-5094, 1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01151101>
- [6] Y. S. Kim and Y. J. Song, "Influences of Ni Content and Heat Treatment on the Corrosion Resistance of Fe-28Cr-4Mo-2W-1.5C Cast Iron", Journal of corrosion science society of Korea, vol.26, No.4, pp.266-275, 1997
- [7] M. Radulovic, M. Fiset and K. Peev, J. Mater. Sci., "The influence of vanadium on fracture toughness and abrasion resistance in high chromium white cast irons", vol.29, pp.5085-5094, 1994
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01151101>
- [8] Kim CK, Lee S and Jung JY, Metall. Mater. Trans. A, "Effects of heat treatment on wear resistance and fracture toughness of duo-cast materials composed of high-chromium white cast iron and low-chromium steel", vol.37A, no.3, pp.633-643, 2006
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11661-006-0035-9>
- [9] ASM International, "ASM Specialty Handbook- Cast Irons", pp.107-122. 1996
- [10] Y. Masubara, K. Ogi, and K. Matsuda: AFS Transaction, vol.81-71, pp.183-196, 2009
- [11] G. S. Gho and C. S. Kim: "Phase Transformations and Subsequent Solute Redistribution Behaviors of Fe-15Cr-5V-1.5C Alloy", J. of the Korean Inst. of Met.&Mater. Vol.35, No.2, pp181-190, 1997
- [12] F. Maratray, Choice of Appropriate composition for Chromium-Molybdenm white Irons, AFS Transaction, vol.71-17, pp.121-124, 1996
- [13] S. J. Park and Y. H. Hong, Heat treatment of castings and nonferrous metals, 222, Wonchang, pp.97-98, 1991
- [14] H. Y. Yang, New Metal Materials, 612, Munundang, pp.325, 2007
- [15] J. N. Oh, C. H. Bae, J. W. Cho and M. K. Rho, Steel material, 423, Wonchang, pp.338~339, 1997
- [16] Sarkar, N. K., Fuys, R. A., and Stanford, J. W., The chloride corrosion behavior of silver-bse csting alloys. J. Dent. Res., vol.58, no.6 pp.1572-1577, 1979

김 기 빈(Ki-Bin Kim)

[준회원]



- 2008년 8월 : 순천대학교 대학원 재료금속공학과 (재료공학석사)
- 2008년 9월 ~ 2010년 7월 : 금산전자(주) 주임연구원
- 2010년 10월 ~ 현재 : 순천대학교 차세대전략산업용 희유자원실용화센터 선임연구원

<관심분야>

비철재료, 용해, 부식

정 성 식(Jung-Sick Jung)

[준회원]



- 2004년 2월 : 순천대학교 대학원 재료금속공학과 (재료공학석사)
- 2004년 7월 ~ 2011년 6월 : 순천대학교 환경친화형 물질공정 지역혁신센터 연구원
- 2011년 7월 ~ 현재 : 순천대학교 차세대전략산업용 희유자원실용화센터 선임연구원

<관심분야>

철강재료, 용해

백 민 숙(Min-sook Baek)

[정회원]



- 2008년 2월 : 순천대학교 대학원 재료금속공학과 (재료공학석사)
- 2013년 2월 : 순천대학교 대학원 재료금속공학과 (재료공학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 차세대전략산업용 희유자원실용화센터 책임연구원

<관심분야>

생체재료, 합금설계

윤 동 주(Dong-Joo Yoon)

[정회원]



- 1986년 2월 : 전북대학교 대학원 금속재료공학과 (재료공학석사)
- 1995년 2월 : 전북대학교 대학원 금속재료공학과 (재료공학박사)
- 1995년 3월 ~ 2004년 9월 : 한려대학교 교수
- 2004년 10월 ~ 현재 : 순천대학교 연구교수

〈관심분야〉

철강재료, 생체재료