

Incoloy 825 합금의 기계적 성질에 미치는 열간단조비의 영향

박영태 · 정영훈 · 강창룡[†]
부경대학교 금속공학과

Effect of Hot Forging Ratio on the Mechanical Properties in Incoloy 825 Alloy

Y. T. Park, Y. H. Jeong, C. Y. Kang[†]

Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

Abstract This study was carried out to investigate the effect of hot forging ratio on the microstructure and mechanical properties of incoloy 825 alloy. Hot forging was carried out at the forging ratio of 0%, 60% and 90% respectively in a range of 900°C~1,140°C and followed solution treatment was conducted at 1,000°C for 1 hr. In all the specimens of hot forged of 0%, 60% and 90%, precipitates were not observed. The average grain size of 0% specimen is 82 μm and that of 60% and 90% is 56 μm and 31 μm, respectively. The range of grain size in the 0% specimen is uneven in 182 μm to 31 μm, but the grain size of 90% specimen is uniform. With increasing hot forging ratio, the mechanical properties such as tensile strength, elongation, hardness increased and impact toughness increased by grain refinement.

(Received September 1, 2016; Revised September 7, 2016; Accepted September 21, 2016)

Key words : Grain refinement, Hot fogring ratio, Impact value, Incoloy 825, Tensile properties

1. 서 론

Ni-Fe-Cr계 합금인 Incoloy 825는 전면부식, 틈부식, 입계부식 및 응력부식균열 등에 강하고, 특히 황산, 인산 등과 같은 황을 포함하는 연료가스에 강한 내식성을 보유하고 있기[1, 2] 때문에 화학처리설비, 공해처리설비, 방사능폐기물설비, 정유 및 해양 플랜트 등에 다양하게 사용하고 있다[3]. 뿐만 아니라 크리프 강도, 고온 피로 강도 등도 우수하여 원자로 증기 발생기의 전열관, 압력용기 헤드 관통관 등에도 많이 사용되고 있다[4].

최근 정유산업 및 해양 플랜트 산업분야 등에서는 장치의 사용효율을 높이기 위한 한 방법으로서 설비를 대형화 하고 있고, 이에 따라 부품의 제조공법도 소형부품을 제조하는 형단조에서 대형부품을 제조하는 자유단조 공법으로 바뀌어 지고 있다. 그러나 부품이 대형화 되면 단조온도가 낮아지거나 특히 질량효과(mass effect) 등이 커지게 되고, 그 결과 부품

의 부위별 미세조직등이 달라지는데 기인되어 강도와 충격 인성 등의 차이가 발생할 수 있다. 때문에 이러한 재료에서는 질량효과의 영향을 최소화하기 위해 일정 이상의 단조율과 평균 50 μm 이하의 결정립 크기를 요구하고 있다. 따라서 이러한 점을 고려해 볼 때 열간단조공정은 이 합금의 기계적 성질을 결정하는데 있어 대단히 중요하다고 판단된다.

지금까지 Incoloy 825 합금에서 석출물의 고온 석출거동, 고온변형, 용접성 등에 대해서는 많이 수행되어 왔다[5,-7]. 그러나 기계적 성질 등에 미치는 용체화처리 전 열간단조에 대한 연구는 그 중요성이 크게 있음에도 불구하고 부족하고, 또한 이 합금의 최적 강도와 인성을 얻기 위한 자료를 얻기 위한 측면에서도 필요하다.

따라서 본 연구는 Incoloy 825 소재에 대하여 용체화처리 이전에 자유단조 공법으로 단조비를 달리하여 단조한 다음 단조비에 따른 미세조직 변화와 기계적성질 변화를 조사하였다.

[†]Corresponding author. E-mail : metkcy@pknu.ac.kr
Copyright © The Korean Society for Heat Treatment

2. 실험 방법

시료는 일본 Daido Steel사에서 진공용해(VIM, Vacuum Induction Melting)와 일렉트로 슬래그 재용해(ESR, Electro Slag Remelting)하여 제작한 직경 600 mm, 길이 1,740 mm 크기의 중량 4,064 kg 을 갖는 잉곳을 시료로 사용하였다. 이 시료의 화학 조성은 Table 1에 나타내었다.

미세조직 변화와 기계적 성질에 미치는 열간단조비의 영향을 조사하기 위한 단조작업은 시료를 1,140°C로 가열한 다음 일정 시간을 유지한 다음 5,000톤 프레스로 각 60% 및 90% 되도록 열간단조를 하였고, 이때 마무리 단조 온도는 900°C가 되도록 하였다. 다음 단조하지 않은 시료와 단조비를 달리하여 단조한 시료를 1,000°C에서 유지 후 수냉하는 용체화처리를 하였다.

용체화처리 이전 열간단조비에 따른 미세조직 변화는 시료를 연마 후 전해부식(4% 옥살산, 3V, 10초)한 다음 광학현미경과 주사전자현미경으로 관찰하였다. 또한 열간단조비 변화에 따른 결정립 크기변화는 광학현미경에서 관찰한 조직사진에 대하여 화상분석 시험기를 사용하여 10회 이상 측정하여 평균해서 구하였다. 한편, 단조비 변화에 따른 경도는 브리넬경도시험기(Mitutoyo 810)를 사용하여 3000 kg의 하중으로 5회 이상 측정한 다음 평균하여 구하였고, 열간단조비 변화에 따른 인장성질은 평행부 길이가 50 mm 크기를 갖는 ASTM E-8의 규격으로 제작한

다음 cross head speed를 2 mm/min.로 하는 인장 시험하여 측정 하였다. 또한 열간단조비 변화에 따른 충격인성은 2 mmV 노치를 갖는 샤르피충격 시험편으로 제작하여 상온에서 실시하여 구하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 단조비 따른 미세조직 변화

Fig. 1은 Incoloy 825 합금에서 열간단조비 변화에 따른 미세조직 변화를 조사하기 위하여 단조를 하지 않은 시료와 1,140°C로 가열하여 일정시간 유지 후 단조비가 60% 및 90%가 되도록 열간단조한 시료를 1,000°C로 가열 후 1시간 유지한 다음 수냉하는 용체화처리한 시료의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다.

단조비에 관계없이 모두 오스테나이트의 단상 조직으로 되어 있고, 단조비가 증가할수록 오스테나이트 결정립의 크기가 작아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 열간단조비 변화에 따른 석출물의 석출 등 미세조직 변화를 보다 상세히 조사하기 위하여 Fig. 1 시료의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 역시 단조비에 관계없이 모두 오스테나이트의 결정입계 뿐만 아니라 입내에서 석출물이 존재하고 있지 않는 오스테나이트 단상 조직으로 되어 있고, 단조비가 증가할수록 오스테나이트의 결정립크기가 작아지고 있는 것을 알 수 있다.

일반적으로 Incoloy 825 합금에서 고온에서 석출

Table 1. Chemical composition of specimen (wt. %)

C	Si	Mn	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Al	Ti	Fe
0.03	0.30	0.60	0.01	45.07	22.2	1.70	3.00	0.10	0.10	26.9

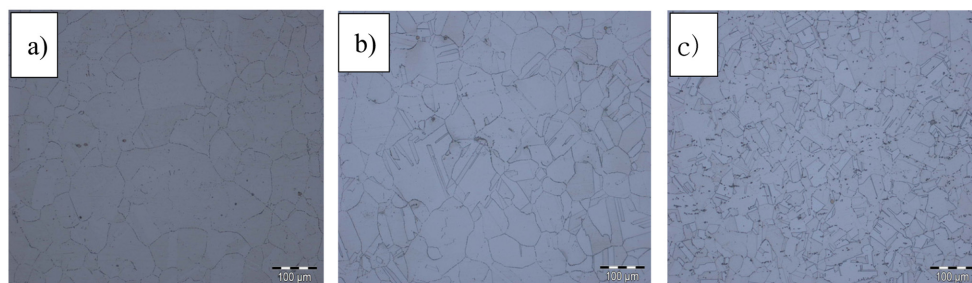


Fig. 1. Optical micrographs showing the effect of hot forging ratio of Incoloy 825 alloy. Forging ratio; a) 0%, b) 60%, c) 90%.

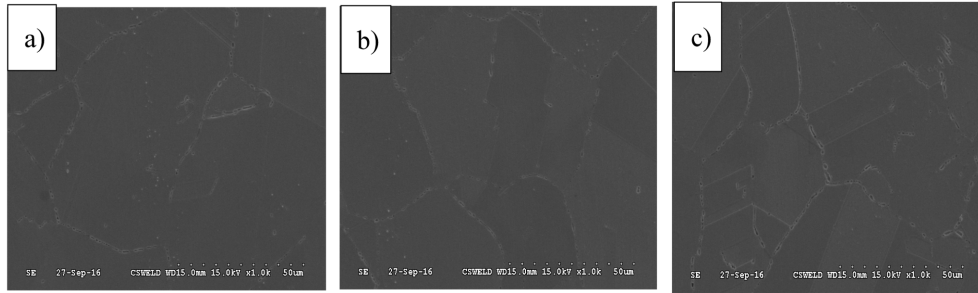


Fig. 2. SEM micrographs showing the effect of hot forging ratio of Incoloy 825 alloy. Forging ratio; a) 0%, b) 60%, c) 90%.

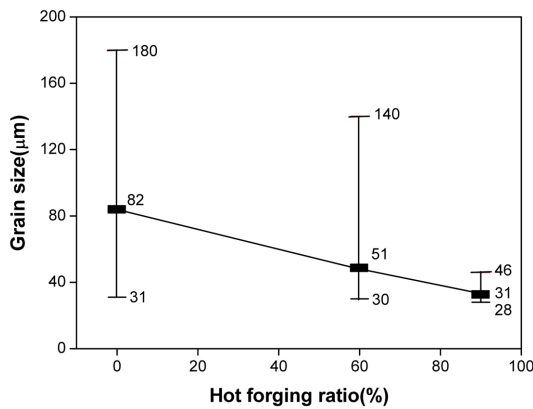


Fig. 3. Effect of hot forging ratio on the grain size of Incoloy 825 alloy.

하는 석출물은 950°C 이하가 되면 주로 $M_{23}C_6$ 탄화물들이 오스테나이트의 결정입계 및 입내에서 석출하는 것으로 알려져 있다[5, 7]. 따라서 본 연구에서도 단조 마무리 온도를 900°C로 하였기 때문에 단조과정에서 탄화물들이 석출하여 존재할 것으로 예상하였지만 열간단조 후 용체화처리한 본 시료에서는 존재하지 않는 것으로 조사되었다. 또한 그러한 이유는 단조 과정 중 950°C 이하에서 미세한 석출물이 석출되었다 하더라도 1,000°C에서 용체화처리하는 동안 이러한 석출물이 용해 고용되었기 때문이라 판단된다[8].

Fig. 3은 열간단조비 변화에 따른 결정립 크기 변화를 조사하기 위하여 단조하지 않은 시료와, 단조비가 60%와 90%가 되게 열간단조한 시료의 결정립 크기를 조사하여 나타낸 것이다.

열간단조를 하지 않은 시료는 182 μm에서 31 μm 사이의 결정립 크기를 갖는 크기 분포가 대단히 넓

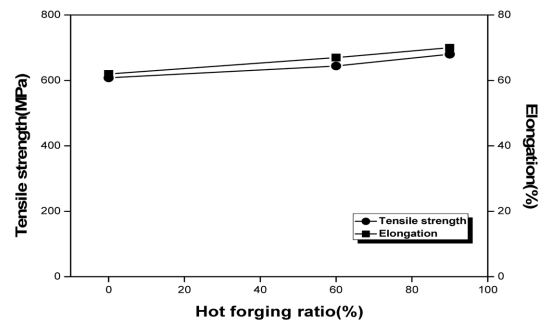


Fig. 4. Effect of hot forging ratio on the tensile properties of Incoloy 825 alloy.

은 결정립으로 이루어져 있고, 평균 결정립 크기는 82 μm로 조사되었다. 또한 단조비가 60%인 시료에서는 140 μm에서 30 μm 사이의 크기분포를 갖는 결정립으로 이루어져 있고 평균 결정립 크기는 51 μm로 조사 되었다. 이에 반하여 단조비가 90%인 시료에서는 46 μm에서 28 μm 사이의 크기분포를 갖는 결정립으로 되어 있고, 평균 결정립 크기는 31 μm로 조사 되었다. 또한 이 결과로부터 단조비가 증가함에 따라 결정립의 크기가 작아지고 있으며, 결정립 크기의 분포도 좁아지고 있는 것을 알 수 있고, 단조비가 90% 이상이 되면 50 μm 크기 이하의 결정립만이 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

3.2 기계적성질에 미치는 열간단조비의 영향

Fig. 4는 용체화처리 이전 열간단조비 변화가 Incoloy 합금의 인장강도와 연신율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 열간단조하지 않은 단조비가 0%인 시료와 단조비가 60%와 90%가 되도록 열간단조한 시료를 1,000°C에서 1시간 유지 후 수냉하는 용체화처리한 다음 인장성질을 조사하여 나타낸 것이다.

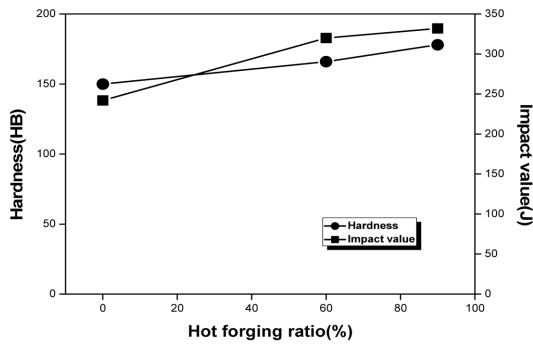


Fig. 5. Effect of hot forging ratio on the hardness and impact value of Incoloy 825 alloy.

열간단조비가 높아질수록 인장강도와 연신율은 서서히 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 열간단조비 변화가 경도와 충격인성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 열간단조하지 않은 단조비가 0%인 시료와 단조비가 60%와 90%가 되도록 열간단조한 시료를 1,000°C에서 1시간 용체화처리한 다음 경도와 충격인성을 조사하여 나타낸 것이다. 단조비가 증가 할수록 경도는 서서히 증가하고 있는데 충격인성은 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 단조비가 증가 할수록 인장강도, 연신율, 경도 및 충격값이 증가하고 있는 것을 알 수 있고, 이러한 이유는 단조비가 증가함에 따라 결정립 크기가 작아지는데 기인된다고 판단된다.

3.3 기계적 성질에 미치는 결정립 크기의 영향

Fig. 6은 열간단조비 변화에 따른 결정립의 크기 변화가 Incoloy 825 합금의 인장성질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 단조하지 않은 단조비가 0% 시료와 단조비가 60% 및 90%가 되도록 열간단조한 다음 1,000°C에서 1시간 용체화처리한 시료의 인장강도와 연신율을 조사하여 결정립 크기에 대해 나타낸 것이다. 결정립의 크기가 증가할수록 인장강도와 연신율이 서서히 낮아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 열간단조비 변화에 따른 결정립의 크기 변화가 경도와 충격인성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 단조하지 않은 단조비가 0%시료와 단조비가 60% 및 90%가 되도록 열간단조한 다음 1,000°C에서 1시간 용체화처리한 시료의 경도와 충격인성을

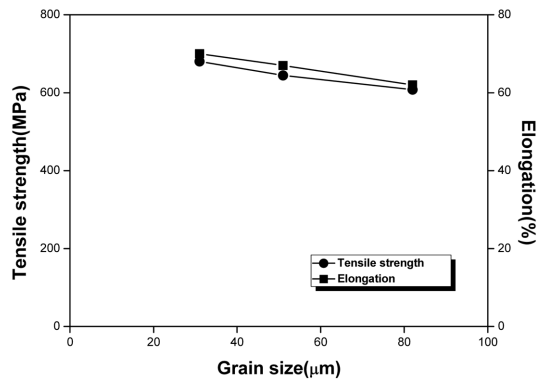


Fig. 6. Effect of Grain size on tensile properties of Incoloy 825 alloy.

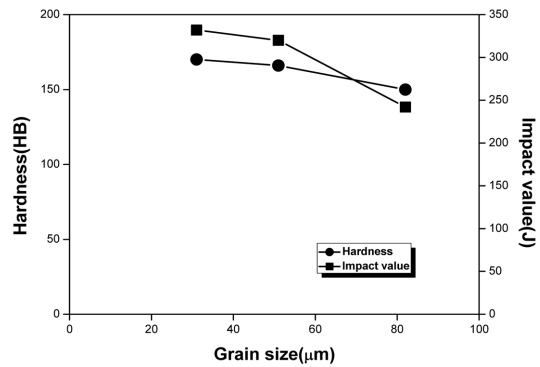


Fig. 7. Effect of Grain size on hardness and impact value of Incoloy 825 alloy.

조사하여 결정립 크기에 대해 나타낸 것이다. 결정립의 크기가 증가할수록 경도는 서서히 감소하고, 충격값은 빠르게 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 인장강도, 연신율, 경도 및 충격값은 결정립의 크기가 증가하는데 기인되어 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 단조비가 증가할수록 결정립의 크기가 미세화 되는데 기인되어 인장강도, 연신율, 경도값은 서서히 증가하고 반면에 충격값은 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있고, 이러한 결과는 오스테나이트 결정립 크기가 기계적 성질에 미치는 영향에 대한 연구 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다[9].

4. 결 론

Incoloy 825 소재의 기계적 성질에 미치는 용체화

처리 이전의 열간단조비의 영향을 조사하기 위하여 열간단조하지 않은 단조비가 0%인 시료와 1,140°C~900°C의 온도 범위에서 단조비가 60%와 90%가 되게 열간단조 후 1,000°C에서 1시간 용체화 처리하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열간단조비가 0%, 60% 및 90%가 되게 열간단조 한 세 시료 모두 1,000°C에서 용체화 열처리한 다음 석출물은 존재하지 않았다.
2. 열간단조비가 증가할수록 결정립의 크기는 감소하고, 결정립크기 분포의 폭도 좁아졌다.
3. 열간단조비가 90%가 되면 50 μm 크기 이하의 결정립을 얻는 것이 가능하였다.
4. 열간단조비가 증가함에 따라 강도, 연신율, 경도 및 충격인성은 서서히 증가하였고, 이는 열간단조비 증가에 따라서 결정립의 크기가 미세화 되는데 기인되었다.

References

1. K. D. Kuhn and K. H. Koch, *Kerntechnik*, **15** (1973) 257.
2. E. Grundy, *Mater. Sci. Technol*, **3** (1987) 782.
3. H. Grimmer, D. Grman, N. Iniotakis, U. Zimmermann, *Mater. Sci. Eng*, **87** (1987) 189.
4. P. S. Kim, H. Y. Kim, S. Y. Choi, Y. S. Kim, J. D. Kim, *KOSME*, **38** (2014) 698.
5. H. Nahm and J. Moteff, *Metal Transactions A*, **7** (1976) 1473.
6. M. J. Donachie, Jr. and O. H. Kriege, *J. Mater*, **7** (1972) 269.
7. M. A. Shaikh, M. Iqbal, M. Ahmad, J. I. Akhtar, K. A. Shoaib, *Journal of Materials Science Letter*, **11** (1992) 1009.
8. E. W. Ross and C. T. Sims: *Nickel-base Alloys in Superalloys II*, ed, John Wiley & Sons, New York, (1987) 120.
9. C. Wang, M. Wang, J. Shi, W. Hui, H. Dong, *J. Mater. Sci. Technol*, **23** (2007) 659.