

수평원심주조법에 의한 주조를 개발

서용찬¹ · 빅준욱¹ · 김선홍¹

Development of Cast Rolls by Horizontal Spin Casting Method

Y. C. Suh, J. W. Park, S. H. Kim

Abstract

Production of rolled steel has been growing partly supported by the advancement of rolls and rolling mills. Aiming at the further improvement in roll performance, various new techniques such as centrifugal casting, double poured casting cast steel, special build-up making, etc. have been introduced in the field of roll manufacture in these several years. The present paper describes the development of horizontal cast rolls(sleeve and indefinite chilled roll) made by Hyundai Steel and the results of mill tests. The developed rolls are contributing the improvement of final products.

Key Words : Horizontal Centrifugal Casting, Cast rolls, Indefinite Chilled Roll, Sleeves Rolls, Adamite Rolls

1. 서 론

1783년 영국의 H.Court 의 초기 압연기의 개발을 시발로 1920년대에 연속압연 방식이 개발되어 오늘에 이르고 있다. 현대식 열간 압연기술은 열간 압연기의 개발과 더불어 비약적으로 발전하였는데 이를 크게 판압연기술과 형강압연기술로 나눌 수 있다. 판압연기술은 제어정도의 고도화, 자동화 및 시스템화, 공정제약의 해소, 공정의 연속화 및 생략화를 통한 고품질의 제품제조, 고기능의 제품개발을 이룩하기 위한 노력이 지속적으로 진행되고 있다[1]. 또한 형강압연기술도 Beam Blank, Bloom, Billet 의 중간제품을 특정한 단면형태의(Γ, C, I, H, T) 구조용 강재를 제조하는데 있어 공형설계를 통한 치수정밀도 향상 및 제어압연을 통한 고품질, 고기능성 제품개발 노력이 지속되고 있다[2].

따라서 최근의 열간 압연기술의 눈부신 진보에 따른 가혹한 압연환경에 견딜 수 있는 Roll 의 고품질화(내마모성, 내표면거침성, 내사고성)의

요구는 더욱 더 높아지고 있다. 이에 대응하기 위해 롤재질은 긴 역사에 걸쳐 그림 1과 같이 제조방법 및 재질개발을 통해 발전되었다. 특히 단일재질로는 내마모성과 강인성의 상반된 성질을 동시에 만족시킬 수 없는 정치주조법을 대신하여 외층재와 심재를 별도의 재질로 제조하는 복합화 기술이 1960년대 원심주조법의 등장으로 비약적인 발전을 이루었다. 복합화 기술의 진보에 의해 강도적인 측면에서 보다 강하고 내마모성이 뛰어난 백주철(Indefinite Chilled), 고크롬 주철(High Cr Iron), 고크롬 주강(High Cr Steel), 고속도공구강(High Speed Steel), 탄화물 강화 백주철(Carbide Reinforced Indefinite Chilled)의 신재질 개발과 더불어 압연기술, 설비관리기술 등의 개선을 통한 Mill Trouble 의 감소로 최근 roll 원단위는 급격하게 감소되고 있다.

최근 복합화 기술로는 1990년대 연속욕성법(Continuous Pouring Process for Cladding) 법이 개발되었으나, 원심주조법에 비해 생산성이 떨어지고, 제조비용이 높아 제한된 Mill 에서 적용되고 있다. 또한 원심주조법에서도 유럽 및 미주에서 수직식 원심주조법을 선호하는 반면, 일본 및 중국에서

1. 현대제철 포항공장 물제조부

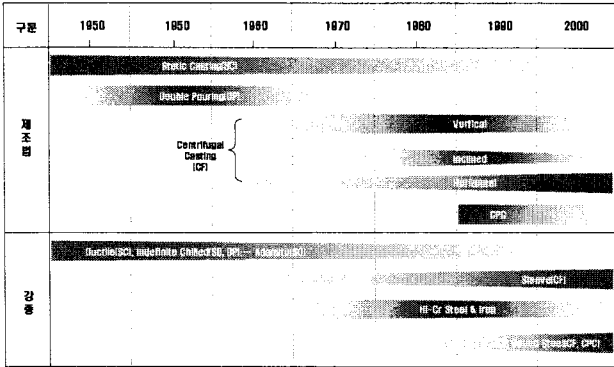


Fig. 1 Change in the manufacturing process and the materials of cast rolls

는 초기 투자비용이 저렴한 수평식 원심주조법을 적용하고 있으며, 경사식 원심주조법은 제품품질 관리의 문제점 때문에 적용하는 업체가 점차 감소하고 있다.

당사는 1980년 후반에 제작된 수직식 원심주조기를 이용하여 복합 원심주조 Roll 을 제조하고 있으며, 최근 형강 및 판압연 후단롤 제작을 위해 수평식 원심주조기를 개발하였다. 본 논문은 수직식 및 수평식 원심주조법에 의해 제작된 슬리브 및 백주철 롤의 특성을 비교하고자 한다.

2. 수평식 원심주조기

2.1 설비

수평식 원심주조기의 주요설비 및 개략도를 그림 2 및 표 1에 나타내었다. 제작 가능한 제품은

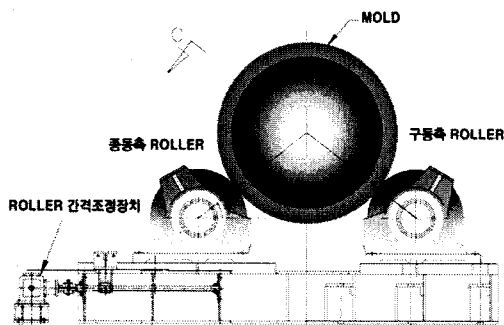


Fig. 2 Schematic drawing of horizontal centrifugal caster

Table 1 Specifications of horizontal centrifugal caster

구분	주요	사양	
설비	모터	kW	AC 300
		제어방식	가변제어
	롤러	외경 (mm)	1000
		Rpm	< 1100
	간격 (mm)	1900-2500	
제품	금형 (Mold)	<45톤	
	최소경 (mm)	600	
	최대경 (mm)	1480	
	길이 (mm)	1900-2700	
	주입중량 (톤)	< 20	

주입중량 기준으로 약 20톤 이하로 슬리브 및 열연 roll 이 가능하도록 설계되었으며, 그림 3과 같이 외경이 다른 제품을 제조할 경우에 roller gap 조정(L)에 의해 일정한 각도(θ)에서 회전되도록 하였다.

2.2 원심력

수평식 원심주조법에 적용되는 원심력은 식(1)과 같다. 식으로부터 용탕에 적용되는 원심력은 roller 의 회전수에 비례하여 증가하며 일반적으로 약 100-150 G 값이 적용되고 있다.

$$N = \sqrt{\frac{1787000 \times G}{D_i}} \quad N_r = N \times \frac{D}{D_r} \quad (1)$$

여기에서, N은 금형의 회전수(rpm), N_r 은 roller 회전수, G는 중력배수, D는 금형의 외경(mm), D_i 은 금형의 내경, D_r 은 roller 평균외경이다.

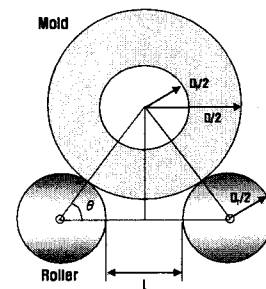


Fig. 3 Method for determining roller gap(L) with various mould sizes under constant angle

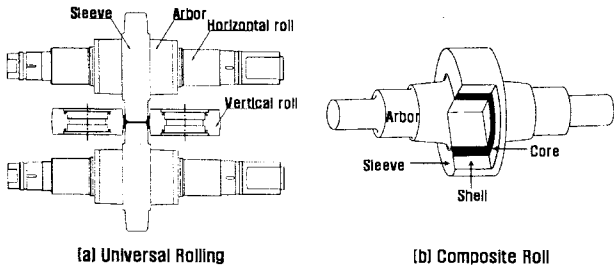


Fig. 4 Schematic drawings of universal rolling and composite roll

3. 수평원심주조 주조 Roll 개발

3.1 슬리브 Roll

H-beam 은 그림 4(a)와 같이 단면 특성상 flange부가 평행하고 수직하기 때문에, 상하 2개, 좌우 2 개 총 4 개의 롤로 구성되는 universal 압연기를 사용하여 압연한다. 압연 중 flange부와 web부에 직접 압하가 이루어지므로 제품표면이 미려하고 치수 정밀도가 우수한 슬리브 롤이 적용된다. H-beam 생산초기에는 mono roll(단일재질)을 사용하였으나, 현재는 roll 원단위 저감과 제품 표면품질 향상을 위하여 그림 4(b)와 같이 arbor 와 sleeve 로 구성되는 composite roll 을 사용하고 있다[3].

3.1.1 제조특성

슬리브롤은 외층재가 100-200mm, 내층재가 80-130mm 두께를 갖고 있으며, 일반적으로 외층재/내층재 두께비가 2:1 로 제작한다. 따라서 두꺼운 외층재의 조직을 미세화하기 위해서는 용탕의 냉각속도를 증가시켜야 한다. 그림 5는 수직식 및 수평식 원심주조법에 의해 제조된 슬리브의 미세조직을 나타내었다. 수직식 원심주조법의 경우에는 상부와 하부의 외층재 두께차이와 몰드 및 몰드상부로의 냉각에 의해 수직상정 조직을 나타내고 있는 반면에, 수평식 원심주조법에서는 균일한 외층재 두께와 몰드 및 몰드 양쪽 끝단으로의 빠른 냉각으로 등축정 조직을 나타내었다. 또한 내층재도 수평식 원심주조법의 빠른 냉각에 의해 흑연이 미세하게 균일분포되어 있는 조직을

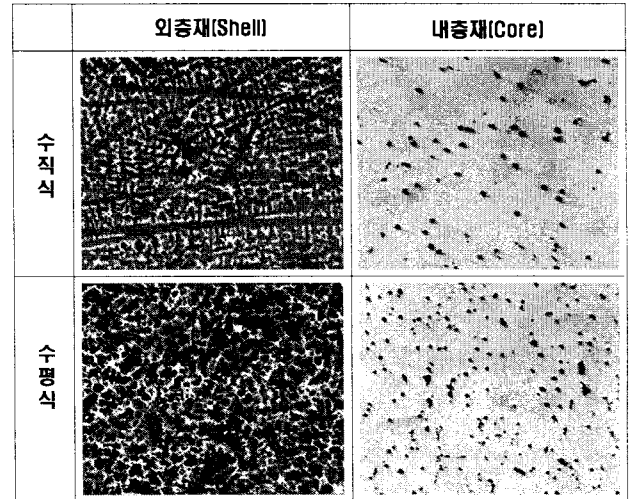
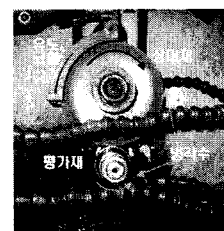


Fig. 5 Typical microstructure of sleeve rolls made by different centrifugal casting method

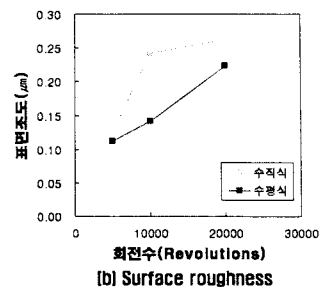
얻을 수 있었다.

3.1.2 압연특성

그림 6(a) 는 압연모사기를 나타내었다. 상대 재료는 저탄소강을 약 850-900℃ 로 가열한 후 평가재인 슬리브를 500MPa 하에서 1000rpm 으로 회전시켜 마모량 및 표면조도를 평가하였다. 마모량은 수직식 및 수평식 원심주조 슬리브에서 동일하게 나타났지만, 그림 6(b) 에서와 같이 표면조도에서는 수평식 원심주조 슬리브가 우수하게 평가되었다. 이것은 등축정 조직이 압연재 표면품질을 향상시킬 수 있다는 것을 의미하며, 실제 압연에서도 Heat Crack 감소 등에 의한 압연재의 표면품질 개선을 확인할 수 있었다.



(a) Wear simulator



(b) Surface roughness

Fig. 6 Roll simulator and surface roughness of sleeve rolls after rolling by simulator

3.2 백주철 Roll

판압연용 후단 압연롤은 표면거침이 제품의 최종 표면품질을 좌우하기 때문에 후단 압연롤에 사용되는 롤재질은 내거침성이 우수한 백주철이 적용되고 있다. 백주철은 흑연을 함유하여 열전도성, 윤활성이 우수하여 내소착성 뛰어나며[4], 흑연이 응력집중원으로 변형을 흡수할 수 있기 때문에 열간균열에 대한 저항성이 높다[5].

3.2.1 제조특성

수직식 원심주조에 의한 백주철은 일정 원심력 하에서 외층재 주입 후 응고가 완료되는 시점에서 내층재를 주입하는 방식으로 제작되며, 이때 내층재는 원심주조기 내에서 원심력을 감소시키면서 주입한다. 그러나 수평식 원심주조는 외층재를 주입한 후 응고가 완료되는 시점에서 원심주조기를 정지한 다음, 그림 7과 같이 원심주조한 외층재와 상하 Neck 부를 합형한 후 정지주조로 내층재를 주입한다. 따라서 내층재 주입은 수직식 원심주조에 비해 2-3배 느리기 때문에 외층재의 냉각속도는 수직식에 비해 증가하여, 그림 8에서와 같이 탄화물 크기가 감소되었다.

3.2.2 압연특성

수평식 원심주조에 의해 제조된 백주철은 조직 미세화를 통한 내거침성이 향상으로 제품 표면품질이 개선되었으나, 내마모성은 기존과 동일하게 나타났다.

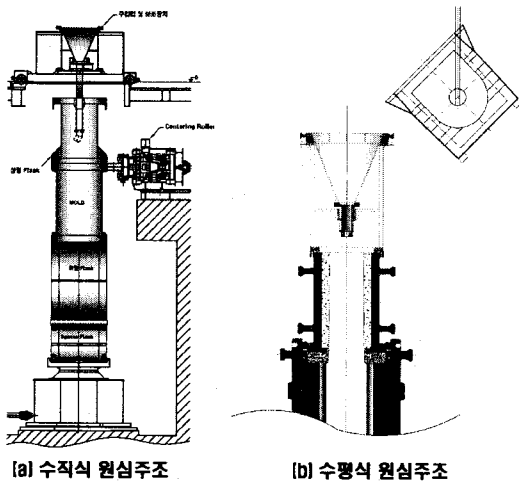


Fig. 7 Schematic drawings of core pouring process

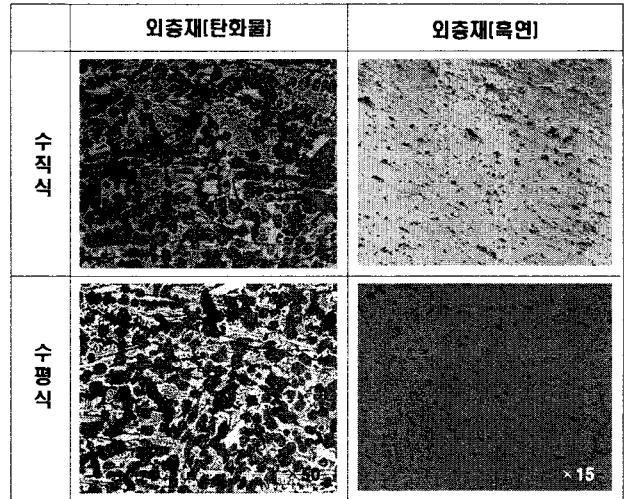


Fig. 8 Typical microstructure of indefinite chilled rolls made by different centrifugal casting method

4. 결론

수평식 원심주조기 개발을 통해 열간압연 후단 스탠드에 적용하는 슬리브 및 백주철롤을 성공적으로 제작하였다. 특히 수평식 원심주조법은 외층재의 냉각속도를 증가시켜 조직을 미세화시킴으로써 최종 압연제품의 표면품질을 향상시켰다.

참고 문헌

- [1] 原千里, 1993, Recent technical development on rolls for hot strip mill, 西山記念技術講座, Vol. 19, pp. 131~161.
- [2] 김효섭, 조경희, 2005, 열간압연, 현대제철 기술교재, pp. 209~264.
- [3] R. B. Corbett, 1990, Rolls for the metalworking industries, The Iron and Steel Society Inc., pp. 121~134
- [4] 衫村幸彦, 1982, 鑄物 Note, vol. 47, pp.27
- [5] Y.Konno et al, 2002, CAMP-ISIJ, vol. 15, pp. 998