



오버레이용접된 Wrapping Roll의 비드마크제거를 위한 열영향부의 미세조직에 관한 연구

유 국 종* · 백 응 루*

*영남대학교 공과대학 재료금속공학부

The Study on Microstructure of the Heat Affected Zone for Removing of Beadmark in the Overlayed Wrapping Roll

Kook- Jong Yoo* and Eung- Ryul Baek*

* Dept. of Metallurgical & Materials Engineering, yeungnam University, Kyeongsan 712-749, Korea

Abstract

In case of overlayed wrapping roll, beadmark shape appear at wrapping roll surface due to irregular wear between weld bead. Irregular wear of this is caused by difference of hardness between weld bead. This study aims at investigating which matrix is good for removing of beadmark at wrapping roll surface. So, we make specimen with martensitic matrix and austenitic matrix. The overlayed alloys were deposited 4 times on a SS41 steel plate using self-shielding flux cored arc welding method. Difference of hardness between weld bead of specimen with matrix of martensite was higher than specimen with matrix of austenite both as-welded and after heat treatment. Therefore, austenitic matrix is better than martensitic matrix for removing of beadmark of wrapping roll surface.

(Received July 6, 2000)

Key Words : Wrapping roll, Hardfacing, Beadmark, Self-shielding flux cored arc welding(SS-FCAW), Heat affected zone, Martensite, Austenite, Overlay welding

1. 서 론

오버레이용접은 내마모성, 내식성, 내산화성 등을 갖는 합금의 용접재료를 모재 표면에 아크열로 균일하게 용착시킴으로써 재료표면의 물성을 향상시키고자 하는 표면처리기술의 한 방법으로 표면경화에 의한 내마모성 향상, 마모부의 보수 및 설비수명연장을 위한 목적으로 이용되고 있으며, 부품의 수명을 향상시켜 잦은 교체로 인한 비가동 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있다^{1~5)}.

열연 Down Coiler는 열간 압연된 모든 열연판을 코일형태로 감는 권취기로서 열연설비 중에서 매우 중요한 설비이다. 이 Down Coiler는 Mandrel, Wrapping Roll, Pinch Roll과 이들 각 설비들의 구동 및 제어 설비들로 구성되어 있다. 이들 설비 중 Wrapping Roll

은 600~750℃내외의 열연판과 연속적인 접촉으로 인한 마모 및 충격, 열 및 응력에 의한 변형 등에 견디어야 하므로 내마모성, 내충격성, 내산화성이 요구된다.

Wrapping Roll의 경우 현재 S53C모재에 일본의 Nittes hard(주)에서 수입한 용접재⁶⁾를 4층 오버레이용접한 롤과 일본의 FUJICO(주)의 CPC롤⁷⁾을 사용하고 있다. 오버레이용접 롤의 경우에는 사용 중 용접비드 간의 편마모로 인해 열연판 표면에 비드마크 결함을 발생시키는 단점이 있으나 가격이 싸다는 장점이 있다. 이에 비해서 CPC롤의 경우에는 비드마크 결함을 발생시키지 않아 사용 수명이 길어 보수 주기면에서의 장점을 가지는 반면 가격이 오버레이용접롤에 비해 3배의 고가인 단점을 가지고 있다. 실제 일본의 Nittes hard(주)에서 수입한 용접재로 용접한 Wrapping Roll의 경우 사용후 불균일 마모자국이 발

생한 곳에는 경도값이 Shore 54~60으로 이웃부위의 Shore 63~65에 비해서 경도값이 Shore값으로 약 5~9정도의 차이를 보이는 것으로 알려져있다⁸⁾.

열연코일의 표면 결함은 열연공정 이후의 냉연공정에서 제거할 수 없으므로 고품질의 표면 미려도를 요구하는 자동차용 냉연강판을 생산하는 경우에는 Wrapping Roll의 표면상태가 중요해진다.

Wrapping Roll은 사용 중 열연판과 계속해서 접촉 마모되는 롤 표면에는 용접비드간 불균일 마모 정도가 심해서 육안으로도 뚜렷이 용접비드 형상이 나타난다. 이러한 롤 표면에서의 용접비드간의 불균일 마모로 인해 발생한 용접비드 형상을 뚜렷이 나타내는 경우에는 열연판 표면에 용접비드 자국을 남기며, 통상적으로 이 자국을 비드마크라 한다. 오버레이용접한 롤 표면에 용접비드 형상이 나타나는 것은 우선적으로 오버레이용접부위의 미세조직 불균일이 주요인이다. 오버레이용접부위의 미세조직 불균일은 용접열영향부(Heat affected zone : HAZ)를 가지고 있는 것이 주된 요인이다. 용접시 용융금속(weld pool)으로부터 열이 모재로 전달됨에 따라 용융금속의 경계 근처 모재금속의 온도는 상승한 후 냉각된다. 이 온도의 변화에 따른 금속학적인 변화가 발생한 영역을 열영향부라고 하며 이 영역에서는 충격 및 인장강도의 저하, 경도변화, 크랙발생 등의 변화가 일어나나 무엇보다도 이들 변화는 열영향부의 화학성분과 열변화 형태에 의존한다는 것은 널리 알려진 사실이다^{9,10)}.

따라서 본 연구에서는 오버레이용접한 Wrapping Roll의 표면에 비드마크 결함으로 인해 편마모가 발생하는 것을 방지하기 위하여 용접상태에서 기지조직이 마르텐사이트인 경우와 오스테나이트인 경우로 구분하여 어떤 조직이 비드마크결함을 방지하는데 좋은지를 평가하고자 하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용한 시편은 오버레이용접으로 제조하였으며 오버레이용접은 SS-FCAW(self-shielding flux cored arc welding)방법으로 두께 20mm인 SS41강의 모재위에 용접 비드를 중첩시키면서 1층을 오버레이용접한후 용착금속위에 동일한 방법으로 반복하여 4층까지 오버레이용접하였다. 오버레이용접에 사용된 용접와이어는 단면형상이 Lapped cored wire이며, 합금분말을 플럭스와 함께 혼합한 후 외경이 3.2mm로 제조하여 사용하였다. 모재를 약 150~200℃로 예열한 후 정전압 30V, 사용전류 1,000A에 DC 역전극

으로 용접하였으며, 용접조건은 여러 가지 조업조건을 행하여 정한 최적의 조건에서 수행하였으며 그 결과는 Table 1에 나타내었다. 용접 상태에서 마르텐사이트 조직을 얻기 위하여 시편 1~4를 제조하였으며 오스테나이트 조직을 얻기 위하여 시편 5~8을 제조하였다. 제조된 용접시편의 화학성분은 정량적으로 측정하였으며 4층 오버레이용접부의 화학성분 분석치를 Table 2에 나타내었다. 이렇게 제조한 시편은 3층과 4층의 경도편차를 줄이기 위해서는 성분을 균일하게 하는 것이 중요하다. 용접 상태에서 불균일한 성분을 균일하게 하게 하기 위하여 1,050℃에서 90분동안 균질화 처리를 하여 성분을 균일하게 하고자 하였으며, 480℃에서 60분 동안 템퍼링처리를 하였다.

Table 1 Welding conditions

Arc Voltage	30V(DC)
Welding Current	1,000A
Electrode Polarity	Negative
Travel Speed	35 in. / min.
Electrode Angle	Normal to Plate Surface
Preheating Temperature	150 ~ 200℃

오버레이용접부의 미세조직은 1μm로 정연마후 Vilella's reagent(5ml HCl, 1g picric acid, 100ml ethanol)로 에칭시켜서 광학현미경 및 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 시편의 경도 측정은 3층과 4층의 경계를 중심으로 3층 부분과 4층 부분의 경도를 미세경도기(Micro-Vickers Hardness Tester)로 측정하여 3층과 4층의 경계를 중심으로 경도변화를 알아보았다. 그리고 X선 회절 분석을 하여 각 시편의 구성상을 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 오버레이용접층의 미세 조직

Fig. 1은 시편 1~4의 열처리 전·후의 조직을 나타낸 것으로 Fig. 1에서 알 수 있듯이 시편 1~4의 경우 모두 용접상태에서 조직이 마르텐사이트이다. 3층과 4층의 조직이 방향성을 가지고 성장해 있으나 열영향부는 방향성을 가지고 성장했던 조직이 용접열에 의하여 파괴되어 있음을 알 수 있다. 또한 Fig 1에서 보면 3층, 열영향부, 4층의 경계가 뚜렷이 구분되어 있음을 알 수 있다. 반면 Fig. 1에서 열처리 후의 조직을 살펴보면 열처리전 조직에서 관찰되었던 방향성을 가졌던

Table 2 The chemical compositions for 4th layer of weld metal

	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Cu	%Ti	%Mo	%N	%Fe
1	0.09	0.34	0.42	17.22	6.34	0.01	0.263	-	0.015	bal.
2	0.13	0.42	0.53	16.23	6.30	0.03	0.559	-	0.013	bal.
3	0.10	0.42	0.46	17.51	6.65	2.03	0.303	-	0.017	bal.
4	0.15	2.40	1.59	7.06	4.75	2.54	0.375	2.89	0.016	bal.
5	1.25	0.22	2.96	11.86	5.96	-	0.654	-	0.019	bal.
6	1.33	0.21	3.76	12.79	6.31	-	0.07	-	0.011	bal.
7	1.19	0.23	2.94	12.27	6.28	1.69	0.38	-	0.017	bal.
8	1.22	0.23	3.08	11.55	5.58	0.825	0.4	-	0.016	bal.

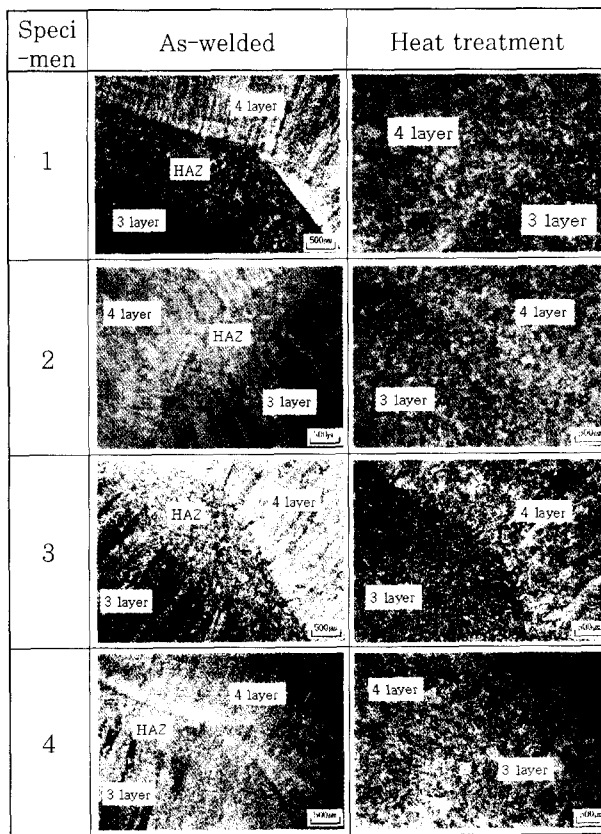


Fig. 1 Optical micrographs of as-welded structures and structures after heat treatment (specimen 1~4) ($\times 25$)

조직은 관찰되지 않았고, 열영향부가 존재하는 비드경계부가 뚜렷하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 2는 시편 1~4의 3층과 4층의 경계부분을 200배로 확대하여 찍은 조직이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 3층과 4층의 조직은 거의 동일하며 경계 또한 거의 구분되지 않았다. 열처리 전·후 조직변화를 알아보기 위해 XRD분석을 하였는데 열처리 전이나 후의 조직이 마르텐사이트임을 Fig. 3과 Fig. 4의 시편 1~4의

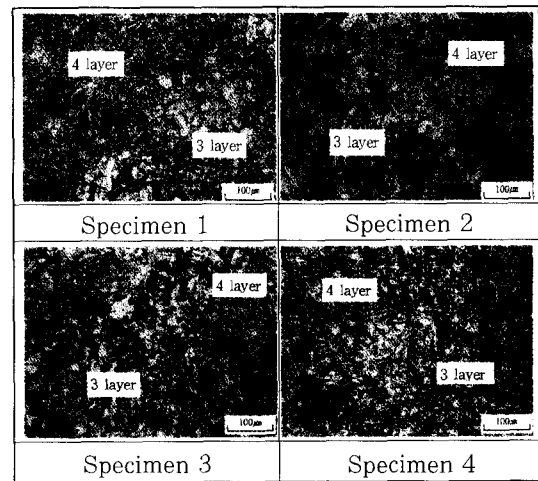


Fig. 2 Optical micrographs of structures after heat treatment (specimen 1~4) ($\times 200$)

XRD분석결과를 보면 알 수 있다.

Fig. 5는 시편 5~8의 용접상태에서의 조직과 열처리 후의 조직을 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 시편 5~8의 경우의 조직은 용접상태에서 초정오스테나이트가 생성되고 공정반응에 의하여 생성된 공정조직(오스테나이트+공정 크롬탄화물)으로 되어 있다. 이 경우에는 앞에서 살펴본 기지가 마르텐사이트로 되어 있을때(시편 1~4)와는 달리 비드 경계부가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 이는 기지조직의 대부분이 오스테나이트 상으로 용접열에 의하여 상변태되지 않았기 때문에 열영향부가 미세조직상에서 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 판단된다. Fig. 5에서 열처리 후의 조직을 살펴보면 열처리 전에는 오스테나이트였던 것이 마르텐사이트로 변태되어 조직이 마르텐사이트와 공정크롬탄화물로 되어있음을 알 수 있다. 또한 3층과 4층의 조직은 거의 균일하였으며 3층과 4층의 경계는 거의 구분되지 않았다.

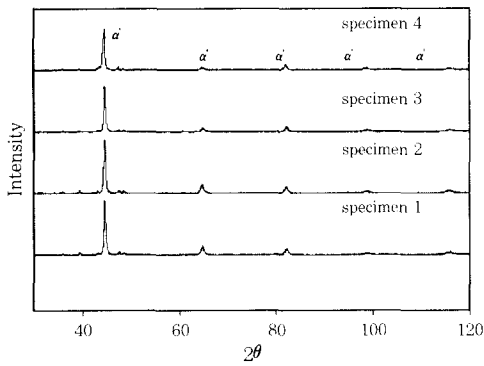


Fig. 3 X-ray diffraction pattern of specimen 1~4 (before heat treatment) : α' = martensite

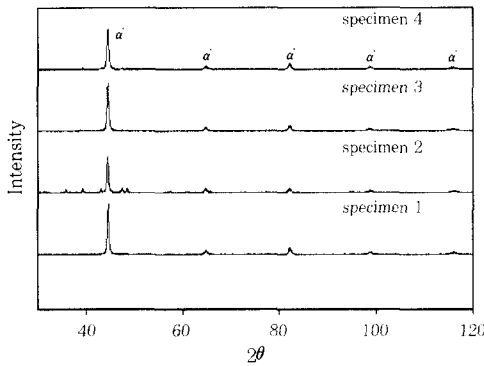


Fig. 4 X-ray diffraction pattern of specimen 1~4 (after heat treatment) : α' = martensite

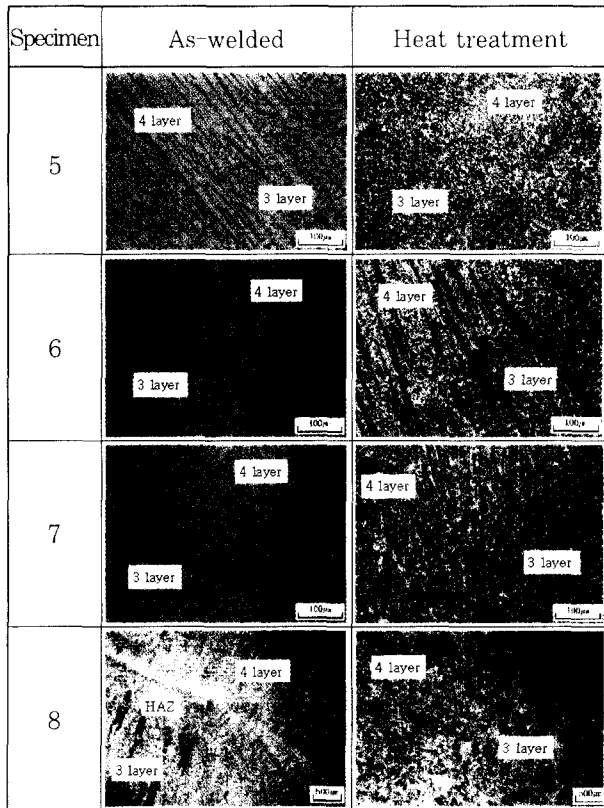


Fig. 5 Optical micrographs of as-welded structures and structures after heat treatment (specimen 5~8) ($\times 200$)

Fig. 6은 기지가 오스테나이트로 되어있는 시편(시편 5~8) 중 시편 5의 4층 부분을 SEM으로 찍은 사진으로 열처리 전·후의 조직을 나타내었다. Fig. 6을 보면 용접상태에서는 오스테나이트와 공정크롬탄화물로 이루어져 있고 열처리 후에는 마르텐사이트와 공정탄화물로 이루어져 있음을 확인 할 수 있으며 공정크롬탄화물 주위에 티타늄탄화물이 석출되어 있다.

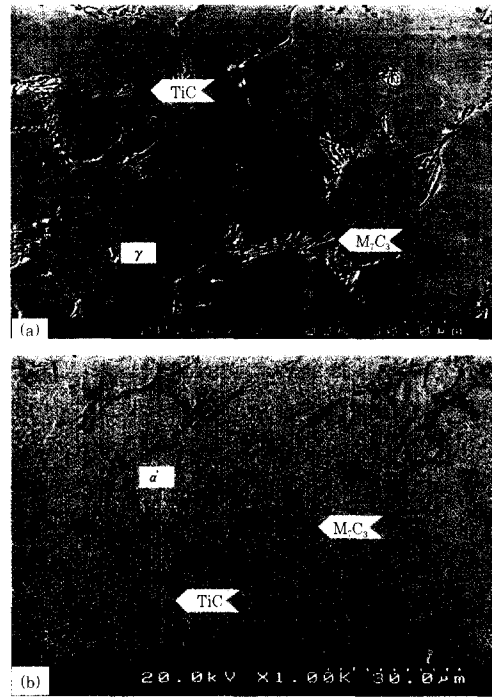


Fig. 6 Scanning electron micrographs of specimen 5 ($\times 1,000$) : (a) as-welded (b) after heat treatment : γ = austenite, α' = martensite, $M_23C_6 = (Cr, Fe)_23C_6$

Fig. 7과 Fig. 8은 시편 5~8의 XRD분석결과를 나타낸 것으로 용접상태에서는 기지가 오스테나이트이고 열처리 후에는 기지가 마르텐사이트라는 것을 확인할 수 있다.

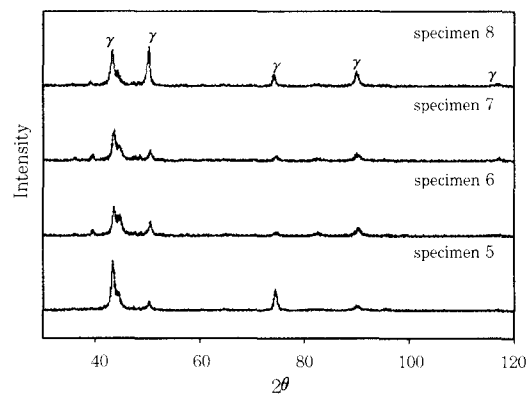


Fig. 7 X-ray diffraction pattern of specimen 5~8 (as welded) : γ = austenite

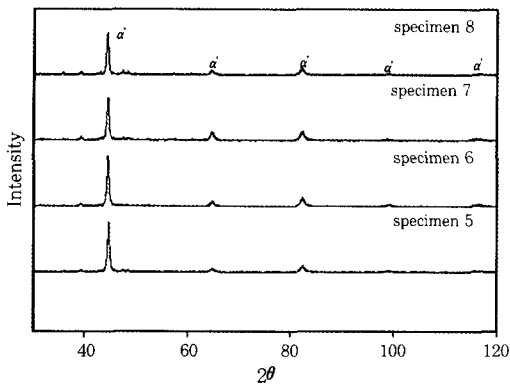


Fig. 8 X-ray diffraction pattern of specimen 5~8 (after heat treatment) : α = martensite

3.2 오버레이용접층의 경도 변화

Fig. 9는 미세경도 측정부위를 나타낸 것으로 열영향부가 있는 경우와 열영향부가 없는 경우로 나누어 간단하게 나타내었다.

Fig. 10은 시편 1~4의 용접상태의 3층과 4층의 경계를 중심으로 측정된 경도값을 경도값을 나타낸 것인데 Fig. 10에서 알 수 있듯이 열영향부(측정점 4)를 중심으로 경도값 변화가 심함을 알 수 있다. 특히 시편 2의 경우는 Hv 1~55정도의 큰 경도편차를 나타내고 있다. 시편 1과 시편 3, 4의 경우에는 Hv 1~35정도의 경도 편차를 나타내고 있다. Fig. 11은 시편 1~4의 열처리 후의 3층과 4층의 경계를 중심으로 측정된 경도값을 나타낸 것이다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 열처리 후 경도편차가 현저히 줄어들었음을 알 수 있다. 그러나 시편 2의 경우는 열처리 후에도 경도편차가 Hv 14~27로 시편 중에서 제일 편차가 심했으며 시편 1과 시편 3, 4의 경우에는 Hv 1~14정도로 경도편차가 많이 줄어들었다. 이는 균질화 열처리를 해 줌으로써 용접시 형성된 비드경계간의 조직불균일성을 상당히 해소시켜 줄 수 있음을 보여준 것이다. Fig. 10과 Fig. 11을 살펴보면 열처리 전보다 경도값이 열처리 후에 Hv 50~100정도 떨어졌음을 알 수 있는데

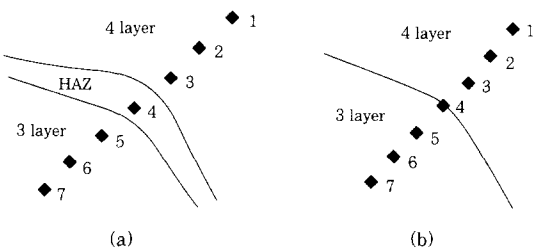


Fig. 9 The region of measurement of the micro-hardness : (a) with HAZ (b) without HAZ

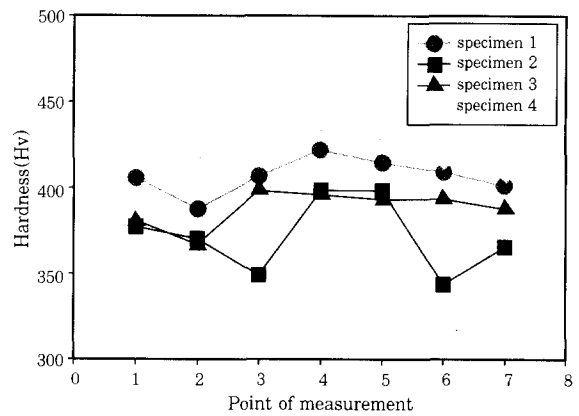


Fig. 10 The value of hardness between weld bead (specimen 1~4, as welded)

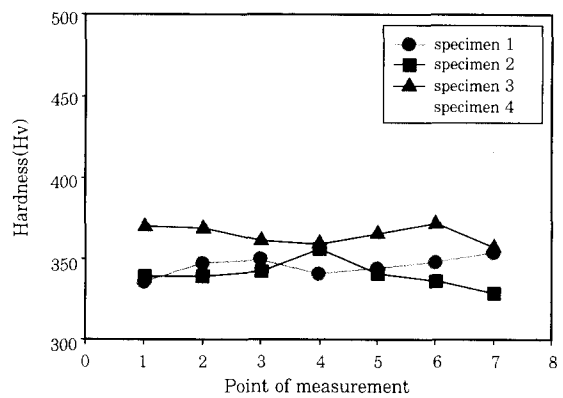


Fig. 11 The value of hardness between weld bead (specimen 1~4, after heat treatment)

이는 마르텐사이트가 템퍼링 처리를 거치면서 템퍼드 마르텐사이트로 변태되어 경도값은 떨어진 것으로 판단된다. 반면 기지조직이 오스테나이트인 경우 용접상태의 경도값은 Hv 350내외였으며 경도편차는 3층과 4층의 경계를 중심으로 Hv 2~20정도였다(Fig. 12). 그러나 열처리 후에는 경도값이 Hv 150이상 증

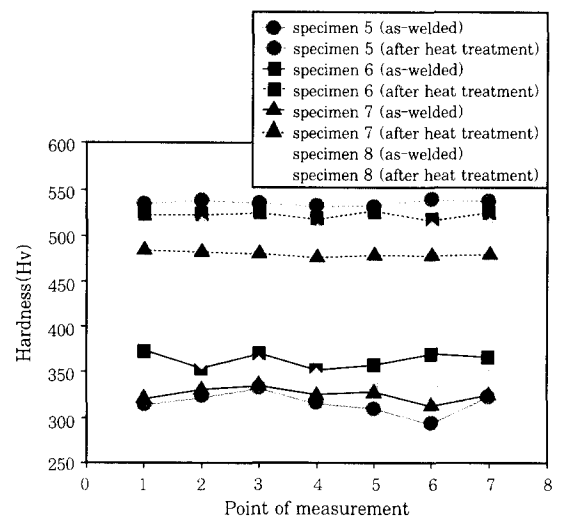


Fig. 12 The value of hardness between weld bead (specimen 5~8)

가하여 Hv 500내외의 경도값을 나타내었다. 이는 균질화 처리후 공냉하는 과정을 거치면서 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되어 경도값이 증가한 것으로 판단 된다. 열처리 후 경도편차가 Hv 1~8정도로 열처리 전보다 적어졌음을 Fig. 12에서 알 수 있다. 기지가 마르텐사이트인 경우보다 오스테나이트인 경우에는 열처리 전·후 비드경계간의 경도편차가 훨씬 적었다. 이는 용접열에 의한 열영향부의 미세조직이 오스테나이트인 경우에는 결정립의 크기 외에는 영향을 받지 않으나 마르텐사이트인 경우에는 열영향부의 열이력에 따라 심한 조직변화가 일어나기 때문이다.

4. 결 론

용접상태에서 기지가 마르텐사이트인 경우와 오스테나이트인 경우를 비교하여 Wrapping Roll의 비드마크제거를 위해 어느 경우가 좋은 지를 판단하기 위하여 실험을 행한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 용접상태에서 기지를 마르텐사이트로 한 경우 열처리 후 3층과 4층의 경계를 중심으로 열처리 전보다 경도편차가 Hv 20정도 줄어들었다. 그러나 열처리 후에는 마르텐사이트가 템퍼드 마르텐사이트로 변태하여 경도값은 용접 상태보다 Hv 50~100정도 줄어들었다.

2) 용접상태에서 기지를 오스테나이트로 한 경우 열처리 후 3층과 4층의 경계를 중심으로 열처리 전보다 경도편차는 Hv 2~20정도에서 Hv 1~8정도로 줄어들었다. 그리고 열처리 후에는 경도값 또한 Hv 150이상 증가하였다. 이는 열처리 후 기지가 오스테나이트에서 마르텐사이트로 바뀌었기 때문인 것으로 판단된다.

3) 용접상태에서 기지를 오스테나이트로 한 경우가 열처리 후 경도값이 Hv 500내외로 기지를 마르텐사

이트로 한 경우(Hv 350)보다 높았으며 경도편차 또한 기지가 마르텐사이트인 경우(Hv 1~27)보다 오스테나이트인 경우(Hv 1~8)가 적었다.

4) 위의 결과를 토대로 종합해보면 Wrapping Roll의 비드마크 결함을 줄이기 위해서는 용접상태에서 기지가 마르텐사이트인 경우보다 오스테나이트인 경우가 훨씬 좋을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 1999년도 영남대학교 학술연구조성비의 지원에 의하여 이루어 졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K. G. Budinski, Surface Engineering for wear resistance, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ(1988), p.209
2. American Society for Metals, Metals Handbook, Vol. 6, Welding, Brazing and Soldering, Metals Park, Ohio, ASM, 9th ed.(1983), p.771
3. R.J. Dawson, S. Shewchuk and J.E. Pritchard, Weld. J., 61(11)(1982), p.15
4. Y.M.Kuskov, I.I. Flumin and G.V. Ksendzyk, Welding Research Abroad, 26(1980), p.38
5. D. Kotecki, Weld. J., 71(1992), p.52
6. Nittes Hardfacing Products, Nitteshard co.'s catalogue.
7. Fuji, Kogyosho Welding Products, Fujico's catalogue.
8. 안상호, 백응률, 열연 Down Coiler의 Roll 표면개질연구, 산업과학기술연구소 보고서(1995), p.81
9. Kenneth Easterling, Introduction to the physical metallurgy of welding, Butterworth - heinemann ltd (1992), p.126
10. L. M. Gourd, Principles of welding technology, Edward arnold ltd(1980), p.100