

산업기계용 내마모강재의 용접성(I)

- AR360 강재의 적정용접조건에 대하여 -

산업과학기술연구소 용접연구센터 * 김충명
포항제철 품질관리부 김장길

1. 서론

산업기계용 강재는 우수한 내마모성의 요구로 인하여 탄소를 비롯한 다량의 합금원소 첨가가 불가피하여 용접성이 크게 문제로 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 주로 건설중장비 부품으로 사용되고 있는 내마모용 AR360 강에 대하여 저온 균열감수성 등 용접특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

실험재는 표면경도 H_v 360 이상을 갖는 AR360 강으로서 그 화학성분과 기계적성질은 각각 Table 1 및 Table 2 와 같다. 용접부의 저온균열감수성은 경사 Y 형 구속균열시험으로 평가하였으며, 용접 열영향부의 인성평가를 위해서는 고주파가열에 의한 용접 열Cycle 재현 및 실용접부에 대하여 Charpy 충격시험을 행했다.

용접 열Cycle 재현시험은 1350°C 로 가열후 800°C 에서 500°C 까지의 냉각 시간($\Delta t_{800-500}$)을 약 8.5, 23, 60, 120 및 300초의 5단계로 변화시켜 실시하였다. 또한 실용접은 SMA 및 GMA 용접방법으로 Table 3 과 같은 조건으로 행하였다.

시험재의 용접경화성은 용접열영향부 최고경도시험, Taper 경도시험으로 조사하고, 용접 열Cycle 재현에 의해 용접부의 조직변태특성도 조사하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1 은 경사Y형 구속균열시험 결과를 나타낸 것으로서 AR360 강의 용접시 저온균열의 발생을 방지하기 위한 한계 예열온도가 50°C 정도임을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 통상 0.48% 정도의 C_{eq} 값을 갖는 인장강도 80 kg/mm²급 강재의 한계 예열온도가 약 75~100°C인점을 감안할 때 C_{eq} 가 0.55% 정도로 비교적 높은 인장강도 120 kg/mm² 정도의 강재로서는 매우 양호한 결과라고 판단된다. 또한 본 실험에서 사용한 용접재료는 용착금속의 확산성 수소량이 4 ml/100g 정도로서 균열감수성 지수(P_c)가 0.395 정도이며, 계산식(1)에 의해 AR360 강의 균열방지

한계 예열온도를 산출하면 약 180°C가 된다. 즉 실제 실험에서 구한 예열온도가 화학성분을 근거로하여 산출한 온도보다 훨씬 낮은 값을 보임을 알 수 있었다. 이것은 시험재의 두께가 20 mm 정도로 비교적 얇기 때문에 구속도가 저하하여 균열감수성이 저하한 때문으로 생각된다.

용접 열Cycle 재현재의 충격시험 결과에 의하면 $\Delta t_{800-500}$ 가 증가함에 따라 충격인성치의 저하가 현저하여 시험온도 0°C의 경우 8.5sec에 비하여 냉각속도에 따라 2.4~7.0 kgf-m 정도 감소하고 있다. Fig. 2는 용접 열Cycle 재현재에 대한 충격시험 결과중 $\Delta t_{800-500}$ 가 8.5sec인 경우와, 이에 상당하는 용접 입열량 1.78 kJ/mm에 의한 실용접부의 충격시험 결과를 비교한 것이다. 이것에 의하면 열Cycle 재현재에 비하여 GMAW의 경우는 약 3.1~5.1 kgf-m, SMAW의 경우는 약 2.1~3.3 kgf-m 정도 높은 값을 나타냄을 알 수 있다. 이와 같이 열Cycle 재현재의 충격인성치가 실용접부에 비하여 낮은 이유는 열Cycle 재현재의 경우 시험편의 어느부위에서나 실용접부와 같은 온도기울기가 없어 미세화된 조직에 의한 Pinning 효과⁽²⁾, 즉 조직의 성장을 방해하는 효과가 적기 때문에 동일한 열Cycle을 부여한 시험편이라 할지라도 결정립의 크기가 실제보다 크게 성장하기 때문으로 생각된다. 따라서 용접 열Cycle 재현재에 대한 실험결과들의 실용접부의 적용시에는 실제상황과 상이한 요소들에 대한 충분한 고려가 필요하다고 생각된다.

한편 Fig. 2에서도 알 수 있는 바와 같이 비록 온도의 저하에 따라 그 차이는 소멸되는 경향이지만 GMAW의 경우가 SMAW에 비하여 양호한 충격치를 보이고 있고, 또한 Fig. 3의 결과에 의하면 용접부에서 용착금속에 가까울수록 그 차이가 커짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 GMAW의 특성상 보호가스에 의한 수소, 질소 등의 유해가스의 차단으로 용접부의 취화가 SMAW보다 적게 되었기 때문이다. 즉 용착금속에서는 보호가스의 효과가 매우 크기 때문에 그 차이가 크게 나타나는 반면, 모재부로 갈수록 보호가스의 효과는 감소하고 단지 열Cycle만을 받기 때문에 그 차이가 소멸되는 것으로 생각된다.

(1) 伊藤、別所：溶接学会誌、37-9 (1968), 983-991.

(2) K.Eastering : "Introduction to the Physical Metallurgy of Welding".
Butterworths, London, (1983), 29-33.

Table 1 Chemical compositions of material used.

Material	Chemical Compositions (wt.%)														Ceq [*]	Pcm ^{**}	
	C	Si	Mn	P	S	sol.Al	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	B(ppm)	N(ppm)			
AR360	0.15	0.26	0.90	0.017	0.006	0.050	0.21	0.41	0.60	0.42	0.040	0.016	15	45	59	0.554	0.295

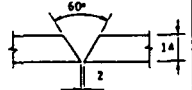
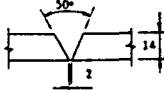
* : Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 (X) [WES]

** : Pcm = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B (X)

Table 2 Mechanical properties of material used.

T.S(kg/mm ²)	Y.S(kg/mm ²)	El.(%)	lb	vE-20
128.0	108.0	13.8	396	3.6

Table 3 Welding conditions used.

Welding method	S H A W	G H A W
Welding consumable	AWS E 11016 C (40)	AWS ER 110 S-C (1.20)
Shielding gas	-	80% Ar + 20% CO ₂
Current	170 A	250 A
Voltage	26 V	30 V
Welding speed	2.5 mm/sec	4.2 mm/sec
Heat input	1.77 kJ/mm	1.78 kJ/mm
Preheating temperature	50 °C	50 °C
Interpass temperature	50 100 °C	50 100 °C
Groove shape		

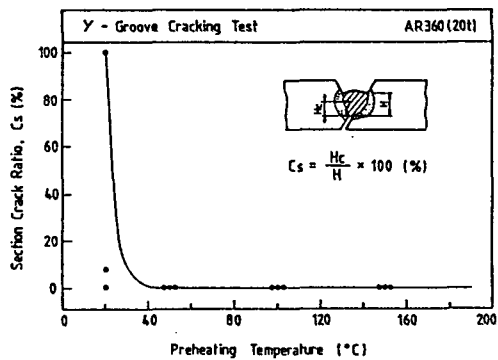


Fig.1 Y-Groove Cracking test results of AR360 steel.

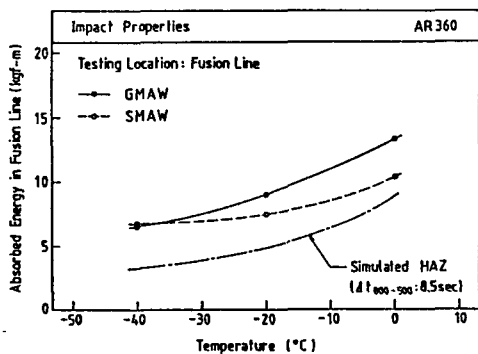


Fig.2 Comparison of impact properties in fusion line.

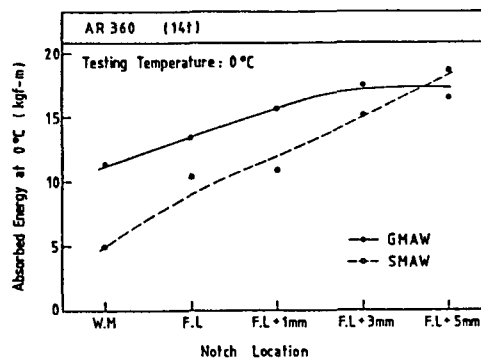


Fig.3 Comparison of impact properties for welding method.