

PROPELLER용접 수리에 대하여

본회 전 검사원 김 남 설

머 리 말

선박의 정비 유지 상태가 양호하더라도 선박의 추진에 직접적 영향을 주는 Propeller에 손상이 발생하였다면 선박의 운항에 직접 지장을 가져오게 된다.

Propeller는 통상 수중에 잠겨 있기 때문에 자주 검사나 손질을 할 수 없으므로 특히 docking중에 충분히 주의깊게 살펴 보아야 한다.

Propeller에 손상이 발생되면 선체의 진동을 가져오고, 선미재의 편마모, shaft의 균열, bearing의 편마모, 기관의 부하변동에 의한 배기 gas의 온도상승, 배기 valve 및 piston crown의 소손, Turbo-charger의 Surging 발생등과 같은 사고를 유발할 수도 있다.

Propeller에 발생하는 사고 원인을 살펴보면 재질의 불량, 형상의 부적당, 유목과 Wire-rope

등에 의한 충돌, Cavitation 발생에 의한 Erosion 및 산화작용과 전식작용에 의한 Corrossion 등으로 나누어 볼 수 있다.

이러한 원인등으로 Propeller-blade가 손상 되었을때 4종류의 Propeller 재질중 주로 Mn-Bronze계 Propeller의 용접수리에 대하여 살펴 보 고자 한다.

1. PROPELLER의 조직

Cu-Zn에 Mn, Al, Ni, Fe와 불순물 Pb, Si등의 합금이다.

표 1-1은 Propeller의 조직을 나타내고 있다.

2. 각 금속 원소의 성질

2-1. 표 2-1은 각 금속 원소의 성질을 나타내 고 있다.

2-2. 표 2-2은 Cu-Zn의 기계적 성질과 Zn함 량과의 관계를 나타낸다.

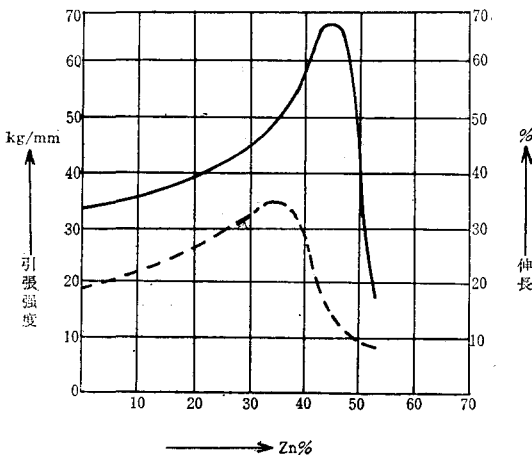
(표 1-1)

船級	種類	CHEMICAL COMPCSION (%)										引張試驗		備 考
		Cu	Sn	Pb	Fe	Mn	Al	Ni	Si	Zn	他	引張度	伸長	
A. B. S	TYPE-2 Mn-Bronze	55.0 ~66.0	max 1.00	max 0.40	0.4 ~2.0	max 1.5	0.5 ~1.5	max 0.5	-	殘	-	46 kg/mm ²	20%	Zn=35%전후
	TYPE-3 Ni-Mn-Bronze	53.5 ~57.0	max 1.00	max 0.20	1.0 ~2.5	2.5 ~4.0	max 2.0	2.5 ~4.0	-	殘	-	53	18	"
	TYPE-4 Ni-AL-Bronze	min 78.0	-	max 0.03	3.0 ~5.0	max 3.5	8.5 ~11.0	3.0 ~5.5	-	-	max 0.50	60	15	Zn=0%
	TYPE-5 Mn-Ni-AL-Bronze	min 71.0	-	max 0.03	2.0 ~4.0	11.0 ~14.0	7.0 ~8.5	1.5 ~3.0	max 0.10	-	max 0.50	63.5	20	"
	KHBSC-1	55.0 ~66.0	max 1.0	max 0.4	5 ~1.5	max 1.5	5 ~1.5	max 1.0	max 0.7	殘	-	44	20	Pb, Si불순물
N. K	KHBSC-2	min 78	-	-	2.5 ~5.0	max 1.5	8.0 ~10.5	1.0 ~3.0	-	-	max 0.5	50	20	他是 불순물
	KHBSC-3	min 78	-	-	3.0 ~6.0	max 1.5	8.5 ~10.5	3.0 ~6.0	-	-	max 0.5	60	15	"
	(D6007-75) KS용접규격	1종 HBsC ₁	55.0 ~60.0	1.0 이하	0.4 이하	0.5 ~1.5	1.5 이하	0.5 ~1.5	1.0 이하	0.1 이하	殘	44 이상	20 이상	1종박용 Propeller 는 인장강도 47이상
2종 HBsC ₂		55.0 ~60.0	1.0 이하	0.4 이하	0.5 ~2.0	3.5 이하	0.5 ~2.0	1.0 이하	0.1 이하	殘	50 이상	18 이상		
3종 HBsC ₃		55.0 이상	0.5 이하	0.2 이하	2.0 ~4.0	2.5 ~5.0	3.0 ~6.0	-	0.1 이하	殘	70 이상	10 이상		

〈표 2-1〉

元素名	凝固點	機 械 的 性 質
Cu	1.083°C	—
Sn	232°C	내식성을 증가하며, 2% 내의 첨가시 연성이 전혀없는 조직을 만들어내므로 첨가시는 1%이내로 한다.
Pb	327°C	절삭성을 증가하나 선박용 Pro'에는 불순물이다.
Fe	1.527°C	조직을 미세화하며 항장력과 경도를 증가한다.
Mn	1.260°C	기계적 성질을 현저히 높여준다.
Al	659°C	강도와 내식성을 증가 시키나, Al함량을 높일 때는 Zn의 량을 감소하지 않으면 안된다.
Ni	1.452°C	Cu와 고용하므로 Zn을 감소시키고 Cu을 증가하는 조직을 발생하게하나, 강도와 내식성을 증가한다.
Zn	419°C	—

〈표 2-2〉



인장강도는 Zn증가에 따라 증가 되어 45% Zn에서 최대값이 되었다가 Zn이 더욱 증가 됨에 따라 급격히 감소한다.

연신율도 Zn증가에 따라 증가되어 35% Zn에서 최대값이 되었다가, 40~50% Zn이 됨에 따라 급격히 감소한다.

3. Cu-Zn합금과 아연 當量에 대하여

3-1. 표 3-1은 Cu-Zn의 평형 상태도이다.

가. 일반적 성질

(a) α相은 面心立方으로 Cu에 Zn이 固溶한 相이며, Zn 함유량에 따라 軟하고 韌性이 크다.

(b) β相은 體心立方으로 인장강도와 경도가

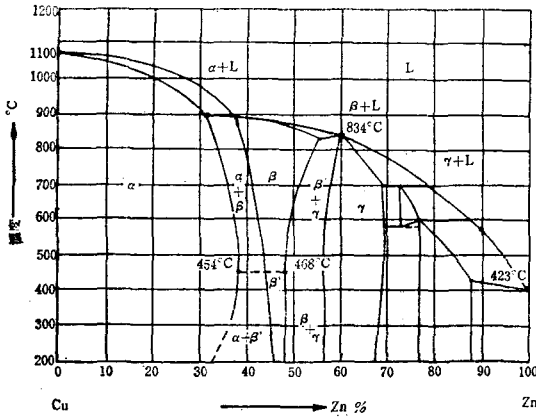
α相보다 크나 韌性은 떨어진다.

(c) γ相은 Cu₂Zn₃의 化合物을 母體로 하는 固溶體로서 脆弱하다.

(d) α 및 γ 固溶體는 용접시 금속粒이 연속적으로 성장하여 기계적 성질의 저하, Crack의 발생 원인이 된다.

(e) 변태점은 454°C~468°C이다.

〈표 3-1〉



나. 선박용 Propeller로서 중요한 점

(a) 아연 相當量(Zinc Equivalent)은 45%를 넘어서는 안된다.

(b) Zn이 45%를 초과할 때는 β' 단일조직이 되고 結晶粒은 거칠어지는 동시에 탈 아연 현상이 발생하게 되며 열처리시 온도 변화에 대하여 민감하여 지므로 Crack 발생의 원인이 된다.

다. 아연 當量的 계산식

Cu-Zn 합금에 기계적 성질의 향상, 내식성과 내마모성을 개선하기 위하여 Mn, Al, Ni, Fe 등

과 같은 제 3 금속을 첨가하므로서 Zn량을 증가한 것과 같은 효과를 가져온다.

이 의미에서 합금 원소의 I량이 Zn의 x량에 해당할때 이 x를 그 합금원소의 아연 當量(Zinc Equivalent)이라 한다.

3-2. 표 3-2는 Guillet에 의한 각 합금 원소의 이론적 아연 當量值이다.

〈표 3-2〉

元 素 名	Sn	Pb	Fe	Mn	Al	Ni	Si	Mg	Cd
亞鉛當量	2.0	1.0	0.9	0.5	6.0	-1.3	10	2.0	1.0

주 : a) 선박용 Propeller는 Mg을 함유 하지 않는다.

1) Ni는 Cu원 全率固溶하므로 마이너스(-)가 된다.

3-3. 표 3-3은 아연 當量 계산식을 나타내고 있다.

4. 수리구분 및 용접보수 순서

4-1. 표 4-1은 Propeller 보수구분도를 나타내고 있다.

〈표 3-3〉

方 法	式	Z.E 計 算 式	備 考
A. 船 B. S 級		$Z.E = 100 - \frac{100 \times A}{100 + t \cdot g} \leq 45\%$	Z.E : Zn相當量 B' : 결보기 Zn含有量 A.....Cu량(%) B.....Zn량(%) t _{1,2,3}제 3 금속의 량(%) g _{1,2,3}제 3 금속의 아연 當量值
日 本 船 用 會 工 業		$B' = \frac{B + t \cdot g}{A + B + t \cdot g} \times 100 \leq 45\%$	

〈例〉 아래와 같은 Pro의 Z.E를 계산하면

-Cu.	Sn,	Pb,	Fe,	Al,	Mn,	Zn].....계 100%
-57.7	1.0	0.2	1.0	0.4	0.25	39.25(%)	
↑	↑					↑	
구리(%)	제 3 원소의 아연當量的 총화					아연(%)	
	↑					↑	
	아연 相當量(Z.E)						

$$t \cdot g = \frac{(1.0 \times 2.0)}{Sn} + \frac{(0.2 \times 1.0)}{Pb} + \frac{(1.0 \times 0.9)}{Fe} + \frac{(0.4 \times 6.0)}{Al} + \frac{(0.25 \times 0.5)}{Mn} = 5.625$$

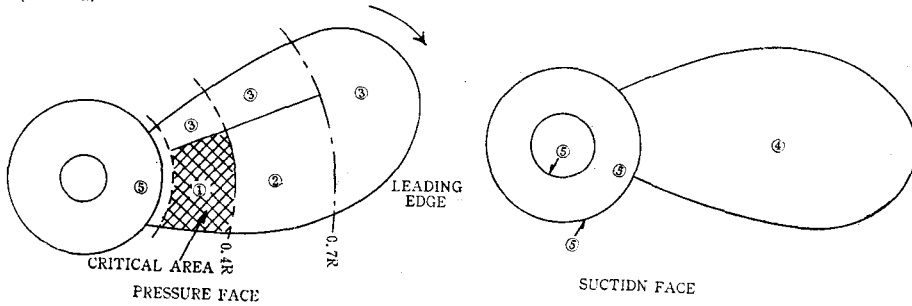
$$B + t \cdot g = 39.25 + 5.625 = 44.875$$

$$A + B + t \cdot g = 57.7 + 44.875 = 102.575$$

$$B' = \frac{B + t \cdot g}{A + B + t \cdot g} \times 100 = \frac{44.875}{102.575} \times 100 = 43.65\%$$

Cu-Zn계 합금의 43.65%에 상당한 조직이 된다.

〈표 4-1〉



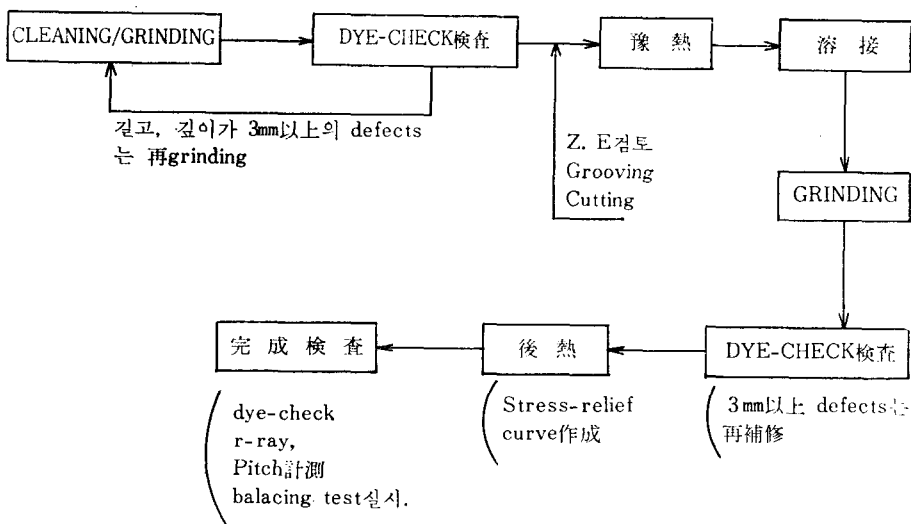
4-2. 표 4-2는 용접보수 구분에 의한 수리 요령을 나타내고 있다.

〈표 4-2〉

區分	場 所	補 修 範 圍		備 考
		1個 最大面積	補修總面積	
①	前 進 面 Root~0.4R	—	—	一般적으로 defect $dA = \frac{t}{50}$ mm (t : 그 부분의 익 두께) 또는 2mm以內는 grinding만 실시한다.
②	前 進 面 0.4R~0.7R	150×50×깊이 15 mm	表面積 5%以下	
③	前 進 面 0.7R~Blade tip	150×50×깊이 15 mm	〃	defect $dA = \frac{t}{40}$ mm (t : 그 부분의 익 두께) 또는 3.2mm以內는 grinding을 실시한다. 이以上 defects의 溶接補修는 0.7R 이후부터 실시한다.
④	後 進 面 Root~Blade tip	200×100×깊이 25 mm	〃	
⑤	BOSS部	100×100×깊이 25 mm	〃	—

4-3. 표 4-3은 용접보수 순서를 보이고 있다.

〈표 4-3〉



5. 용접봉

5-1. 표 5-1은 Propeller 재질별 용접조건을 보이고 있다.

〈표 5-1〉

ALLOY	WELDING-PROCESS	FILLER-METAL (ASTM)	PREHEAT TEMP °C	STRESS RFLIEF °C
TYPE-2 Mn-Bronze	TIG	RCuAl-A ₂	150~250	550~600
	MIG	ECuAl-A ₂		
TYPE-3 Ni-Mn-Bronze	TIG	RCuAl-A ₂	150~250	550~600
	MIG	ECuAl-A ₂		
TYPE-4 Ni-Al-Bronze	TIG	RCuAl-A ₂	50~100	NoNE
	MIG	ECuAl-A ₂		
TYPE-5 Mn-Ni-Al-Bronze	TIG	RCuAl-A ₂	50~100	650~700
	MIG	ECuAl-A ₂		

5-2. 표 5-2는 용접봉의 조직을 보이고 있다.

〈표 5-2〉

項 目 種 類	CHEMICAL COMPOSITION (%)						機 械 的 性 質		備 考
	Cu	Zn	Fe	Si	Al	Pb	引 張	硬 度	
ECuAl-A ₂	殘	MAX 0.02	MAX 1.5	MAX 0.1	9.0 ~11.0	MAX 0.02	42kg/m ² 이상	H _B 130~170	JIS Z3231 D Cu Al Ni 와 同一相當品
RCuAl-A ₂	殘	MAX 0.02	3.0 ~4.25	MAX 0.1	11.0 ~12.0	MAX 0.02	45이상	100~150	

5-3. 표 5-3은 용접법의 특성을 보이고 있다.

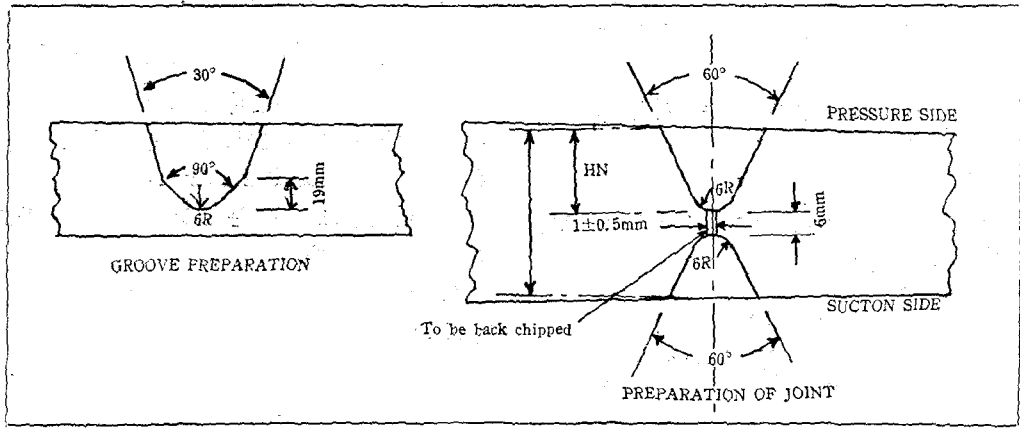
〈표 5-3〉

용접조건	용접법	TIG	MIG
극	성	교류, 고주파	직류, 역극성
용 접 봉 경		4mmφ	1.6mmφ
전 극 경		4mmφ	-
용 접 전 류		200~350A	200~350A
아 르 곤 유 량		15-25l/min	20~30l/min

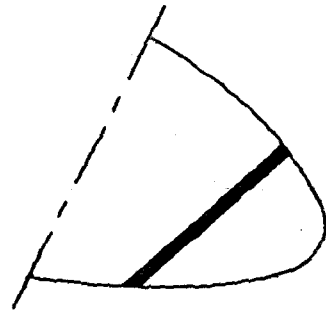
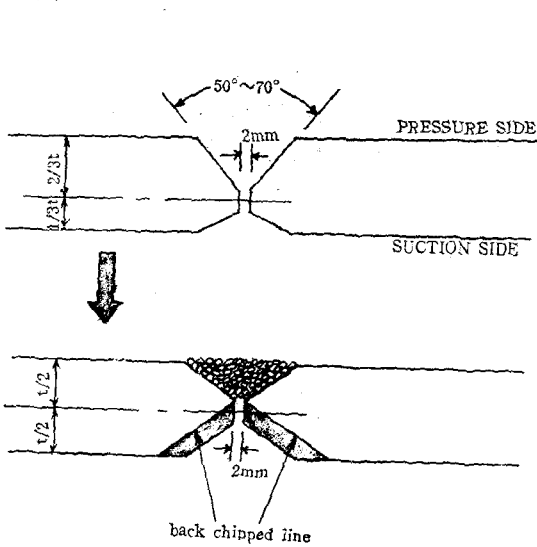
6. 開先형상 및 溶接형상

6-1. 표 6-1은 용접수리시 기초적 開先형상을 나타내고 있다.

〈표 6-1〉



〈例〉 아래의 표는 조선소에서 시행한 수리 자료의 일부이다.



(b) S자형 용접선

장 점

가) 용접응력이 제거되기 쉽다.

나) 용접 end부에 crack 발생되어도 연장되기 어렵다.

6-2. 溶接형상에 따른 분류

(a) 직선형 용접선

장 점

가) 용접선이 짧고 공기가 짧다.

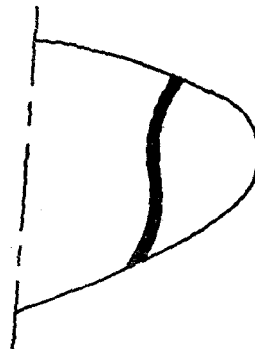
나) 개선 작업이 쉽다.

다) 용접면의 gap 조정이 쉽다.

단 점

가) 용접중 crack 발생시 연장되기 쉽다.

나) 항해중 용접 end부터 crack 발생이 쉽고, 연장되어 절손되기 쉽다.



단 점

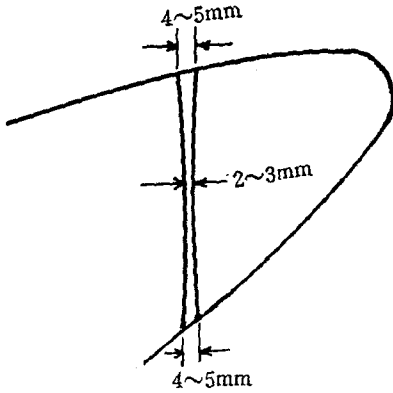
- 가) 용접선이 길고 공기가 길다.
- 나) 개선 작업에 시간이 많이 걸리고 어렵다.
- 다) 용접면의 gap 조정이 어렵다.

<표 6-2>

6-3. 용접 GAP

표 6-3은 blade 용접시 gap의 허용치를 보이고 있다.

<표 6-3>



Blade-end는 4-5mm, 중앙부는 2-3mm의 gap

으로, 용접은 중앙부부터 start하여서 응력을 와 부로 전달 제거하여 나간다.

7. 예열(PREHEATER) 및 용접 중간온도

(a) 용접 line 부근의 300mm 범위까지 예열 온도가 항상 150~250°C내에 유지하도록 한다. <표 5-1 PREHEAT TEMP°C참조>

(b) 예열온도 분배는 55°C/300mm이하로 내려가서는 안된다.

(c) 예열방법은 Ox-gas, Electric, Propan-gas touches등으로 시행한다.

(d) 온도 check는 온도지시용 크레용 또는 표면 온도계로서 시행한다.

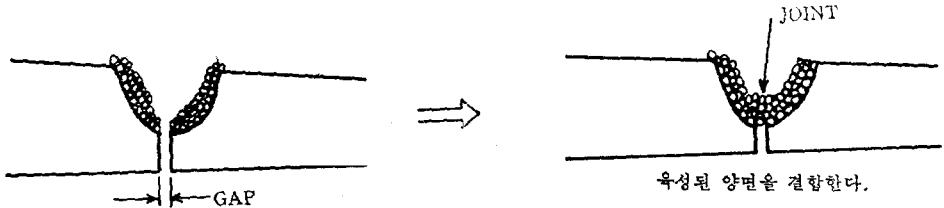
8. 용접(WELDING)

8-1. 용접시 주의 사항

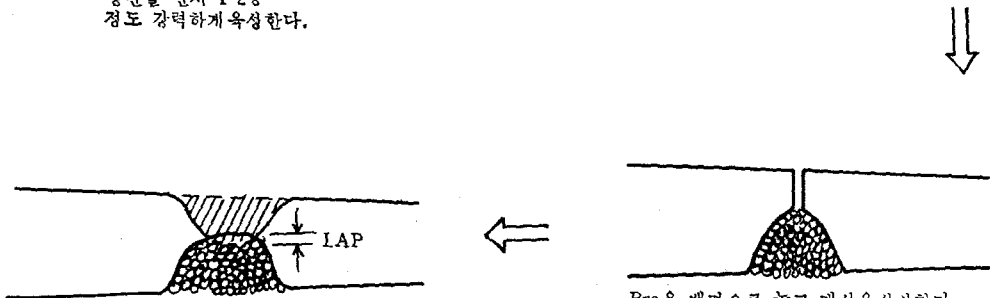
(a) 용접봉에 수분이 있으면 균열과 기공의 원인이 되므로 충분히 건조시킨다.

(b) 용접은 전진면부터 시행 한다.

(c) 용접부 길이가 400mm을 초과할 때는 길이를 3등분으로 구분하여 중앙부에서 blade-tip 쪽으로 gap의 변화에 주의하여 시행 한다.



결합력을 높이기 위하여 양면을 먼저 1-2층 정도 강력하게 용성한다.



개선후 용접을 시작한다. 특히 lap부분에 기공이나 용접 불량에 의한 crack등에 주의 하여야 한다.

(d) 용접부 두께가 40mm을 초과할 때의 육성은 2회이상 구분하여 시행하고, 특히 blade-tip 결함이 클 때는 후진면부터 육성을 시작하여 전진면까지 완료되면 grinding하고 dye-check 검사 후 결함이 발견 되면 재 보수 시행 한다.

(e) 용접시 start부와 end부는 peening을 실시 한다.

8-2. 용접 보수 요령

표 2는 보수 요령을 보이고 있다.

8-3. 균열부(crack) 용접 보수 순서

(a) 아연 相當量を 검토 한다.

(b) Stop-hole을 뚫는다.

Dye-check로부터 crack을 찾아내어서 crack의 end부분에 stop-hole의 뚫고 균열의 범위를정확히 파악한다.

(c) Stop-hole의 크기는 30mmφ이하로 한다.

Stop-hole dia $d\phi = \text{crack end부두께}$

(f) $\leq 30\phi$

(d) 개선(Grooving)

(e) 예열(Preheat)

(f) 용접(Welding)

Stop-hole측부터 blade-tip 쪽으로 시행한다.

(g) 후열(Stress-Relief)

(h) Stop-hole부 Plugging을 시행한다.

(i) Grinding 및 완성검사

8-4. Straightening방법과 온도관리

용접중 용접응력에 의하여 용접방향에 인장력이 발생되어 blade가 bending 된다. 이때 용접보수의 완성 및 정형의 단계로서 Straightening을 시행한다.

표 8-4는 그 방법과 온도관리를 보이고 있다.

<표 8-4>

Alloy	Straightening		Straightening Temp °C
	Area	Loading Method	
Type-2 Mn-Bronze	Minor	Dynamic	LAX 200
	Major	"	590~760
		Press-Jack	100~300
Type-3 Ni-Mn	Minor	Dynamic	MAX 200
	Major	"	590~760
		Press-Jack	100~300
Type-4 Ni-Al	Minor	Dynamic	MAX 200
	Major	"	760~950
		Press-Jack	760~950
Type-5 Mn-Ni-Al	Minor	Dynamic	MAX 200
	Major	"	790~860
		Press-Jack	700~820

9. 후열(STRESS-RELIEF)

(a) 응력제거를 위한 온도분배는 예열과 마찬가지로 55°C/300mm이하로 내려가서는 안된다.

<표 5-1 Stress Relief 참조>

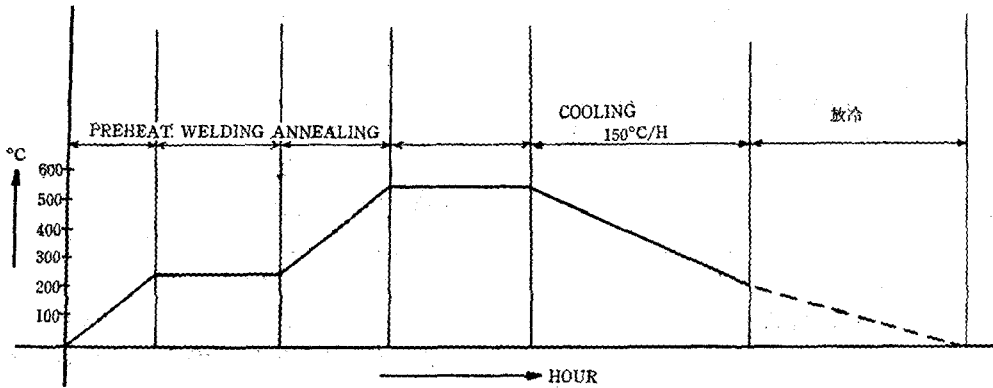
(b) 응력제거를 위한 유지 시간은 용접 개소의 최대두께 25mm마다 20~30분정도로 시행한

다.

(c) Stress-Relief Curve를 아래 예와같이 작성 한다.

10. 마무리 작업

Grooving→Preheat→Welding→Stress-Reli



ef 순서로 작업이 완료되면 Original foam으로 Grinding 사상을 실시하고 Dry-check 또는 r-ray로서 용접부를 검사한 후 Balancing test 및 Pitch 계측으로서 Propeller 용접수리를 마친다.

끝 맺음

이상으로 Propeller 용접 수리 전반에 대하여 살펴 보았다.

결론으로 몇가지 사항을 요약하여 보면

1. Docking 후 Propeller를 철저히 검사하고, Crack 또는 Damage 크기등을 신속, 정확하게 파악하여 Docking Schedule에 이상이 없도록 한다.
2. Mill-Sheet등으로 재질의 Zinc-Equivalent를 Check 한다.

3. 용접봉은 건조 및 예열을 시킨다.
4. 작업대를 견고히 설치하여 gap변화 및 열처리시 온도변화에 주의 하여야 한다.
5. 용접기의 용접 전류 및 아르곤 유량등의 변화에 주의한다.
6. 용접 start와 end부는 peening을 실시하고, 용접 중간온도는 150~250°C을 유지하여 접착력을 높인다.
7. Straightening시에 press 또는 jack를 사용할 때는 과도한 압력을 피한다.
8. Propeller cone 부분은 pro'발출 및 복구시를 제외하고는 전반적인 응력제거는 피한다.
9. Grinding 작업은 적당한 압력과 고속 Grinding machine을 사용한다.
10. 완성검사를 실시한다.

