研 究 論 文

大韓熔接學會誌
第4卷, 第1號, 1986年 3月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 4, No. 1, Mar., 1986

알루미늄의 常溫壓接에 관한 硏究(Ⅱ)
—酸化皮膜이 熔接性에 미치는 影響—

姜紋珍*· 李喆求**· 嚴基元***

A Study on Cold Pressure Welding of Aluminium(Report Ⅱ)
—Effect of Weldability on the Influence of Oxidation Films—

by
M. J. Kang*, C. K. Lee**, K. W. Um***

Abstract

This paper was studied about the influence of oxidized films on weldability in cold pressure welding. In preceding studies, the prinicipal foci of the studies about pressure welding were considered several factors(surface manufacturing methods, surface roughness, pressure welding speed and surface temperature). But the influence to the growth of oxidation have hardly known well. So the purpose of this paper consists in solving the question above and proposing the optimal states of the pressure welding.

Therefore the results obtained is as the following;

When the oxidation time is within about 2 minutes, the bonding strength is very good after surface manufacturing of the neighboring to be bonded.

The more sufaces are fine, the more bonding strength is excellent.

Above all, the optimal condition of cold pressure welding is the state that the characteristic value is 38% with smooth surface and without oxidation.

1. 序 論

一般的으로 많이 利用되는 熱을 使用한 融接은 熱에 의한 變形과 應力 集中을 유발시키기 때문에 이러한 熔接 缺陷을 개선시키기 위하여 精密機械部品의 接合은 熱變形이나 應力集中을 피하는 새로운 接合方法을 必要로 하게 되었다. 따라서 가스壓接, 摩擦壓接, 그리고 冷間壓接等과 같은 새로운 接合方法이 개발 되었다.

壓接은 金屬을 加熱하여 鍛接한 것으로 부터 시작되었지만 1944년 A.B. Kinzel[1]의 硏究에서 비로소 체계가 세워지기 시작했다. 이 硏究에서 그는 壓接面에 存在하는 酸化物이 母材쪽으로 확산되고 경계면에 粒子成長이 일어나며 溫度의 차이에 따라 이러한 확산의 정도가 다르다는 확산설을 주장하고 있다. 그 후 R.F. Tylecote와 D. Howd등은 Roll Bonding을 이용한 壓接에서 이러한 확산의 역활보다 接合에 더 지배적인 因子인 다른 變數를 제시했다. 즉 表面酸化膜의 散布[2),3)]라든가 두 금속표면의 接觸에 必要한 요철의 變形度[4),5)]등의 새로운 壓接 mechanism을

* 漢陽大學校 大學院
** 京畿工業開放大學, 機械工學科, 正會員
*** 漢陽大學校, 工大, 精密機械工學科, 正會員

도입하였다. J.M. Parkes는 이들 mechanism에 영향을 끼치는 주요한 인자중의 하나로써 表面거칠기를 硏究[6]했는데 그의 報告에서 그는 거친 표면은 매끄러운 표면에서 보다 작은 영역에 걸쳐 접촉이 이루어질 것이므로 낮은 結合強度를 나타낸다고 밝히고 있고 G. Durst는 壓接性에 미치는 表面加工 技術에 관한 硏究[7]에서 Scratch-brush 작업의 주요한 효과는 오염된 표면층의 제거에 있다고 주장하였다.

또한 L.R. Vaidyanath와 D.R. Milner는 냉간압접에서 표면상태의 중요성[8]에 관하여 보고하였는데 그는 이 보고에서 실온에서 Scratch-brush작업을 한 표면으로 壓接했을 때 最高結合強度는 Scratch-brush 가공이 어느정도 두꺼운 가공층을 낳는가에 따라 결정된다고 밝히고 있다.

한편 표면가공기술의 중요성과 더불어 壓接性에 절대적인 영향을 미치는 壓接速度및 壓接時의 表面溫度, 變形度에 관해서 많은 연구가 이루어졌다. M.G. Nicholas와 D.R. Milner는 Aluminium의 Roll Bonding에 관한 연구[9]에서 Roll사이에서 壓接할 材料가 유지되는 時間과 Roll의 加壓力에 관하여 조사하였는데 Rolling시간이 짧으면 짧을수록 더 큰 변형도를 가해야만 壓接이 가능해 짐을 밝히고 있고 加壓力이 크면 클수록 우수한 結合強度를 가진다는 것을 보고했다. 또한 그들은 "PressureWelding by Rolling at Elevated Temperature"[10]이라는 그들의 보고에서 표면온도의 증가와 더불어 壓接強度가 증가하지만 재결정온도 직상에서는 오히려 強度가 저하되고 최고 접합강도는 재결정온도 직하에서 얻어짐을 보고하였다.

그리고 최근 大橋 修등은 常溫壓接에 영향을 미치는 두세개의 인자에 대하여 연구[11]하였는데 이 연구에서 그는 변형도의 증가와 더불어 압접면의 피막이 파괴되고 청정한 금속면이 노출되어 슬립변형에 의해서 밀착화가 이루어져 이음은 더욱 견고해 진다고 밝혔다.

이상과 같이 지금까지의 연구에서는 표면가공방법, 표면거칠기, 압접속도및 표면온도등과 같은 인자에 관해서 검토하였으나 표면가공후 酸化物의 成長이 압접성에 어떤 영향을 끼칠것인가에 대한 연구는 거의 밝혀지지 못했다. 따라서 본 연구에서는 표면가공후 시간의 경과와 더불어 대기중에서의 표면산화막의 성장거동을 관찰하여 표면산화막의 성장이 壓接性에 어떤 영향을 끼칠 것인가에 대하여 정량적으로 규명하고 그영향에 따른 최적의 壓接條件을 연구검토하였다.

2. 理 論

熔接은 接合할 金屬을 表面原子와 相對 金屬表面의 原子사이에서 引力을 結合거리(數Å)에 접근시켜 전체의 原子가 질서있는 배열을 취해서 접촉함으로써 일어나는 것이다. 常溫壓接은 被熔接材의 表面을 淸淨하게 한 후 常溫에서 機械的인 壓力에 의해서 塑性變形을 주어 熔接하는 壓接法이다. 熔接의 原理는 淸淨한 金屬面間의 原子間 引力에 의하며 塑性變形은 熔接界面의 표면피막을 파괴하여 순수한 금속원자간의 밀착을 유발시킨다. 常溫壓接의 접합기구에 대해서[12]는 아직 명확하지 않고 다음과 같이 두가지 說이 있는데 皮膜理論과 에너지理論이 있다. 皮膜理論은 두개의 淸淨한 금속면이 접촉하면 結合한다는 理論으로써 금속의 熔接性의 難易는 母金屬과 酸化物의 硬度差異에 의해 산화막파괴의 難易와 관계가 있다고 하는 說인데 Scanning Electronic Microscope에 의한 관찰에서 Al, Cu, Ag등의 피막은 용접에 필요한 최소변형보다 매우 작은 변형을 주었을 때에도 파괴되어 용접의 可否를 결정하는 것은 피막의 파괴만은 아니라는 것이 최근 學界의 주장이다. 그리고 보다 해석적인 에너지理論은 淸淨한 表面을 접촉시켜도 용접에는 이르지 않는다는 說로서 용접에는 에너지가 必要하다는 理論이다. 이 에너지는 재결정에너지 혹은 확산에너지라고 불리워지고 이러한 에너지를 받은 금속원자는 Fig.1과 같이 확산거동을 일으킨다.

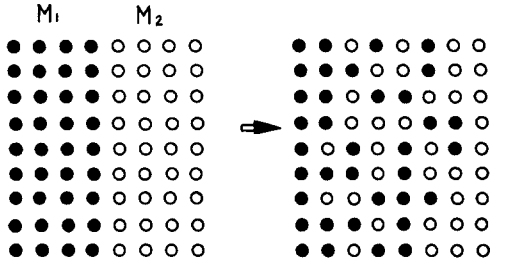


Fig. 1. Diffusion Behaviour

이렇듯 常溫壓接에서는 塑性變形에너지가 절대적으로 필요하고 이 塑性變形이 常溫壓接性을 결정하는 주요한 인자중의 하나이다. 塑性變形의 程度는 Fig.2에서의 치수기호로 나타낼 수 있다.

한편 同質의 材料에서 용접의 難易性을 관찰해 보면 재료의 슬립변형특성이 접합부경계의 밀착화를

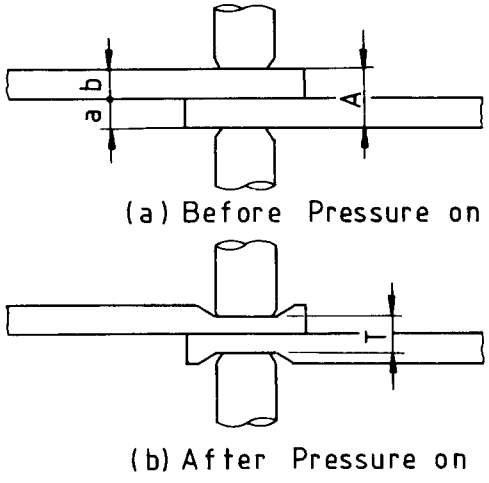


Fig. 2. Pressure Welding Method

변형율 혹은 특성치 $=\frac{T}{A}\times 100(\%)$

용이하게 하는 결정적인 因子이다. 즉 壓接面의 表面處理는 塑性變形과 함께 常溫壓接의 良否를 좌우하는 가장 중요한 要因이다. 이러한 표면상태를 좌우하는 변수는 산화피막과 표면가공방법이다. 산화피막은 압접전에 미리 제거한다해도 시간의 경과와 더불어 곧 생성하기 때문에 상온압접성에 지대한 영향을 미친다.

표 1[14]은 금속산화물의 경도와 모재금속의 경도와의 비를 압접에 필요한 塑性變形率과 비교하여 나타낸 것이다.

Table 1. Welding Deformation of Metals and Hardness of Oxides

Metal	Deformation Ratio(%)	Oxide	Hardness of Oxide (Hv)	Hardness Ratio, Oxide/Metal
Pb	17	PbO	23	5
Mg	40	MgO	550	13
Al	40	Al_2O_3	1800	87
Sn	20	SnO	380	40
Cu	78	Cu_2O	160	4
Fe	81	Fe_2O_3	670	9
Ag	85	Ag_2O	135	4.7
Cd	15	CdO	80	4
Ni	89	NiO	480	4.9
Zn	92	ZnO	250	4.2

3. 實　　驗

본 실험에 사용된 재료는 두께 4mm 고순도 알루미늄 AA1050 H18로써 그 화학적 조성및 기계적 성질을 표 2에 표시하였다.

Table 2. Chemical Composition and Mechanical Properties of Aluminium

Material	Chemical Composition (%)						Tensile Strength (kg/mm²)	Elongation (%)
	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Al		
AA1050-H18	0.042	0.067	0.09	0.0	0.0	99.8	19.24	5

壓接할 試片의 표면에 붙어있는 부착물은 表面原子의 擴散을 방해하므로 加壓후에도 두 面의 완전밀착을 방해한다. 따라서 표면을 壓接前에 Methyl Alchol로써 완전히 세척한 後 #1000, #400, #100의 Sand Paper로써 표면을 加工하고 가공후 실온 大氣中에 방치하였다. 이때 大氣中의 상대습도는 약 65%이고 加工直後로 부터 Stop Watch로 방치시간을 측정하였다. 방치시간이 각각 30sec, 2min, 5min. 12min, 30min으로 되었을 때 유압프레스를 이용해 壓接을 실시하였다.

酸化實驗은 150g의Max. Load를 저울질 할 수 있고 0.01mg의 정확성을 갖고있는 Semi-Microchemical Balance 로써 측정하였다. 이때의 실온 편차는 ±1°C 내외이고 평균실온은 18°C, 상대습도는 65%이었다. 酸化實驗은 試片을 표면가공하여 각각의 표면조도와 시간의 변화에 따라 시편의 표면에 부착되는 산화물의 부착량을 측정하기 위함이다. 산화물의 중

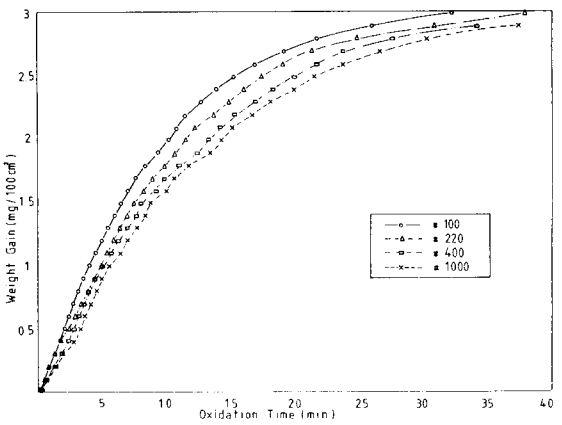


Fig. 3. Increment of Weight on the Variation of Oxidation Time

량증분을 실험하기 위한 시험편은 AA1050 H18 1×120×150의 알루미늄 판재이며 Fig.3은 시간의 경과에 따른 산화물의 Weight Gain을 나타낸 것이다.

表面粗度는 각종의 Sand Papers(#100, #220, #400, #1000)로서 시편의 표면을 가공한 후 표면의 거칠기를 측정하였다. 이 거칠기의 정도가 대기와 접촉하는 면적의 크기를 결정하고 또한 압접후 氣孔의 有無를 나타낸다. Fig.4는 Sand Paper로서 가공한후 Surface Roughness Tester로서 측정한 표면조도를 나타낸 것이다.

引張 剪斷 試驗은 KSB 0851에 준하여 인장전단시험편을 제작하고 KSB 0802에 따라 Mohr & Federhaff-Universal Testing Machine을 사용하여 常溫에서 2mm/min의 Cross-head Speed로 引張強度를 측정하였다.

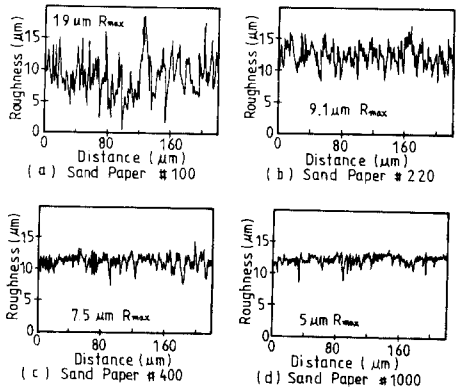


Fig. 4. The Results of Roughness Test

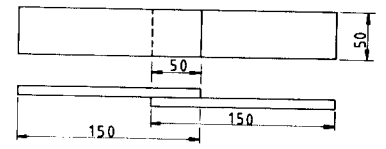


Fig. 5. Specimen of Tension Shear Test for Cold Pressure Welded Joint

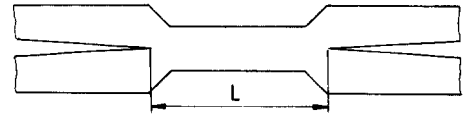


Fig. 6. Relation Between Bond Length and Various Pressure Welding States

Fig. 5는 인장전단 시험편을 나타낸 것이다.

壓接面에서 壓接길이의 檢査에는 #100, #400, #1000의 Sand Paper로서 표면을 가공하여 壓接한 후 각종의 壓接상태에 대하여 接合部 길이를 측정하였다. Fig.6은 壓接길이를 관찰한 시편을 圖示한 것이다.

組織觀察 試驗은 각각의 壓接환경에서 壓接한 시편을 壓接後 12시간 後에 채취하여 검사면을 연마하였다. 연마가 완료된 시편을 부식액에 넣어 10초간 부식하였다. 이때의 부식액은 1g의 NaOH와 99ml의 증류수를 혼합한 수용액이다.

4. 實驗結果 및 考察

4-1. 酸化時間의 變化와 引張剪斷强度의 關係

壓接後 引張剪斷試驗의 結果로서 Fig.7~Fig.11의

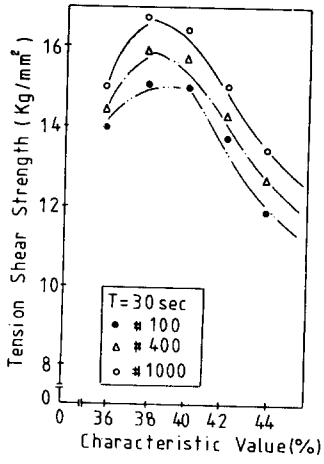


Fig. 7. Strength of Pressure Welds at Oxidation Time, T=30 sec

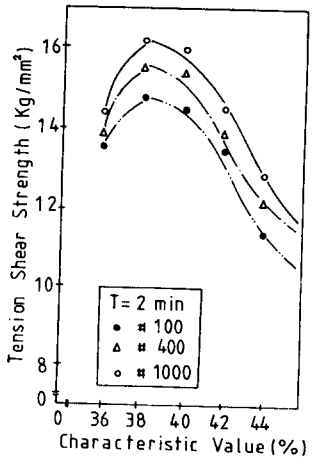


Fig. 8. Strength of Pressure Welds at Oxidation Time, T=2 min

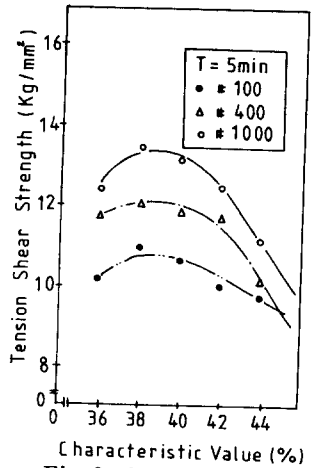


Fig. 9. Strength of Pressure Welds at Oxidation Time, T=5 min

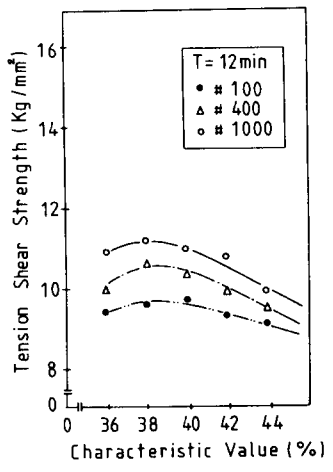


Fig. 10. Strength of Pressure Welds at Oxidation Time, T=12 min

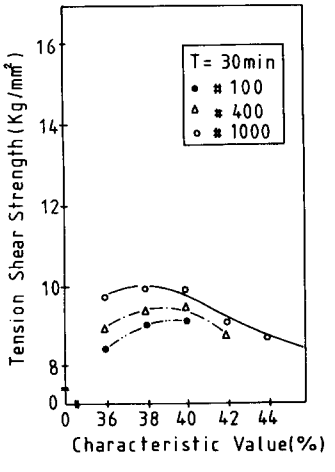


Fig. 11. Strength of Pressure Welds at Oxidation Time, T=30 min

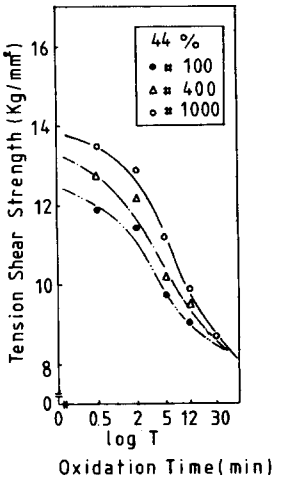


Fig. 12. Strength of Pressure Welds at C. V=44%

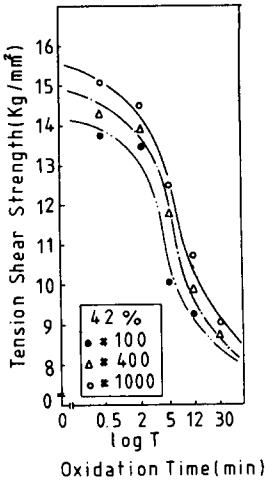


Fig. 13. Strength of Pressure Welds at C. V=42%

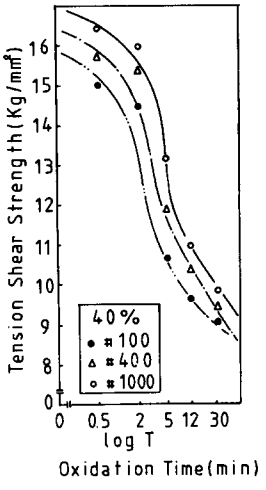


Fig. 14. Strength of Pressure Welds at C. V=40%

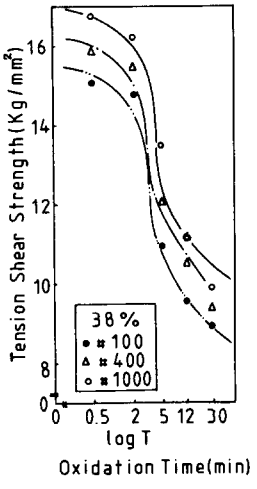


Fig. 15. Strength of Pressure Welds at C. V=38%

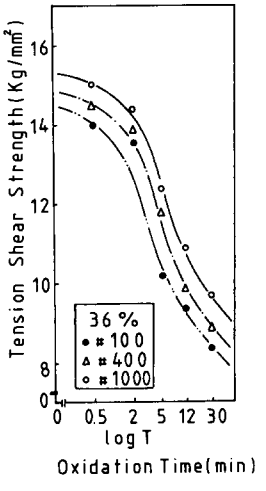


Fig. 16. Strength of Pressure Welds at C. V=36%

인장전단특성이 나타났는데 전체적으로 표면거칠기가 매끄러울수록 기계적 성질이 양호함을 볼 수 있었고 또한 산화시간의 증가에 따라 강도가 저하함을 볼 수 있었다.

특히 산화시간이 2min 이내에서는 接合部의 引張強度가 원래 모재 강도의 약 80%까지 강도를 가지는데 5min이 경과하자 강도가 매우 저하하여 이음이 효율적이 될만한 강도를 유지하지 못함을 알 수있다. 이것은 酸化皮膜이 강도를 치명적으로 저하시킬 만큼 성장했음을 의미한다. 또한 Fig. 12~Fig. 16에서의 그림과 같이 인장 전단강도와 특성치와의 관계에서 산화시간이 짧을수록 강도가 양호한 상태를 유지하고 또한 면이 매끄러울수록 強度가 높음을 알 수 있다. 또한 용접변형율이 클수록 강도의 저하가 두드러지게 나타난다. 특히 변형율에 따른 인장전단시험에서 가장 높은 강도값은 변형율이 38%, 산화시

간이 30sec, 표면가공을 Sand Paper #1000으로 가공했을때 16.75kg/mm²이었다. 이값은 모재의 引張強度에 비해 약 87%나 되는 매우 좋은 상태를 나타내고 있다.

4-2. 酸化時間의 變化와 接合部길이의 관계

각각의 壓接條件에 있어서 壓接後 接合部길이를 측정해 본 結果 Fig. 17~Fig. 21의 Bonding Length特性이 나타났다. 그림에서 보여지듯이 용접 특성치와 접합길이의 관계에 있어서 특성치가 크면 클수록 접합길이가 짧고 또한 接合될 表面이 매끄러울수록 접합길이가 길다.

이는 인장강도 특성에서 나타난 결과와 매우 좋은 일치를 나타낸다. 특히 Die의 폭이 10mm인데 반해 특성치 36%, #1000의 Sand Paper로 가공한 후 30 sec 방치한 조건에서 접합길이가 12.1mm 되어 매우 양호한 접합이되었으며 또한 접합길이와 산화시간과의 관계에 있어서 Fig. 22~Fig. 26에서 보여지듯이 전체적으로 산화시간이 2min이 될때 까지는 접합길이의 변화는 그다지 크지 않으나 5min이 경과하면서 접합길이는 큰변화를 일으켰다. 이는 인장강도 특성에서도 나타났듯이 산화시간이 2min을 경과하면서 이미 표면의 산화물층이 접합에 지대한 영향을 미칠만큼 성장했음을 의미한다.

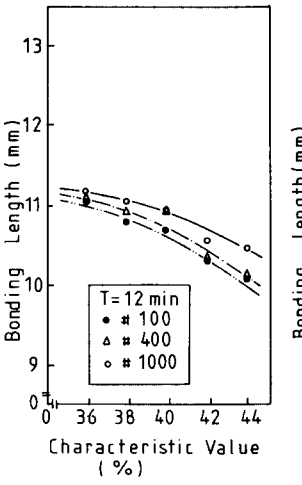


Fig. 20. Bonding Length of Pressure Welds at Oxidation Time, T=12 min

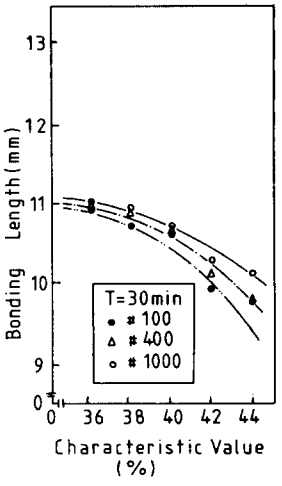


Fig. 21. Bonding Length of Pressure Welds at Oxidation Time, T=30 min

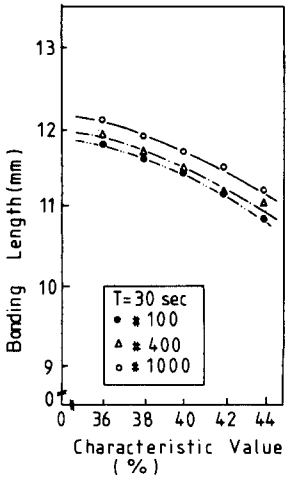


Fig. 17. Bonding Length of Pressure Welds at Oxidation Time, T=30 sec

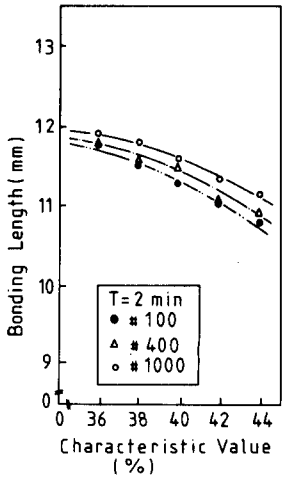


Fig. 18. Bonding Length of Pressure Welds at Oxidation Time, T=2 min

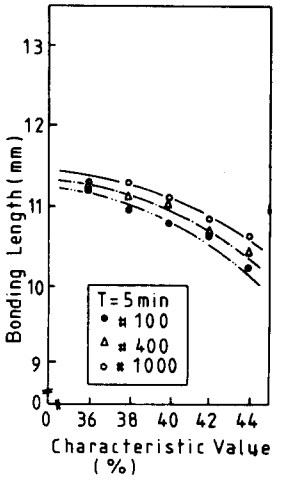


Fig. 19. Bonding Length of Pressure Welds at Oxidation Time, T=5 min

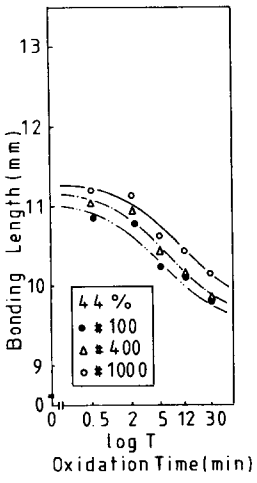


Fig. 22. Bonding Length of Pressure Welds (C. V=44%)

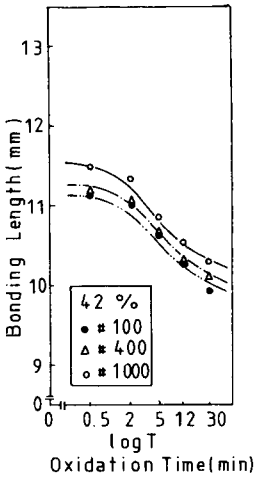


Fig. 23. Bonding Length of Pressure Welds (C. V=42%)

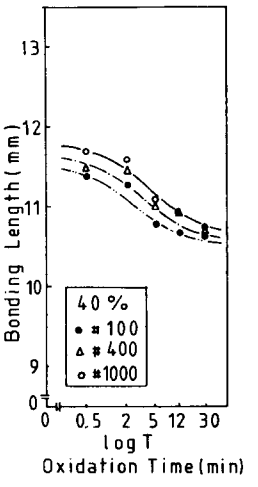


Fig. 24. Bonding Length of Pressure Welds (C. V=40%)

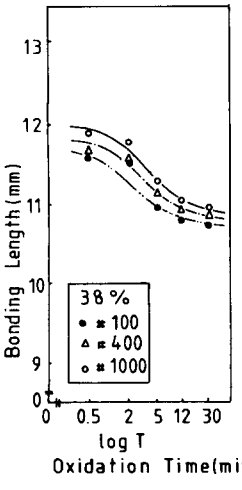


Fig. 25. Bonding Length of Pressure Welds (C. V=38%)

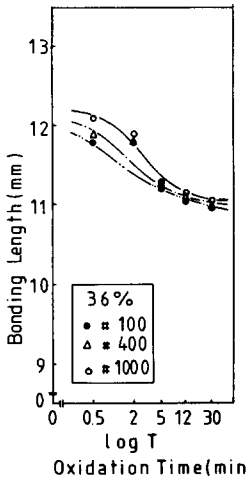
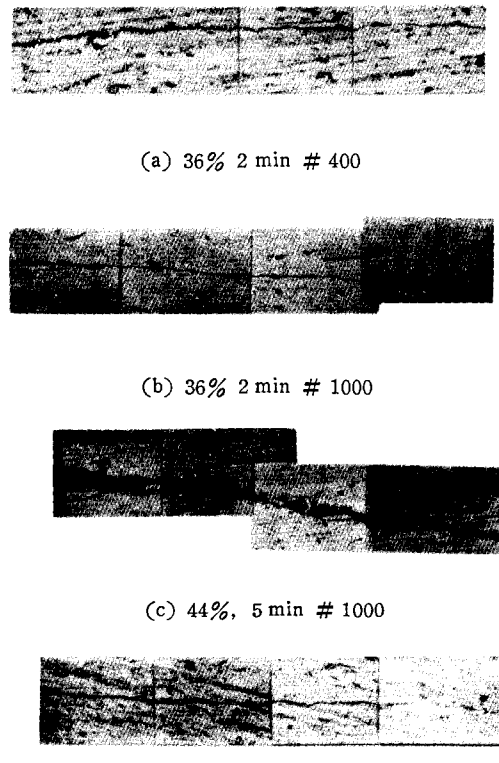


Fig. 26. Bonding Length of Pressure Welds (C. V=36%)

4-3. 酸化時間의 變化와 顯微鏡 組織觀察

Photo. 1은 酸化時間의 變化에 따른 接合部 끝단을 나타낸 것이다. 전체적으로 特性値가 작아질수록 균열의 상태는 덜 침입적이고 균열길이가 짧아지며(접합부 길이가 길어짐) 그 침입의 정도가 늦어짐을 볼 수 있다. 즉 조직관찰에서 본 이러한 현상은 접합강



(a) 36% 2 min # 400

(b) 36% 2 min # 1000

(c) 44%, 5 min # 1000

(d) 44%, 30 min # 400

Photo. 1. Fractograph by Optical Microscope (×400)

도가 용접 特性値의 저하와 더불어 커짐을 나타내고 또 접합부 길이의 증가를 뒷받침해 준다. 또한 산화시간의 경과와 더불어 산화시간이 길수록 닫침상태는 더욱 적어진다. 이것은 Crack-closing과정중 산화물에 의한 기공의 존재 때문에 이는 접합강도에 치명적인 해를 끼친다고 사려된다.

산화시간의 경과와 더불어 접합부 끝단에서 Crack-Closing Displacement(C.C.D)가 아주 미세하게 전개되다가 氣孔의 영향에 의해 미접합상태로 된다. 또한 표면거칠기에 있어서도 표면가공이 매끄러울수록 산화물에 의한 기공의 존재가 적어지고 따라서 접합상태가 매우 좋음을 알수 있다. 이는 매끄러운 표면은 시간의 경과와 더불어 酸化附着物의 증가가 작기 때문이라고 사료된다.

5. 結　　論

두께 4mm 알루미늄 판재의 常溫壓接에 있어서 酸化膜이 壓接性에 끼치는 영향을 實驗的으로 연구한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 壓接時 壓接 부위의 표면가공후 大氣에서의 酸化時間이 2min 이내일 때가 接合強度가 우수하다.
2. 최적의 壓接狀態는 특성치 38%이고 면이 매끄러우며 산화게재물이 없을때 얻어짐을 알 수 있다.
3. 조직관찰시험 결과 C.C.D는 C.O.D (Crack Opening Displacement)와 서로 相關關係를 이루고 있는 것이라고 思料되며 앞으로 더욱 硏究가 되어야 할 과제로 본다.

참 고 문 헌

1. A.B. Kinzel, *Pressure Welding of Metals*, Welding J. Vol. 23, (1944,) p. 1124.
2. R.F. Tylecote, *Investigation on Pressure Welding*, Brit. Welding J., Vol. 1. (1954) p. 117-135.
3. R.F. Tylecote, D. Howd and J.E. Furmidge, *The Influence of Surface Films on the Presure Welding of Metals*, Brit. Welding J. Vol. 5, (1958) p. 21-38.
4. D. Pugh, *Ph. D. Thesis*, (1954) University of Birmingham
5. E. Holmes, *Surface Contact Deformation of Metals*, Brit. Welding J. Vol. 6, (1959) p. 29-37.
6. J.M. Parkes, *Recrystallization Welding*, W.J. Vol. 32, (1953) p. 209S-222S.
7. G. Durst, *The Effect of Surface Work in the Pressure Welding*, J. Metals, Vol. 8, (1956) p. 328.
8. L.R. Vaidynath, D.R. Milner, *Significance of Surface Preparation in Cold Pressure Welding*, Brit. Welding J. Vol. 7, (1960) p. 1-6.
9. M.G. Nicholas, D.R. Milner, *Roll Bonding of Aluminium*, Brit. Welding J., Vol. 9, (1962,) p. 469-475.
10. M.G. Nicholas, D.R. Milner, *Pressure Welding Rolling at Elevated Temperature*, Brit. Welding J., Vol. 8, (1961) p. 375-383.
11. Osamu Ohashi, T. Hashimoto, *A Few Factors that Influence Cold Welding*, Jap. Welding Soc. Vol. 47, No. 1 (1978) p. 37.
12. H.A. Mohamed, J. Wahburn, *Mechanism of Solid State Pressure Welding*, W.J. Vol. 54, (1975) p. 302S-310S.
13. Yamashi, *Cold Pressure Welding*, Jap. Welding Soc. Vol. 30, (1961) No. 1, p. 3-10, No. 2, p. 70-79.
14. R.F. Tylecote, *The Solid Phase Welding of Metals*, Edward Arnold Ltd., (1968)
15. 嚴基元, 最新熔接工學, 東明社, (1985) pp. 138～147.
16. 韓國工業規格(KS B0851, KS B 0802)