

# Lipirea tare cu flux reactiv a aluminiului cu oțel inoxidabil

## Reactive-flux brazing of aluminium to stainless steel

V.F. Khorunov, O.M. Sabadash

E.O. Paton Electric Welding Institute, 11 Boszhenko str., 03680, Kiev, Ukraine

E-mail: khorunov@paton.kiev.ua; vkhorun@voliacable.com

### Cuvinte cheie

Lipire tare, flux reactiv, aluminiu, oțel inoxidabil

### Keywords

Brazing, reactive-flux, aluminium, stainless steel

### 1. Introducere

Procedeele de lipire la temperatură ridicată a aluminiului și aliajelor sale cu oțel inoxidabil cu flux NOCOLOK având constituenți de tipul  $\text{KF-AlF}_3$ , au fost larg acceptate în fabricarea radiatoarelor din aluminiu [1]. Realizarea unor îmbinări fiabile și rezistente la coroziune ale aluminiului cu oțel inoxidabil permite obținerea de noi caracteristici ale produselor, caracteristici care nu se pot obține cu metale similare, astfel că procesele de lipire cu flux au fost subiectul unor cercetări sistemice pentru o lungă perioadă de timp.

Lucrările [2], [3] sunt studii detaliate ale condițiilor de lipire în cuptor cu metale de adaos pentru lipire alumino - ceramice și fluxuri rezistente la coroziune cu constituenți de tipul  $\text{KF-AlF}_3$ , ale microstructurii și caracteristicilor de rezistență ale îmbinărilor aluminiu - oțel inoxidabil.

Aditivii pe bază de fluorură de cesiu la constituenți de tipul  $\text{KF-AlF}_3$  au permis scăderea temperaturii de topire a fluxului și lipirea cu succes a aliajelor de aluminiu turnate cu conținut înalt de magneziu [4], [5]. Totuși, fluxurile care conțin fluorură de cesiu sunt foarte scumpe.

Amestecurile constituenților din sistemul ternar  $\text{K,Al,Si/F}$  sunt o bază bună pentru realizarea fluxurilor reactive și proceselor de lipire cu flux reactiv a aluminiului și aliajelor sale cu oțel. Aditivii, de exemplu, fluorurile complexe de siliciu și zinc a sistemului de bază permit un schimb esențial în natura transformărilor chimice complexe în sistemul eterogen "ion topit - oxid - aluminiu" ambele în stare topită și la interfață cu aluminiu. Sistemul de constituenți  $\text{K,Al,Si/F}$  studiat mai devreme, are o zonă de compoziții stabile ( $\text{KF-K}_3\text{SiF}_7\text{-K}_3\text{AlF}_6$  concentrație triunghi) și o zonă de compoziții instabile termic ( $\text{K}_3\text{AlF}_6\text{-K}_3\text{SiF}_7\text{-K}_2\text{SiF}_6\text{-AlF}_3$  concentrație dreptunghi), unde interacțiunea chimică determină tranziția siliciului în  $\text{SiF}_4$  faza gazoasă.

Compozițiile optime ale amestecurilor de săruri sunt selectate luând în considerare asigurarea domeniului specificat de topire a fluxului și îndepărtarea  $\text{SiF}_4$  din zona de lipire [6]. Scopul acestei lucrări a fost să studieze influența aditivilor silicofluorură de potasiu și fluorură de potasiu și zinc din compoziția amestecurilor de săruri ale sistemului eutectic  $\text{KF-AlF}_3$  la cinemática formării îmbinărilor de aluminiu cu oțel rezistent la coroziune, în argon și aer, microstructura stratului de tranziție și neomogenitatea chimică a elementelor în zona de contact: flux-aluminiu, flux - metal de adaos lipire - aluminiu (oțel).

### 1. Introduction

Processes of high-temperature brazing of aluminium and its alloys to stainless steel with NOCOLOK flux of  $\text{KF-AlF}_3$  salt system have been widely accepted in aluminium radiator manufacture [1]. Formation of reliable and corrosion-resistant joints of aluminium with stainless steel enables obtaining new product characteristics unachievable with similar metals, so that flux brazing processes have been the subject of systemic research for a long time now.

Works [2], [3] are detailed studies of the conditions of furnace brazing with aluminium-ceramic brazing filler metals and non-corroding fluxes of  $\text{KF-AlF}_3$  salt system, microstructure and strength characteristics of aluminium - stainless steel joints.

Cesium fluoride additives to  $\text{KF-AlF}_3$  salt system allowed lowering the flux melting temperature and successfully braze wrought aluminium alloys with a high content of magnesium [4], [5]. However, fluxes containing cesium fluoride are highly expensive.

Salt mixtures of  $\text{K,Al,Si/F}$  ternary system are a good basis for development of reactive fluxes and processes of reactive-flux brazing of aluminium, its alloys and aluminium to steel. Additives, for instance, of silicon and zinc complex fluorides to the basic system allow an essential change of the nature of complex chemical transformations in the heterogeneous system of "ion melt - oxide - aluminium" both in the melt proper and on the interphase with aluminium.  $\text{K,Al,Si/F}$  salt system earlier studied by us, has a region of stable compositions ( $\text{KF-K}_3\text{SiF}_7\text{-K}_3\text{AlF}_6$  concentration triangle) and a region of thermally unstable compositions ( $\text{K}_3\text{AlF}_6\text{-K}_3\text{SiF}_7\text{-K}_2\text{SiF}_6\text{-AlF}_3$  concentration rectangle), in which chemical interaction proceeds with silicon transition into  $\text{SiF}_4$  gas phase.

Optimum compositions of salt mixtures are selected taking into account ensuring the specified range of flux melting and  $\text{SiF}_4$  removal from the brazing zone [6]. The purpose of this work was to study the influence of potassium silicofluoride and potassium-zinc fluoride additives in the composition of salt mixtures of  $\text{KF-AlF}_3$  eutectic system on formation kinetics of aluminium and corrosion-resistant steel joints in argon and air, transition layer microstructure and chemical inhomogeneity of elements in the contact zone of: flux-aluminium, flux - brazing filler metal - aluminium (steel).

## 2. Materiale, prelevare probe, procedura experimentală

Materialele lipite au fost aliaje de aluminiu de tipul 1230, 3003 (tabelul 1) și oțel rezistent la coroziune 12Kh18N10T (AISI 430 analog). Amestecurile de pulberi de compoziție eutectică ale sistemului de săruri KF-AlF<sub>3</sub> cu aditivi K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> și KZnF<sub>3</sub> (de la 3 la 15 % greutate) au fost utilizate la studierea condițiilor de formare a îmbinărilor aluminiu și oțel rezistent la coroziune, cu și fără metal de adaos pentru lipire Al-12Si pe probe prelevate în formă de T.

Tabelul 1. Compoziția (în % greutate) aliajelor de aluminiu/  
Table 1. Composition (wt.%) of aluminium alloys

Ukraine ISO 209-1: 2002	Al	Impurități, nu mai mult de/ Impurities, not more than							
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
1230 Al99.3	99,3	0,3	0,3	0,05	0,02	0,05	–	0,10	0,15
3003 AlMn1Cu	res	0,5	0,7	0,10	1,5	0,30	0,1	0,2	–

Tablele din aluminiu (60x30x1 mm) au fost atacate cu soluții alcaline (15 % greutate NaOH) și acid (20 % vol. HNO<sub>3</sub>), curățate cu apă și uscate la 250 °C, iar tablele din oțel au fost sablate cu abraziv fin și degresate cu acetona. Neuniformitatea rostului dintre tablele verticale și orizontale ale probei asamblate a fost controlată și s-a constatat că este cuprinsă între 0,03 și 0,25 mm de-a lungul întregii lungimi a tablei (60 mm). Eșantioanele prelevate din metalul de adaos pentru lipire (0,015 g) și flux (0,025 g) au fost plasate în cea mai mică secțiune a rostului. Procedura experimentală a constat în filmarea tuturor fazelor procesului de lipire cu o cameră digitală. Microstructura îmbinărilor lipite, neomogenitatea chimică și conținutul de elemente în microvolum au fost studiate utilizând microscopul electronic Neophot 32 și CamScan.

## 3. Particularități la formarea îmbinărilor aluminiu – oțel rezistent la coroziune

Aditivii cu fluoruri complexe de siliciu și zinc ale sistemului de componente KF-AlF<sub>3</sub> imprimă proprietăți reactive fluxului, care se manifestă prin ruperea activă a suprafeței oxidilor și reducerea aluminotermică a siliciului și zincului la contactul cu aluminiu. S-a stabilit în timpul experimentelor că, în domeniul de temperatură de lipire de 575-610 °C, fluxul reactiv se topește repede, distruge peliculele de oxid de pe aluminiu și oțel și în contact cu aluminiu formează la suprafață un strat subțire de aliaj care se topește ușor, conducând la umplerea rostului capilar cu metal de adaos lichid pentru lipire. Aliajul produs ca rezultat al reducerii aluminotermice a acestor elemente din fluoruri complexe poate fi aproape de eutecticul binar Al-Si, la amestecul lui cu aditivii de silicofluoruri de potasiu la fluxul de bază și poate conține zinc în caz că se adaugă fluorură de potasiu și zinc. Într-un volum suficient un astfel de aliaj cu topire joasă poate umple rostul capilar, acționând ca metal de adaos pentru lipire.

Analiza rezultatelor testelor arată că rezistența la căldură a fluxului este mai mare în atmosferă de gaz protector decât în aer. Timpul activității fluxului (cantitate egală) în gaze protectoare (argon, azot) este aproximativ de 1,5 ori mai mare

## 2. Materials, samples, experimental procedure

Brazed materials were aluminium alloys 1230, 3003 (table 1) and corrosion-resistant steel 12Kh18N10T (AISI 430 analog). Powder mixtures of eutectic composition of KF-AlF<sub>3</sub> salt system with K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> and KZnF<sub>3</sub> additives (from 3 to 15 wt. %) were used when studying the conditions of formation of aluminium and corrosion-resistant steel joints, both with and without Al-12Si brazing filler metal on tee-samples.

Aluminium plates of (60x30x1 mm) size were etched in alkali (15 wt. % NaOH) and acid (20 vol. % HNO<sub>3</sub>) solutions, rinsed in water and dried at 250 °C, and steel plates were sanded by fine abrasive and degreased in acetone. The size of non-uniform gap between the vertical and horizontal plates of the assembled sample was controlled, and was between 0.03 and 0.25 mm along the entire plate length (60 mm). Samples of brazing filler metal (0.015 g) and flux (0.025 g) were placed in the smallest gap section. Experimental procedure consisted in fixing all the stages of the brazing process in the form of a digital camera image. Microstructure of brazed joints, chemical inhomogeneity and element content in the microvolumes were studied using Neophot 32 light and CamScan electron microscopes.

## 3. Features of formation of joints of aluminium with corrosion-resistant steel

Additives of silicon and zinc complex fluorides to KF-AlF<sub>3</sub> salt system impart reactive properties to the flux, which is manifested in active fracture of surface oxides and aluminothermal reduction of silicon and zinc at contact with aluminium. It was established during the experiments that in the brazing temperature range of 575-610 °C the reactive flux melts quickly break up the oxide films on aluminium and steel, and at contact with aluminium they form a thin layer of the low-melting alloy on the surface, which promotes filling of the capillary gap with the liquid brazing filler metal. The alloy produced as a result of aluminothermal reduction of these elements from complex fluorides, can be close to Al-Si binary eutectic in its composition at additives of potassium silicofluoride to the flux base, and can contain zinc in case of adding potassium zinc fluoride. With sufficient volume such a low-melting alloy can fill capillary gaps, while acting as the brazing filler metal.

Analysis of test results shows that the flux heat resistance is higher in the shielding gas atmosphere than in air. The time of activity of fluxes (equal quantity) in shielding gases (argon, nitrogen) is approximately 1.5 times longer than in air, and is equal to about 90 s. Interaction with atmospheric moisture results in decomposition of all the fluorocomplexes, thus leading to reduction of the active amount of flux, and evolution of gaseous hydrogen fluoride and silicon. Results of earlier investigations confirm that the atmospheric moisture promotes decomposition of potassium fluoroaluminates at brazing [7] and at heating above 580 °C – of potassium silicofluoride [8] with removal of HF and SiF<sub>4</sub> gases. Brazing of aluminium to steel with reactive fluxes in air is possible under the conditions of fast heating and sufficient amount of flux. As was established [9], additives of silicon and zinc complex fluorides to KF-AlF<sub>3</sub> eutectic significantly improve spreading of aluminium-silicon brazing filler metals over aluminium. So, in brazing in the shielding gas atmosphere the spreading area is ~ 1.6 times greater compared to NICOLOK flux.

decât în aer și este egal cu circa 90 s. Interacțiunea cu umiditatea atmosferică are ca rezultat descompunerea tuturor fluorurilor complexe, conducând astfel la reducerea cantității de flux și la degajarea acidului fluorhidric gazos și siliciu. Rezultatele investigațiilor anterioare confirmă faptul că umiditatea atmosferică accelerează descompunerea fluoro-aluminaților de potasiu la lipire [7] și la încălzirea de peste 580 °C – a silicofluorurii de potasiu [8] cu îndepărtarea gazelor HF și SiF<sub>4</sub>.

Lipirea aluminiului cu oțel cu fluxuri reactive în aer este posibilă în condițiile încălzirii rapide și a unei cantități suficiente de flux. Așa cum s-a stabilit [9], aditivii cu fluoruri complexe de siliciu și zinc la eutecticul KF-AlF<sub>3</sub> îmbunătățesc în mod semnificativ dispersarea metalului de adaos pentru lipire pe bază de aluminiu-siliciu pe aluminiu. Astfel, la lipirea în atmosferă de gaz protector zona de dispersare este de aproximativ 1,6 ori mai mare în comparație cu fluxul de tip NOCOLOK.

Așa cum s-a stabilit, lipirea aluminiului cu oțel rezistent la coroziune cu material de adaos de lipire Al-12Si și flux reactiv KF-AlF<sub>3</sub>-10K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>-5KZnF<sub>3</sub> (% greutate) se caracterizează prin următoarea secvență temperatură-timp a procesului: 1) topire flux (575 – 585 °C, 0 s), 2) umplere rost cu ion topit (585 – 595 °C, 1–3 s), 3) distrugerea oxidului de la suprafață, reducerea aluminotermică a siliciului și zincului, formarea aliajului cu topire joasă Al-Si-Zn la granița de contact cu aluminiul, topirea materialului de adaos pentru lipire (590 – 600 °C, 11 – 14 s), 4) umplere rost capilar cu material de adaos pentru lipire (595 – 610 °C, 16 – 20 s). În cazul lipirii fără material de adaos, formarea unei cantități suficiente de fază lichidă – aliaj de Al-Si-Zn și umplerea rostului capilar cu acest aliaj (procedeele 3-4) iau mai mult timp, care ca sumă este egal cu 21 – 26 s.

#### 4. Microstructura îmbinărilor lipite aluminiu - oțel rezistent la coroziune

##### 4.1. Flux reactiv - aluminiu

Examinarea metalografică la granița de contact flux reactiv – aluminiu (3 – 415 *mcm* lățime, figura 1) a relevat că siliciu este într-o soluție solidă  $\alpha$  pe bază de aluminiu (Al) și nivelele sale de concentrație de-a lungul limitelor grăunților sunt de la 1,029 la 3,2 % greutate, fiind apropiate de valoarea conținutului său în eutecticul binar sau chiar mai mare.

Conform [10] solubilitatea siliciului în soluția solidă de aluminiu (Al) depinde mult de temperatură, și la temperatura de transformare a eutecticului (577 °C), fiind egală cu 1,65 % greutate. Secțiunea în metalul de adaos (figura 1A) prezintă o soluție solidă  $\alpha$  pe bază de aluminiu, cu straturi intermediare de colonii de eutectic binar de tip lamelar Al-Si, localizat între grăunți.

Rezultatele analizei cu microradiații X a probelor din îmbinările lipite, realizate cu flux reactiv, au permis stabilirea nivelelor de concentrație de 0,4 până la 13 % greutate siliciu în microvolum.

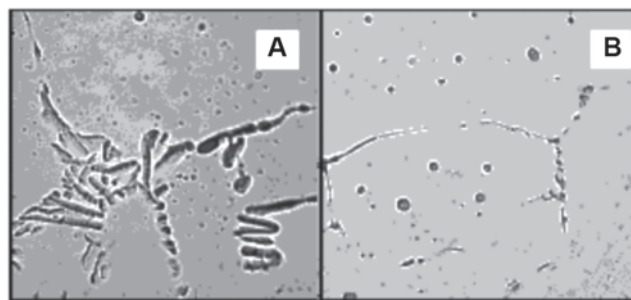
Deplasându-ne mai departe de secțiune în metalul de adaos spre secțiunea lipită (figura 1B) grosimea straturilor intermediare de colonii de eutectic de tip lamelar scade, iar dispersia eutecticului devine mai mare, fapt ce este, aparent, legat de cantitatea insuficientă de fluorură complexă de siliciu reacționată. În astfel de zone ale îmbinărilor lipite este dificil să se identifice limitele fazelor individuale.

As was established, brazing aluminium to corrosion-resistant steel with Al-12Si brazing filler metal and KF-AlF<sub>3</sub>-10K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>-5KZnF<sub>3</sub> (wt.%) reactive flux is characterized by the following temperature-time sequence of processes: 1) flux melting (575 – 585 °C, 0 s), 2) gap filling by ion melt (585 – 595 °C, 1–3 s), 3) surface oxide breaking up, aluminothermic reduction of silicon and zinc, formation of low-melting Al-Si-Zn alloy on the contact boundary with aluminium, melting of brazing filler metal (590 – 600 °C, 11 – 14 s), 4) capillary gap filling with brazing filler metal (595 – 610 °C, 16 – 20 s). In case of brazing without the brazing filler metal, formation of a sufficient amount of the liquid phase – Al-Si-Zn alloy, and filling of the capillary gap with it (processes 3-4) take more time, which in sum is equal to 21 – 26 s.

#### 4. Microstructure of brazed joints aluminium and corrosion-resistant steel

##### 4.1. Reactive flux - aluminium

Metallographic examination of contact boundary of reactive flux – aluminium (3 – 415 *mcm* wide, Fig. 1) revealed that silicon is in  $\alpha$ -solid solution based on aluminium (Al), and its concentration levels along grain boundaries are equal from 1.029 to 3.2 wt.%, being close to its content in binary eutectic or higher.



(mărire/magnification 400x)

Figura 1. Microstructura aliajului 1230 lipit fără metal de adaos:

A) secțiune în metalul de adaos, B) secțiune lipire.

T<sub>b</sub> 600 – 605 °C,  $\tau$  = 45 s/

Figure 1. Microstructure of 1230 alloy brazed without filler metal: A) fillet section, B) braze section. T<sub>b</sub> 600 – 605 °C,  $\tau$  = 45 s

According to [10] silicon solubility in the aluminium solid solution (Al) is strongly dependent on temperature also at the eutectic transformation temperature (577 °C) and is equal to 1.65 wt.%. Fillet section (Fig. 1A) is aluminium-base  $\alpha$ -solid solution with interlayers of colonies of platelike binary Al-Si eutectic located between its grains. Results of X-ray microprobe analysis of braze welds made with reactive flux allowed establishing concentration levels of 0.4 to 13 wt.% silicon in the microvolumes. Moving away from the fillet, in the brazed sections (Fig. 1B) the thickness of interlayers of platelike eutectic colonies decreases and eutectic dispersity becomes higher, which is, apparently, related to insufficient quantity of the reacted complex silicon fluoride. In such areas of the brazed joints it is difficult to identify the boundaries of individual phases.

##### 4.2. Reactive flux – aluminium – corrosion-resistant steel

Joints of 1230 and 3003 aluminium alloys with 12Kh18N10T steel brazed with reactive flux are characterized by inhomogeneity of the structure and composition (Fig. 2). High concentration levels of silicon and zinc on the interphase of



#### 4.2. Flux reactiv – aluminiu – oțel rezistent la coroziune

Îmbinările aliajelor din aluminiu de tip 1230 și 3003 cu oțel 12Kh18N10T lipite cu flux reactiv sunt caracterizate prin neomogenitatea structurii și compoziției (figura 2). Nivelele mari de concentrație ale siliciului și zincului la interfațele fazelor lichidă și solidă (aluminiu) obținute într-un timp foarte scurt cu reacția de reducere aluminotermică, sunt cauza neomogenității chimice.

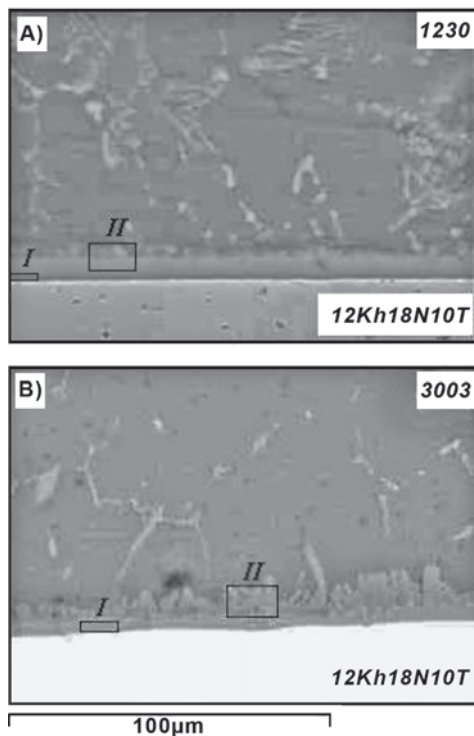


Figura 2. Microstructura îmbinării lipite a aliajelor de aluminiu 1230 (A) și 3003 (B) cu oțel 12Kh18N10T, lipite fără metal de adaos.  $T_b = 600 - 605 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 45 \text{ s}$ , flux  $\text{KF-AlF}_3\text{-}10\text{K}_2\text{SiF}_6\text{-}5\text{KZnF}_3$ .

Figure 2. Microstructure of brazed joints of 1230 (A) and 3003 (B) aluminium alloys with 12Kh18N10T steel, brazed without filler metal.  $T_b = 600 - 605 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 45 \text{ s}$ , flux  $\text{KF-AlF}_3\text{-}10\text{K}_2\text{SiF}_6\text{-}5\text{KZnF}_3$ .

Îmbinările lipite au trei zone: I – omogenă la granița cu oțelul de până la 5 mcm lățime; II – neuniformă cu o lățime de 5 – 8 mcm ; III – soluție solidă  $\alpha$  pe bază de aluminiu cu straturi intermediare intergranulare de colonii quasiaeutectice de până la 50mcm lățime. Zonele I și II formează un strat de tranziție, iar zona III este zona centrală a îmbinării lipite. Analiza cantitativă a conținutului de element în microvolumulele stratului de tranziție este dată în tabelul 2.

Tabelul 2. Analiza cantitativă a conținutului de element în microvolumulele stratului de tranziție (%(mas.))/  
Table 2. Quantitative analysis of element content in the transition layer microvolumes (%(mas.))

Îmbinări lipite/ Brazed joints		Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn
1230 + 12Kh18N10T	I	64,95	0,64	0	5,6	-	26,14	2,19	0,48
	II	87,82	2,84	0	2,45	-	5,88	0,41	0,6
3003 + 12Kh18N10T	I	57,9	1,11	0,44	6,19	2	29,13	3,22	0,0
	II	83,94	0,42	0	0,57	7,45	7,33	0,1	0,18

the liquid and solid (aluminium) phases achieved over a very short time with the reaction of aluminothermic reduction are the cause for such chemical inhomogeneity.

Brazed joints have three areas: I – homogeneous on the boundary with steel of up to 5 mcm width; II – non-uniform of 5 – 8 mcm width; III – aluminium-base  $\alpha$ -solid solution with intergranular interlayers of quasiaeutectic colonies up to 50 mcm wide. Regions I and II form a transition layer, and region III is the central region of the brazed joints. Quantitative analysis of element content in the transition layer microvolumes is given in Table 2.

Investigation results lead to the following conclusions: 1) a transition layer of a variable composition Al-Fe-Si alloyed with chromium, nickel, and manganese forms on the boundary with steel, 2) silicon from the flux participates in the reaction of formation of the transition layer with steel, 3) zinc initially dissolves in the aluminium alloy, goes into the liquid phase and after its solidification it is present in the brazed joints central part. No noticeable structural changes in the corrosion-resistant steel were found.

#### 4.3. Technological features

Investigation results were used to develop FAF540 flux, which has a higher reactivity for aluminium alloys (with  $\text{Mg} \leq 0.7 \text{ wt. } \%$ ). For instance, sound formation of aluminium-to-steel joints in argon is achieved with powder brazing fillet metals (flux/brazing filler metal = 40/60-60/40) and induction heating rate of 3 – 8 C/s. This flux can be used for brazing aluminium alloys to corrosion-resistant steel both with and without brazing filler metal. Flux and its residue after brazing do not cause any corrosion of materials being brazed. Butt and overlap joints of 1230 aluminium are equivalent to the initial material, and strength of joints of 3003 alloy at testing by shear is equal to  $0.85 - 0.9 t_{av}$  of its strength (see Table 3).

Brazing with developed flux FAF540 ensures high strength properties of brazed joints at higher (up to  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ) and cryogenic ( $-196 \text{ }^\circ\text{C}$ ) temperatures and is promising for producing various purpose aluminium and steel-aluminium structures.

#### 5. Conclusions

1. Potassium silicofluoride and potassium zinc fluoride have two functions: promote breaking up of surface oxides and cleaning of aluminium surface and at their interaction with aluminium an aluminothermic reduction of silicon and zinc in the composition of a complex fluoride is possible.

2. Aluminothermic reaction leading to phase formation by the reaction of diffusion coating in the form of a thin metal layer of low-melting aluminium-base alloys (Al-Si, Al-Si-Zn) proceeds on the contact boundary of salt melt – aluminium.

3. Presence of a low-melting alloy (layer) essentially improves the capillary properties of brazing filler metal, and with a sufficient amount of the liquid phase it can fill the capillary gap as an independent brazing filler metal, thus promoting sound formation and improvement of strength of the joints of aluminium with corrosion-resistant steel.

#### Bibliografie/References

- [1]. Promotional leaflet of SOLVAY Company, 1997, 20 p.
- [2]. Roulio, M., Luster. J.M., Karadenz. G. and Mortensen A., "Strength and Structure of Furnace-Brazing Joints between

Rezultatele investigației conduc la următoarele concluzii:

- 1) un strat de tranziție de compoziție variabilă Al-Fe-Si aliat cu crom, nichel și mangan se formează la granița cu oțelul
- 2) siliciul din flux participă la reacția de formare a stratului de tranziție cu oțel,
- 3) zincul se dizolvă inițial în aliajul de aluminiu, intră în faza lichidă și după solidificarea sa este prezent în partea centrală a îmbinării lipite. Nu s-au descoperit schimbări structurale notabile în oțelul rezistent la coroziune.

### 4.3. Particularități tehnologice

Rezultatele investigației au fost utilizate pentru realizarea fluxului FAF540, care are o reactivitate mai mare pentru aliajele de aluminiu (cu  $Mg \leq 0,7\%$  greutate). De exemplu, formarea de îmbinări de calitate aluminiu-oțel în argon se realizează cu materialul de adaos pentru lipire tip pulbere (flux/material de adaos pentru lipire = 40/60-60/40) și viteza de încălzire prin inducție de 3 – 8 C/s. Acest flux poate fi utilizat la lipirea aliajelor de aluminiu cu oțel rezistent la coroziune atât cu material de adaos, cât și fără material de adaos. Fluxul și reziduurile sale după lipire nu cauzează coroziunea materialelor ce se lipesc. Îmbinările cap la cap și suprapuse ale aluminiului de tip 1230 sunt echivalente cu materialul inițial, iar rezistența îmbinărilor aliajului 3003 la încercări de forfecare este egală cu 0,85 – 0,9  $t_{av}$  din rezistența sa (vezi tabelul 3).

Tabelul 3. Rezistența îmbinărilor lipite oțel-aluminiu după ciclul termic/

Table 3. Strength of brazed steel-aluminium joints after thermal cycling

Îmbinări lipite/ Brazed joints	1230+ 12Kh18N10T	1230+ 12Kh18N10	3003+ 12Kh18N10T
$T_{cycling}, ^\circ C$	+ 20 > 200	+ 20 > 100, 200, 300, 400	-196 > +35
N, cycles	550	50	50
$\tau'_{shear}, MPa$	70 ±1	70 ±2	132±2

Lipirea cu fluxul realizat FAF540 asigură proprietăți superioare de rezistență îmbinărilor sudate la temperaturi mai mari (până la 400 °C) și criogenice (- 196 °C) și este de viitor pentru producerea diferitelor structuri din aluminiu și oțel-aluminiu.

### 5. Concluzii

1. Silicofluorura de potasiu și fluorura de potasiu și zinc au două funcții: promovează ruperea suprafeței oxidilor și curățarea suprafeței aluminiului și la interacțiunea cu aluminiu este posibilă o reducere aluminotermică a siliciului și zincului din compoziția fluorurii complexe.

2. Reacția aluminotermică care conduce la formarea fazei prin reacția de difuzie produce acoperirea sub forma unui strat subțire de metal pe bază de aliaje de aluminiu cu topire joasă (Al-Si, Al-Si-Zn) la granița de contact a sării topite – aluminiu.

3. Prezența aliajului cu topire joasă (strat) îmbunătățește în mod esențial proprietățile de capilaritate ale metalului de adaos pentru lipire, iar cu o cantitate suficientă de fază lichidă se poate umple rostul capilar ca material de adaos pentru lipire independent, ajutând în acest fel la formarea unei îmbinări lipite de calitate și îmbunătățirea rezistenței îmbinărilor aluminiului cu oțel rezistent la coroziune.

Aluminum and Stainless Steel”, Welding Journal, vol.78, no.5, pp.151s - 155s, May 1999.

[3]. Shuying Liu, Akio Surumura, Toshi-Taka Ikesoji and Takahisa Yamozak, “Brazing of Stainless Steel to Various Aluminum Alloys in Air” JSME Internashional, Series A, vol. 48, no. 4, pp. 420-425, Apr. 2005.

[4]. Chen Rong; Zhang Qiyun, “Investigation of the Ternary System AlF<sub>3</sub>-KF-CsF”, abstract, Journal of Solid State Chemistry, vol. 161, pp. 80-84 2001.

[5]. Song-bai Xue, Ling Zhang, Zong-jie Han and Xiang Huang, “Reaction Mechanism between Oxide Film on Surface of Al-Li Alloy and CsF-AlF<sub>3</sub> Flux”, abstract Trans. The Nonferrous Metals Society of China Published by Elsevier Ltd Mar. 2008

[6]. Andriiko A.A, Panov E.V., Yakovlev B.V., Khorunov V.F., Sabadash O.M., “Fusibility and chemical interaction in K,Al,Si/F salt system,” Ukrainskii khimicheskii zhurnal, vol.63, no. 10, pp.121-124, Oct. 1997.

[7]. Takemoto T., Matsunawa A. and Kitagawa A., “Decomposition of Non-corrosive Aluminium Brazing Flux During”, J. Mater. Sci. Lett. vol. 15, no. 4, pp. 301-303, Jan. 1996.

[8]. Delimarsky U. K., Golov A.G., Chernov R.V., “Investigating of the Thermal Dissociation Systems with Potassium Silicofluoride”, Ukrainskii khimicheskii zhurnal, vol. 35, no. 6, pp. 563- 567. July 1969

[9]. Sabadash O.M., Khorunov V.F., “Materials and Technologies of Flux Brazing of Aluminium and Aluminium to Stainless Steel”, Avtomaticheskaya svarka, no. 8, pp. 69-74, Aug. 2005.

[10]. Mondolfo L.F., “Structure and Properties of Aluminium Alloys”. Trans. from Eng. Moskov.: Metallurgia, 1979. pp 640.

### Marcare / gravare cu fascicul laser

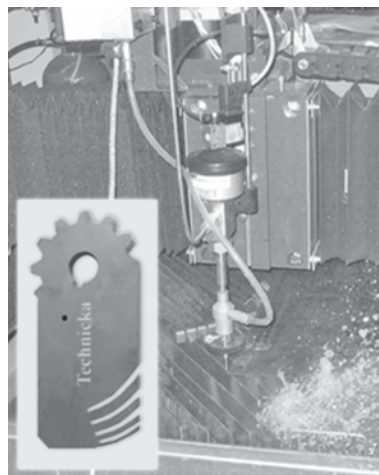
ISIM Timișoara execută marcări / gravări pe toate tipurile de materiale metalice și pe majoritatea materialelor plastice și ceramice.

Lucrările sunt de precizie ridicată și cu influență minimă asupra componentei prelucrate.

Dimensiunea maximă a unui marcaj / unei gravări:  
**110x110mm.**

Putem realiza:

- logo-uri,
- grafică,
- coduri de identificare,
- coduri de bare,
- matrice de date.



Informații suplimentare:  
ing.fiz. Valentin Birdeanu,  
tel.: 0256 491828,  
0256200222  
int. 305,  
fax: 0256 492797,  
e-mail:  
valentin@isim.ro