

DESPRE REZISTENȚA SUDURII MATERIALELOR ÎNTREBUIȚATE ÎN INDUSTRIA DE AVIAȚIE ¹⁾

de Lt.-Comandor Ing. I. BUCURESCU

În Industria Aeronautică, sudura se întrebuițează pe o scară destul de mare, deoarece pe lângă rezultatele bune ce se obțin din punctul de vedere al rezistenței mecanice, mai are și marele avantaj că micșorează greutatea moartă a avionului și manopera întrebuițată, fapt ce atrage după sine mărirea capacității de producție și micșorarea prețului de cost.

Pentru prima oară sudura s'a întrebuițat în Industria Aeronautică în anul 1919 în Germania, la construcția avionului Junkers Ju. 1. care era un avion metalic în mare parte.

De atunci, sudura a început să fie întrebuițată frecvent, pentru ca astăzi să înlocuiască aproape complet nituirea, față de care are marele avantaj că micșorează greutatea avionului cu 20%.

Astăzi fuselajele avioanelor — batiul motor (suportul pe care se fixează motorul) sunt executate din tuburi de oțel sudate.

Este de remarcat faptul că suportul motorului deși este supus la vibrațiuni datorită funcționării motorului, totuși se face din tuburi sudate dând completă satisfacție căci până acum nu s'a semnalat niciun accident datorit sudurii.

Pentru a ilustra marele rol ce-l joacă micșorarea greutății moarte a avioanelor, semnalez că dacă un avion are încărcat o greutate de 10.000 kg numai cca 3.300 kg reprezintă greutatea utilă, adică ce poate fi folosită, restul este greutate moartă. În aceste 3.300 kg trebuie să intre piloții, personalul auxiliar, armamentul, munițiunile și încărcătura de bombe. Dacă un asemenea avion este avion de bombardament, poate încărca numai 1.500 — max. 1.800 kg de bombe, cu alte cuvinte abia 18 — max. 20% din greutatea totală. Așa numitele cetăți sburătoare americane Boeing F. 7 și Consolidated D. 24, care au o greutate de cca 36—40 tone, pot transporta numai 6.000 kg bombe.

¹⁾ Comunicare făcută la Asociația Română pentru poduri, șarpante și încercări de materiale, Grupul român de încercări de materiale, în ședința din 31 Martie 1944, ținută în sala Ion Ionescu a Politecnicei din București.

Pentru a se răspunde la cerințele aviației, adică de a avea construcțiuni cât mai ușoare și cât mai rezistente, se întrebuițează oțeluri speciale ce au rezistența admisibilă mult mai mare decât oțelurile obișnuite ce se întrebuițează în celelalte construcții.

Până la declararea actualului conflict armat se întrebuițau oțeluri speciale cu Crom-Nickel și Crom-Molibden, folosindu-se în același timp normele de clasificare franceze, adică clasificarea după tipul Standard.

Astăzi ne mai fiind posibilitate de import și export între state și neavând materie primă necesară, s'a recurs la înlocuirea oțelurilor speciale specificate mai sus, cu oțeluri de Crom Vanadium și Crom Siliciu, trecându-se în același timp la clasificarea lor după normele germane, căutându-se în același timp a se stabili echivalență între cele două norme.

Aceste oțeluri de înlocuire corespund numai parțial celor pe care le înlocuiesc, adică nu au exact toate proprietățile mecanice ca cele ale oțelurilor ce le înlocuiesc.

Astfel, din cauză că variază foarte mult cantitatea de carbon a acestor oțeluri, față de aceea a oțelurilor speciale, rezultă că aceste materiale nu se pot suda, sau chiar dacă sunt sudabile nu prezintă o rezistență mecanică suficientă.

Deci, una din problemele ce s'au pus pentru Industriile de Aero-nautică, a fost să se vadă care din oțelurile înlocuitoare se sudează și a care este rezistența sudurii acestor materiale.

Pentru a vedea acest lucru, am luat un mare număr de epruvete din diversele materiale înlocuitoare (tuburi și table) și le-am sudat cu cele trei sisteme de sudură întrebuițate în Aviație și anume:

— Sudura oxi-acetilenică (cunoscută sub numele impropriu de sudură-autogenă).

— Sudura electrică, și

— Sudura arcatom.

Pentru a obține un rezultat cât mai just nu m'am mărginit a încerca o singură eprubetă, ci am făcut încercarea a trei (3) eprubete în cazul când materialul nu a fost sudat, și a cinci (5) eprubete în cazul când materialul a fost sudat.

După ce au fost sudate, eprubetele au fost curățite la polizor de sudură ce depășea grosimea normală și care de sigur ar fi mărit rezistența având o grosime mult mai mare în dreptul sudurii față de rest.

Rezultatele obținute sunt trecute în tabelul Nr. 1, 2 și 3 de mai jos.

Examinând aceste tabele cu rezultate se pot trage următoarele concluziuni.

I. IN CAZUL TABLEI CE INLOCUEȘTE TABLE DE CROM-MOLIBDEN (Tabel Nr. 1)

A) Materialul nesudat

1. Rezistența medie la rupere este de circa 74 kg/mmp variind dela 71 kg/mmp, până la 78 kg/mmp.

2. Lungirea este în medie de 13%.

3. Fapt caracteristic este că lungirea variază nu numai cu dimensiunile materialului din care este făcută eprubeta, ci și în cazul când eprubetele sunt luate din material de aceeași dimensiune fapt ce este explicabil prin aceea că materialul nu este prea omogen.

B) Materialul sudat

a) Sudură oxo-acetilenică (autogenă).

1. Din 40 de eprubete numai 27 s'au rupt la locul unde au fost sudate ceea ce reprezintă un procent de 67,5%.

2. Rezistența de rupere în acest caz a fost în medie de circa 60 kg/mmp, ceea ce reprezintă circa 81% din rezistența materialului nesudat, iar cea mai mică rezistență obținută este de 37 kg/mmp, adică 50% din rezistența materialului nesudat.

3. Lungirea a variat între 3%—11,3%, fapt din care rezultă că prin sudură materialul devine mult mai puțin elastic și deci procentul de lungire este influențat de modul cum s'a executat sudura.

b) Sudura arcatom.

1. Din 40 de eprubete sudate după sistemul arcatom, numai 15 au cedat la locul sudurii, ceea ce reprezintă 37,5%.

2. Rezistența medie a ruperii a fost de 55 kg/mmp ceea ce reprezintă circa 74,5%, iar cea mai mică a fost de 39 kg/mmp, adică 53% față de rezistența materialului nesudat.

3. Lungirea a variat între 3,5% și 6%.

c) Sudura electrică

1. Dimensiunile prea mici nu se pot suda cu sistemul electric, căci se ard înainte ca materialul să se sudeze.

Dimensiunile cărora le-am putut aplica în mod satisfăcător sudura, au fost cele de 2 mm.

2. Din cele 20 de eprubete sudate electric, toate s'au rupt la locul unde au fost sudate, ceea ce înseamnă că sudura electrică schimbă foarte mult structura materialului.

3. Rezistența medie obținută a fost de circa 41,5 kg/mmp, adică 56% din cea a materialului nesudat, iar cea mai mică de 17 kg/mmp, adică 23%.

4. Lungirea a variat între 0,—2,5%.

II. IN CAZUL TABLEI DE OȚEL CE INLOCUEȘTE TABLA STANDARD 12 (Tabel Nr. 2)

Deși acest oțel fiind un aliaj obișnuit de fier carbon, care se fabrică și acum ca și înainte de războiu, nu prezintă importanță deosebită, totuși am făcut încercarea și cu el pentru a vedea dacă cifrele obținute mai sus se repetă sau nu.

Examinând tabelele rezultă:

A) Materialul nesudat

1. Din 33 eprubete luate câte trei din 11 dimensiuni diferite rezultă o rezistență de rupere în medie de 41 kg/mmp, variind între 39—47 kg/mmp, fapt ce rezultă din neomogenitatea materialului.

2. Lungirea variază între 10%—23% și mai variază și cu dimensiunea materialului.

B) Materialul sudat

a) Sudura oxi-acetilenică.

1. Din 55 de eprubete sudate prin sistemul oxi-acetilenic, numai 5 s'au rupt la locul sudurii, ceea ce reprezintă cca 9%.

2. Rezistența la rupere a fost în medie de 30 kg mmp, adică circa 75% din rezistența materialului nesudat, iar cea mai mică a fost de 19 kg/mmp, adică 46 kg/mmp (aceasta cred că se datorește unei șlefuii defectuoase făcută la polizor).

3. Lungirea a variat între 3—19%, fiind în general foarte aproape de lungirea materialului nesudat.

b) Sudura arcatom.

1. Din 55 de eprubete sudate numai 3 s'au rupt, la locul unde s'a executat sudura, ceea ce reprezintă numai 5,5%.

2. Rezistența la rupere a fost în medie de 33 kg/mmp, adică 82% din aceea a materialului nesudat, cea mai mică fiind de 30 kg/mmp.

c) Sudura electrică.

1. Din 30 de eprubete sudate electric, s'au rupt la locul sudurii 24, adică 80%.

2. Rezistența medie la rupere a fost de 33,1 kg/mmp, adică 82% din aceea a materialului nesudat, cea mai mică fiind de 22 kg/mmp, adică 54%.

3. Lungirea a variat între 1% și 17,5%.

III. IN CAZUL TUBURILOR CE INLOCUESC TUBURILE DE OȚEL CROM-MOLIBDEN (Tabel Nr. 3)

Astăzi se întrebuițează tuburi de oțel cunoscute sub denumirea de tub oțel Fl. w. 1604.4, 1604.5, și 1604.9, dintre ele numai nuanța de Fl. w.1604.9 se poate suda.

Am luat câte două eprubete din fiecare din cele 7 dimensiuni pe care le-am încercat fără să le sudez și câte 3 eprubete pe care le-am sudat

Examinând tabelul rezultă:

A) In cazul materialului nesudat

1. Rezistența la rupere este în medie de 65 kg/mmp variind între 59—68 kg/mmp.

2. Lungirea a variat între 11% și 19% în raport de dimensiunea tubului.

3. Materialul este mult mai omogen decât în cazul tablelor.

B) *In cazul materialului sudat*a) *Sudură oxo-acetilenică.*

1. Din 21 eprubete sudate numai tubul de dimensiunea 20/14, adică cu grosimea de 3 mm a cedat la locul unde a fost sudat, ceea ce reprezintă numai 14,3%.

2. Rezistența la rupere, a fost în medie 46 kg/mm², adică 71% din cea a materialului nesudat.

3. Lungirea a variat între 2% și 18%.

b) *Sudura arcatom.*

1. Din 21 eprubete sudate tot numai tubul cu dimens. de 20/14 a cedat la locul unde a fost sudat.

2. Rezistența la rupere a fost în medie de 48 kg/mm², adică 74% din cea a materialului nesudat.

3. Lungirea a variat între 2% și 20%.

c) *Sudura electrică.*

— La tuburi nu se întrebuințează în Industria Aeronautică acest sistem de sudură.

CONCLUZIUNI GENERALE

Ca urmare a rezultatelor obținute și interpretate mai sus rezultă:
a) Oțelurile actuale ce, înlocuiesc oțelurile speciale se pretează la sudură, dând rezultate multumitoare.

b) Rezistența sudurii, variază cu sistemul de sudură întrebuințat și în raport de dimensiunile pieselor.

c) Sistemul de sudură ce dă rezultatele cele mai bune este sistemul arcatom. El se întrebuințează pe o scară destul de mare în Industriile de Aeronautică, are însă marele defect că este prea costisitor și cere mână de lucru specializată.

d) Sudura oxo-acetilenică, dă rezultate destul de bune și în raport cu celelalte sisteme de sudură are marele avantaj că este cea mai ieftină.

e) Sudura electrică se întrebuințează pentru piese groase și în cazul când piesele nu sunt supuse la eforturi prea mari.

f) Pentru a ilustra cele semnalate la punctul c), d) și e), am luat câte trei eprubete din însăși materialul de aport întrebuințat în cazul celor trei sisteme de sudură și am găsit rezultatele de mai jos:

Nr. crt.	Felul sudurii	Rez. kg/mm ²	Lung. %	Val. medie a rezsit. în kg/mm ²	Obs.
1	Material întrebuințat la sudura Arcatom . .	53,5	22 %	52,8	
2		50	20 %		
3		55	21 %		
4	Material întrebuințat la sudură oxo-acetilenică	49	20,4 %	47	
5		45	20 %		
6		74	19,5 %		
7	Material întrebuințat la sudură electrică . .	47	15,8 %	46,6	
8		44	16 %		
9		49	17 %		

Rezultă deci că și materialul de aport are rezistența cea mai mare în cazul sudurii arcatom și cea mai mică în cazul sudurii electrice.

* * *

Pentru a se micșora la maximum greutatea avionului s'a recurs la întrebuințarea materialelor ușoare în special a aliajelor de aluminiu ca Al-Cu-Mg cunoscut sub numele de avional, Al-Mg-Si — anticorodal, dural, duraluminium.

Și aci s'a pus imediat problema sudurei, dar nu a dat rezultate prea strălucite, mai ales că din sistemele de sudură amintite mai sus, numai cu sistemul oxi-acetilenic se pot suda piese de aluminiu și numai în cazul când piesele nu sunt puse la eforturi prea mari. Motivul pentru care aluminiul nu se sudează prin sistemul electric și arcatom este datorit între altele faptului că este bun conducător de electricitate, ceea ce atrage după sine încălzirea la temperaturi prea mari a întregii piese, fapt ce schimbă structura materialului și dă naștere la tensiuni interioare mari.

Chiar sudura oxi-acetilenică este foarte pretențioasă și cere mare atenție în cazul aluminiului față de sudura executată la oțeluri. Temperatura de fuziune a aluminiului este de cca 650°, inferioară flăcării oxihidrice a sulfai-ului, fapt ce atrage după sine desagregarea piesei, iar coeficientul de dilatație al aluminiului fiind foarte mare iau naștere tensiuni interioare mari care pot cauza ruperi prin răcirea bruscă a materialului după sudură.

Se știe de asemenea că în aluminiu se găsesc foarte multe impurități, ce nu pot fi suprimate complet, cum este între altele fierul și siliciul, care împiedecă coeziunea moleculară a materialului topit sau pot produce prin supraîncălzire o rețea cristalină foarte fragilă susceptibilă să provoace rupturi.

Un inconvenient mare la sudura aluminiului este formarea inevitabilă a aluminei în timpul sudurei, care împiedecă sudarea părților ce o înconjoară. Pentru a se înlătura și acest mare neajuns, s'a recurs la corpi ce atacă alumina cu care se combină și o scoate la suprafața materialului topit. O astfel de soluție este compusă din:

Clorură de litiu	15%
Clorură de potasiu	45%
Clorură de sodiu	30%
Florură de potasiu	7%
Bisulfat de sodiu	3%

Bisulfatul de sodiu la căldură formează cu clorurile și florurile acid clorhidric și acid florhidric care atacă alumina și formează clorură și fluorură de aluminiu volatilă.

Pentru a se executa o bună sudură trebuie să aibe în vedere următoarea precauțiune:

- Piesa de sudat cât și materialul de aport să fie cât mai curate;
- Să se încălzească piesa de sudat pe o suprafață cât mai mare;
- Să se utilizeze soluția alcalină amintită mai sus ungându-se destul de des atât partea ce se sudează cât și materialul de aport.

d) Să se întrebuițeze numai personal specializat.

Până acum sudura aluminiului se făcea la piese care nu erau supuse la eforturi, cum ar fi rezervoarele de benzină și ulei.

Cum problema sudurei aluminiului este foarte importantă în industria aeronautică, ea a fost luată în studiu de cât mai mulți cercetători.

Profesorul A. von Zeerlender a făcut o serie întreagă de încercări în laborator în cazul sudurei prin puncte a aliajului de aluminiu întrebuițat în construcția avioanelor, ajungând la următoarele concluzii.

Aliajele de aluminiu ca avionalul și anticorodalul sunt aliaje îmbunătățite printr'un tratament termic ce constă dintr'o încălzire la 500° și introduce apoi în apă.

Aceste aliaje încălzite ulterior la temperatură mai mare ca 150° își pierd calitățile lor mecanice, fapt ce atrage după sine inconvenientul întrebuițării sudurei oxiacetilenice, care suprimă integral duritatea materialului în locul sudat, căci se obține structură sticloasă în locul structurii fibroase.

Aceste aliaje permit însă întrebuițarea sudurei electrice prin puncte dat fiind că ea produce o încălzire locală și de scurtă durată, dar se recomandă numai în cazul când materialul nu este supus unor solicitări mai mari, mai ales în cazul vibrațiunilor ce creează forțe normale pe planul piesei.

S'ar părea după cele spuse mai sus că problema sudurei aliajelor de aluminiu a fost rezolvată întrebuițându-se sudură prin puncte, dar profesorul A. von Zeerlender arată mai departe că și în cazul acesta avem de întâmpinat o serie întreagă de greutăți și anume:

Aliajele de aluminiu nu se solidifică la o temperatură constantă ca aluminiul, din care cauză punctele de sudură prezintă porozități și fisuri care se văd în figura ce reprezintă sudura unei table de 3 mm (Fig. 1).

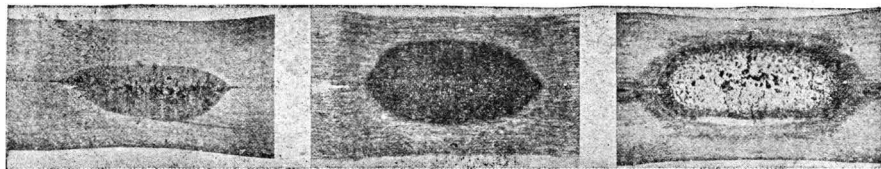


Fig. 1.

Aceste fisuri și porozități sunt mai mari și mai numeroase cu cât tablele sunt mai groase și dispar aproape complet când tablele scad sub grosimea de 1,5 mm căci se micșorează intervalul de fuziune, micșorându-se și timpul executării sudurei.

Aliajele de aluminiu au un strat exterior, o peliculă de oxid, care opune o trecere mare curentului electric, inconvenient care, combinat cu proprietatea aliajelor de aluminiu de a avea o conductibilitate electrică foarte mare, cca de 5 ori ca a fierului, face ca piesa să se încălzească complet și să provoace o alipire a electrozilor de suprafața tablei de sudat.

Pentru a executa deci sudura, trebuie ca piesele ce se sudează să fie încălzite la temperatura de sudat prin încălzirea datorită curentului electric, sudura urmând a se efectua sub presiunea exercitată de către electrozi.

Acest lucru este foarte dificil, căci pe când în cazul oțelului temperatura de sudură este de 1100° , iar temperatura de topire de 1400° , la aliajele de aluminiu temperatura de sudură se apropie foarte mult de temperatura de topire, din care cauză se naște pericol de lichiefiere completă a materialului, atunci când curentul electric este prea puternic.

Contrar se întâmplă în cazul când curentul electric este prea slab: atunci sudura este insuficientă.

În figurile de mai jos sunt date trei suduri; prima reprezintă un punct de sudură aproape lichefiat (curentul prea mare), a doua un punct de sudură normal și a treia un punct de sudură insuficient (curent slab) (Fig. 2).

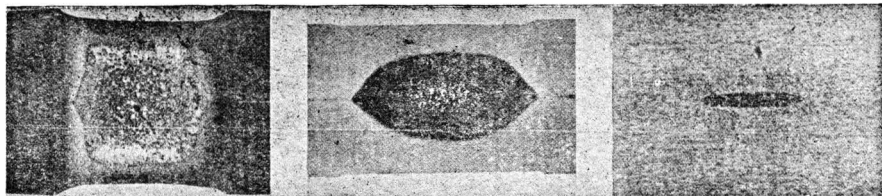


Fig. 2.

Așa fiind, rezultă că sudura aluminiului prin puncte este foarte pretențioasă, deoarece trebuie ca mașina de sudat să fie dotată cu dispozitive care să permită reglarea precisă a intensității și a tensiunii curentului, a timpului cât durează sudura și a presiunii exercitată de electrozi asupra pieselor de sudat.

Din cauză că aliajele de aluminiu au o conductibilitate electrică mare, însemnează că la sudarea lor este nevoie de intensitate electrică și putere electrică mult mai mare decât în cazul oțelului.

Astfel, dacă pentru a suda o tablă de oțel de 1 mm este nevoie de o intensitate de 10.000 amp., și o putere de 40 K.V.A., tensiunea în circuitul secundar fiind de 4 volți, pentru o tablă de aluminiu tot de 1 mm este nevoie de 18.000 amp., deci de 72 K.V.A., aproape dublu.

Din experiențele făcute de profesorul A. von Zeerleder, s'a ajuns la concluzia că reglarea intensității și a tensiunii este relativ simplă, putându-se face fie cu ajutorul circuitului primar al transformatorului, fie printr'un transformator de reglare, cu ajutorul unei distribuții convenabile.

Durata de sudare, timpul cât durează sudura, precum și presiunea ce urmează a se exercita asupra pieselor de sudat, a prezentat la început mari dificultăți.

Măsurarea timpului cât trebuie să dureze sudura s'a făcut la început prin întreruptoare mecanice, care nu a dat satisfacție, și s'a recurs atunci în cazul curentului alternativ, la întrebuițarea lămpii cu mai mulți electrozi, astfel ca prin ajutorul grilei să se poată măsura timpul, limitându-se la un număr de perioade de curent alternativ, cca 5—10 per., iar pentru mașinile electrice cu curent continuu, la condensator care are proprietatea de a acumula energia necesară sudurei, scurtcircuitându-se imediat după trecerea sarcinei necesare punctului de sudură.

S'a ajuns la concluzia că sunt mai bune mașinile de sudat ce întrebuițază curent continuu, putându-se grupa mai multe pe o rețea, căci nu provoacă puncte de consum în rețea, iar puterea consumată este numai o fracțiune din puterea necesară sudurei.

Prin acest procedeu s'a reușit să se obțină nu numai durata fiecărei operațiuni, ci și alura sudurei pentru o durată determinată.

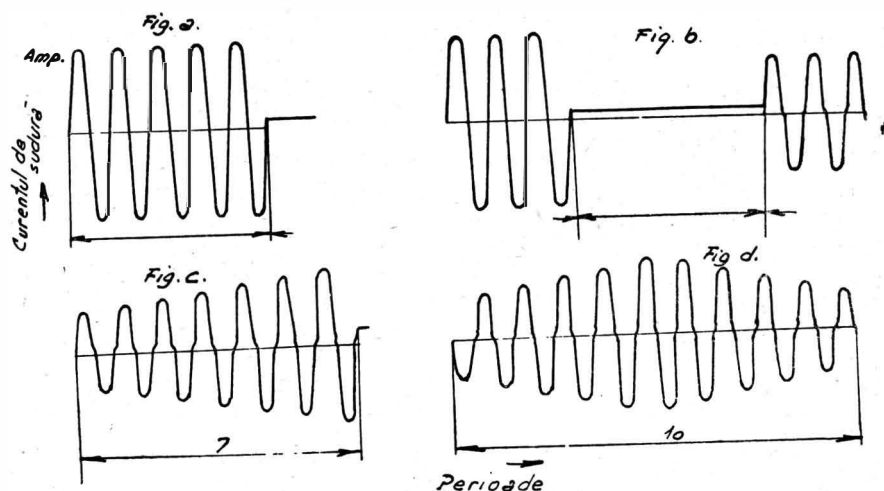


Fig. 3.

Figura 3 a ne arată un curent de intensitate constantă menținând un număr de perioade.

Figura 3 b arată un reglaj mai complet, o primă impulsione de curent de 5 perioade, urmată de alta tot de 5 perioade, însă de intensitate mai mică, destinată a omogeniza și a face mai compact punctul de sudură. În figura 3 c, curentul merge progresiv în 7 perioade.

În figura 3 d, curentul merge progresiv atingând un maximum și revine apoi la intensitatea inițială.

Din încercările făcute s'a constatat că cel mai bun reglaj este atunci când se limitează exact dela început numărul de perioade și intensitatea curentului.

S'a mai constatat că nu este suficient numai fixarea intensității curentului, ci și menținerea exactă a acestei intensități care este foarte

mult influențată de stratul de oxid, de pelicula ce se găsește pe suprafața metalului, strat care nu este perfect omogen ca grosime, din care cauză rezistența lui este variabilă, dând naștere la căderi mari de tensiune, deci marea cantitate de căldură ce produce ridicarea temperaturii piesei de sudat.

Rezultă deci că trebuie luate măsuri pentru distrugerea acestui strat de oxid sau pentru uniformizarea lui la maximum.

Stratul de oxid se poate reduce fie pe cale mecanică, frecându-se tabla cu hârtie de emeri sau gresie, fie pe cale chimică, întrebuițând soluțiuni alcaline sau acide, care la rândul lor trebuiesc îndepărtate cu grije prin spălare repetată.

În modul acesta nu se mai obține căldură pe fața exterioară a piesei în contact cu electrodul, ci în interiorul punctului de sudură.

Pentru a se vedea dacă sudura s'a executat bine sau nu, s'au dotat mașinile cu dispozitive care semnalează imediat dacă sudura este bine făcută sau nu, fie blocându-se, fie arătând semnale luminoase.

Alt inconvenient am spus că este presiunea ce trebuie să se exercite de către electrozi pe piesele de sudat.

Electrozii întrebuițiți sunt din aramă și sunt întăriți printr'un curent de apă ce-i răcesc.

Dacă presiunea ce exercită electrozii asupra pieselor de sudat este insuficientă, atunci curentul trece cu greu dela electrod la piesele de sudat, dând naștere la scânteii care pot arde piesele de sudat sau electrodul, sau mai poate da naștere unui aliaj format din aliajele de aluminiu și aramă, aliaj ce trebuie evitat.

Dacă presiunea exercitată de electrozi este prea mare, atunci ei pătrund prea mult în piesele de sudat și se pot suda de materialul topit și picături de sudură care micșorează rezistența sudurii făcând-o neomogenă.

Din experiențele făcute, s'a ajuns la concluzia că pentru a suda aliajele de aluminiu de grosimi ce variază în 0,5—3 mm, este nevoie de curent electric și presiunea specificată mai jos:

<u>Dimensiuni</u>	<u>Intensitate</u>	<u>Presiune</u>
0,5 mm	15.000 amp	150 kgr
1 »	18.000 »	190 »
1,5 »	22.000 »	250 »
2 »	25.000 »	350 »
2,5 »	28.000 »	380 »
3 »	32.000 »	430 »

Din punct de vedere al rezistenței, s'a constatat că modul cum se face repartiția punctelor de sudură nu are prea multă influență în raport cu nituirea, însă modul cum s'a executat sudura influențează foarte mult asupra rezistenței. Făcându-se sudura prin puncte distanțate la 20 mm pentru 2 table de un milimetru grosime, s'a obținut o rezistență la forfecare de circa 150 kgr pentru fiecare punct. Făcându-se sudura pentru

aceleași table însă la o distanță de 10 mm s'a obținut 120 kg pentru fiecare punct, deci de 240 kg pentru 20 mm.

În sfârșit, făcându-se sudură continuă, rezistența obținută a fost de 100 kg pt. fiecare punct, adică circa 300 kg pe lungimea de 20 mm.

Toate aceste rezultate au fost obținute cu o sudură foarte bine executată; Dacă sudura nu se execută conform celor spuse mai sus, atunci rezistența scade foarte mult.

În încercările făcute cu diferite eprubete la care s'a neglijat intenționat unele din condițiunile expuse mai sus, s'a constatat că rezistența punctelor de sudură a scăzut până la 1/5 din valoarea rezistenței unei suduri bine executate.

Cât privește grosimea tablelor de sudat, s'a constatat că ea are mare influență asupra rezistenței sudurei. Raportându-se rezistența specifică a tablelor la grosimea lor și considerând cifra obținută pentru tabla de un mm reprezentând 100 la 100 în cazul tablei de avional, s'a obținut pentru tabla de 0,5 mm 105%, pentru tabla de 2 mm 80% și pentru tabla de 3 mm 70% rezistență specifică a punctului de sudură din diagrama de mai jos (Fig. 4).

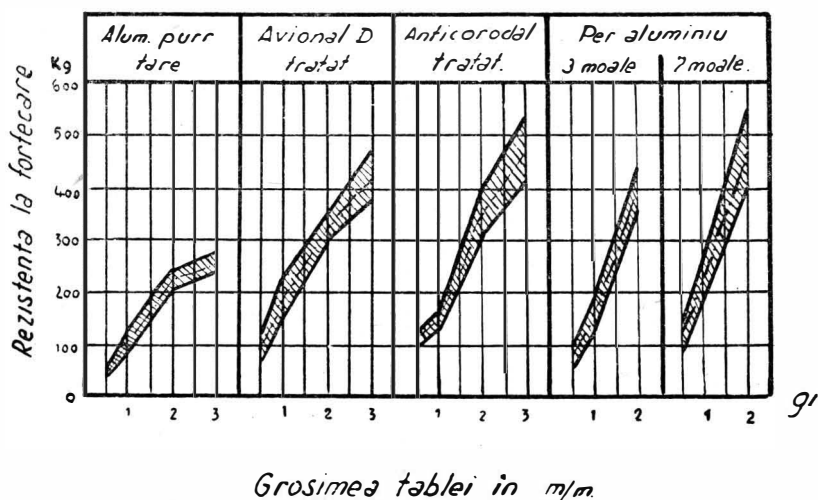


Fig. 4.

Rezultă deci, că tablele mai groase când sunt sudate, au o rezistență mai mică decât cele subțiri.

Figura de mai jos ne arată o mașină cu care s'a făcut sudura tablelor (Fig. 5).

— Brațele mașinei sunt mobile în manșoane, așa că se pot lungi sau scurta după nevoie.

— Când brațele se lungesc puterea absorbită de mașină este mai mică datorită măririi rezistenței și fenomenului de self-inducție.

— Diagrama de mai jos ne arată cum este variația, în procente, a puterii absorbite.

TABELA Nr. 1 — de rezultatele obținute la încercarea sudurei materialelor înlocuitoare de crom-molibden

Nr. crt.	Dimensiuni mm	Materialul	Nesudat		Sudat ●xi-acetilenic			Sudat arcatom			Sudat electric			Observațiuni
			Rez. kg/mm ²	Alung. %	Rez. kg/mm ²	Alung. %	Observațiuni	Rez. kg/mm ²	Alung. %	Observațiuni	Rez. kg/mm ²	Alung. %	Observațiuni	
1	0,6	Tablă înloc. de crom-molibden	72	11,1	37	6	S'a rupt la sudură	61	4,3	S'a rupt la sudură				
2	0,6	Idem	73	11,8	76	11	Nu s'a rupt la sud.	66	5,7	Idem				
3	0,6	»	71	10,7	56	5	S'a rupt la sudură	54	1,4	»				
4	0,6	»	—	—	64	11,3	Idem	76	11	Nu s'a rupt la sud.				
5	0,6	»	—	—	63	7	»	73	10	Idem				
6	0,8	»	75	12,8	78	7	Nu s'a rupt la sud.	38	4,1	S'a rupt la sudură				
7	0,8	»	78	12,1	69	8,3	S'a rupt la sudură	42	5,7	Idem				
8	0,8	»	77	13	64	6,5	Idem	73	8	Nu s'a rupt la sud.				
9	0,8	»	—	—	56	5	»	74	9	Idem				
10	0,8	»	—	—	68	9	»	72	8	»				
11	1,2	»	75	14,3	75	5,6	Nu s'a rupt la sud.	67	10	»				
12	1,2	»	76	14	56	6,5	S'a rupt la sudură	73	9	»				
13	1,2	»	75	14,2	64	5	Idem	68	8	»				
14	1,2	»	—	—	63	4	»	70	7,1	»				
15	1,2	»	—	—	54	5	»	51	4,3	S'a rupt la sudură				
16	1,5	»	77	15,5	64	5,6	»	59	3,6	Idem				
17	1,5	»	77	15,5	63	6,5	»	67	3,6	»				
18	1,5	»	77	15,5	54	5	»	54	4	»				
19	1,5	»	—	—	71	8,3	Nu s'a rupt la sud.	81	8,6	Nu s'a rupt la sud.				
20	1,5	»	—	—	76	7	Idem	77	7	Idem				
21	2	»	77	15,5	71	8,3	»	74	8,7	»	47	2,4	S'a rupt la sudură	
22	2	»	74	16	73	7,8	»	68	9	»	50	2,5	Idem	
23	2	»	75	15	67	10	»	54	3,7	S'a rupt la sudură	55	3	»	
24	2	»	—	—	70	9	»	54	4	Idem	43	3	»	
25	3	»	—	—	54	4,3	S'a rupt la sudură	69	8,5	Nu s'a rupt la sud.	37	2	»	
26	3	»	76	18	73	12	Nu s'a rupt la sud.	72	12,5	Idem	46	1,25	»	
27	3	»	76	18	71	5	Idem	71	12,5	»	58	2,5	»	
28	3	»	76	18	73,5	8	»	70	11,5	»	54,5	2	»	
29	3	»	—	—	63	5	S'a rupt la sudură	72	12	»	50	1,5	»	
30	4	»	—	—	66	4	Idem	68	10	»	62	3	»	
31	4	»	77	16,2	63	4	»	68	9	»	37	1	»	
32	4	»	77	16,2	66	3,5	»	67	9	»	40	1,5	»	
33	4	»	77	16,5	54,4	3	»	70	10	»	50	1,8	»	
34	4	»	—	—	56	3	»	68	8	»	35	1	»	
35	5	»	—	—	64	6	»	71	10,7	»	41	1,4	»	
36	5	»	75	19,4	54,4	3	»	65	10	»	37	2	»	
37	5	»	74	19	63	5	»	59	4	»	17	0	»	
38	5	»	76	18,5	66	7	»	57	4	S'a rupt la sudură	40	2,3	»	
39	5	»	—	—	56	5	»	55	3	Idem	34	2	»	
40	5	»	—	—	60	3,5	»	60	6	»	28	1,7	»	

TABELA Nr. 2 — de rezultatele obținute la încercarea sudurii materialelor de oțel ce înlocuiesc oțelul Standard 12

Nr. crt.	Dimensiunea	Materialul	Nesudat		Sudat oxi-acetilenic			Sudat arcatom			Sudat electric			Observațiuni
			Rez. kg/mm ²	Lung. %	Rez. kg/mm ²	Lung. %	Observațiuni	Rez. kg/mm ²	Al. %	Observațiuni	Rez. kg/mm ²	Lung. %	Observațiuni	
1	0,5	Tablă înloc. de „Standard 12”	39	11,7	45	10	Nu s'a rupt la sud.	30	2	S'a rupt la sudură				
2	0,5	Idem	42	12	40	9	Idem	39	9	Nu s'a rupt la sud				
3	0,5	»	41	11	42	11	»	42	11	Idem				
4	0,5	»	—	—	46	10,5	»	40	10	»				
5	0,5	»	—	—	47,5	12	»	45	12	»				
6	0,7	»	41	11,7	47	13	»	43,5	11,3	»				
7	0,7	»	44	12	47	11,4	»	44	11	»				
8	0,7	»	40	11	48	11	»	39	10	»				
9	0,7	»	—	—	47	13	»	47	13	»				
10	0,7	»	—	—	47,5	12,5	»	41,5	10	»				
11	1	»	47	12	48	13	»	47	10	»				
12	1	»	40	10	48	8,7	»	42	8	»				
13	1	»	45	12	47	9	»	45	12	»				
14	1	»	—	—	48	11	»	32	5	S'a rupt la sudură				
15	1	»	—	—	42	3,75	S'a rupt la sudură	36	6	Idem				
16	1,25	»	40	16	41	16,25	Nu s'a rupt la sud.	47,6	17	Nu s'a rupt la sud.				
17	1,25	»	41	12	43	12,5	»	52,8	17	Idem				
18	1,25	»	39	10	39	13	»	50,6	16	»				
19	1,25	»	—	—	46	8,6	»	50	17	»				
20	1,25	»	—	—	44	17,4	»	46	16	»				
21	1,5	»	45	23	46	16	»	45,5	18,5	»				
22	1,5	»	40	17	44	18,9	»	46	13	»				
23	1,5	»	42	17	47	16	»	49	17	»				
24	1,5	»	—	—	38	17	»	48	17	»				
25	1,5	»	—	—	43	17,1	»	48	18	»				
26	2	»	44	9	43	17,1	»	39	17	»	30	6	S'a rupt la sudură	
27	2	»	40	10	44	17,5	»	46	19	»	32	5,5	Idem	
28	2	»	42	11	42	16,8	»	42	18	»	42	12,5	Nu s'a rupt la sud.	
29	2	»	—	—	43	17	»	41	17	»	30	8	S'a rupt la sudură	
30	2	»	—	—	44	19	»	40	16	»	35	7,5	Idem	
31	2,5	»	45	22	43	17,5	»	45	16,2	»	41	11	Nu s'a rupt la sud.	
32	2,5	»	47	19	43	17,5	»	45,5	16,2	»	31	7	S'a rupt la sudură	
33	2,5	»	43	19	42	16,9	»	43	13	»	22	5	Idem	
34	2,5	»	—	—	43	18	»	45	17	»	29	4	»	
35	2,5	»	—	—	43	17,7	»	42	15	»	25	4,5	»	
36	3	»	49	20	46	19	»	48	17,5	»	34	7,5	»	
37	3	»	48	20	44	16,1	»	46,5	10	»	33	7	»	
38	3	»	45	18	45	18,7	»	49	17,5	»	44	17,5	Nu s'a rupt la sud.	
39	3	»	—	—	45	17,3	»	45	14,5	»	43	7,8	Idem	
40	3	»	—	—	44	17,1	»	48	17	»	40	10	»	
41	3,5	»	44	25	45	15,6	»	45	16,2	»	46	9	»	
42	3,5	»	45	21	47	16,5	»	47	17	»	35	3	S'a rupt la sudură	
43	3,5	»	41	17	48	17,1	»	44	17	»	30	3	Idem	
44	3,5	»	—	—	46	16,7	»	43	15	»	36	2,5	»	
45	3,5	»	—	—	44	16	»	47	17	»	31	2	»	
46	4,5	»	45	25	43,5	18,5	»	44,5	20	»	30	3	»	
47	4,5	»	40	17	45	19	»	46	19	»	35	2	»	
48	4,5	»	41	16	40	17,7	»	44	19,5	»	37	1	»	
49	4,5	»	—	—	41	17	»	44	18	»	37	1,5	»	
50	4,5	»	—	—	42	18	»	45,5	19	»	29	2	»	
51	5	»	46	25	19	9	S'a rupt la sudură	47	18	»	35	3	»	
52	5	»	47	20	21	7	Idem	47,2	18	»	40	10	»	
53	5	»	43	17	34	11	»	46,5	15	»	32	4	»	
54	5	»	—	—	47	16	In afară de sudură	46	17	»	35	5	»	
55	5	»	—	—	29	8	S'a rupt la sudură	44	15	»	31	3	»	

TABELA Nr. 3 — de rezultatele obținute la încercarea sudurii materialelor înlocuitoare de Crom-Molibden

Nr. crt.	Dimensiuni mm	Materialul	Nesudat		Sudat oxi-acetileme			Sudat areatom			Observațiuni
			Rez. g/ ²	Alung. %	Rez. kg/mm ²	Alung. %	Observațiuni	Rez. kg/mm ²	Alung. %	Observațiuni	
1	20×14	Tub înlocuitor de oțel. Crom-	62	15	46	2,5	S'a rupt la sudură	50	2	S'a rupt la sudură	
2	20×14	molibd	60	12	44	2	Idem	48	2,5	Idem	
3	20×14	»	—	—	48	2	»	46	1	»	
4	24×22	»	61	13	61	16	Nu s'a rupt la sud.	61	13	Nu s'a rupt la sud.	
5	24×22	»	64	12	60	12	Idem	60	13	Idem	
6	24×22	»	—	—	60	15	»	62	14,5	»	
7	25×22	»	63	13	58	15	»	63	20	»	
8	25×22	»	59	13,5	61	18	»	60	17	»	
9	25×22	»	—	—	55	14	»	59	18	»	
10	25×24	»	67	14	62	12	»	60	8	»	
11	25×24	»	61	14	57	8	»	63	11	»	
12	25×24	»	—	—	67	10	»	61	9	»	
13	27×25	»	69	13	68	16,5	»	66	16,5	»	
14	27×25	»	63	11	63	16	»	59	15	»	
15	27×25	»	—	—	65	14	»	60	16	»	
16	29×27	»	67	12	58	14	»	69	12	»	
17	29×27	»	61	11	67	12	»	60	8	»	
18	29×27	»	—	—	57	8	»	63	8	»	
19	30×25	»	68	19	67	17	»	64	17	»	
20	30×25	»	65	16	65	15	»	63	20	»	
21	30×25	»	—	—	66	17	»	59	16	»	

— Se vede din diagramă că pentru o lungime de braț de 400 mm puterea absorbită este de 100% pe când sub 400 mm lungimea de braț, puterea absorbită crește, iar peste 400 mm scade, ajungând la o lungime de braț de 1400 mm la 60%.

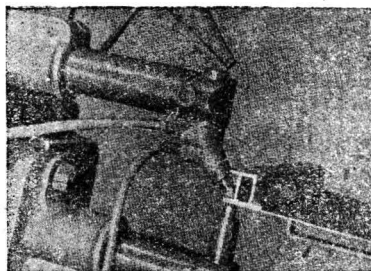


Fig. 5.

Profesorul A. von Zeerlender ajunge la concluzia că pentru tabla subțire de 0,5—1,5 mm, dimensiuni folosite curent în Industria de Aeronautică, nu sunt supuse la eforturi prea mari, se poate întrebuița sudura prin puncte a aliajelor de aluminiu, căci micșorează durata construcției și prețul avionului.

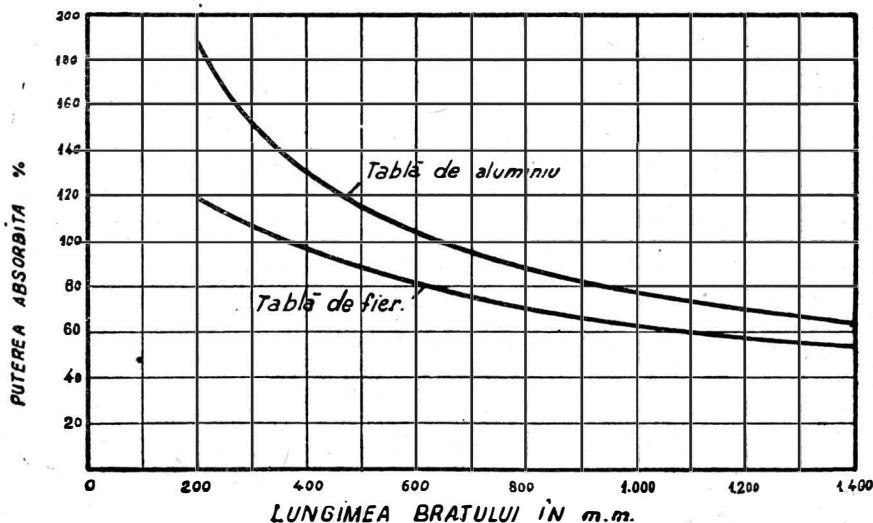


Fig. 6.

În curând se va introduce în Industria Aeronautică și acest sistem de sudură, simțindu-se mare nevoie pentru înlocuirea sistemului greoiu al niturii.