

## Caracterizarea structurală, mecanică și stabilitatea termică a contactelor electrice de mare putere sudate cu fascicul de electroni

### Structural mechanical characterization and thermal stability of electron beam welded high power electrical contacts

Dr.ing. Doru-Romulus Pascu\*, dr.ing. Victor Proca\*\*, fiz. Sanda Cotescu\*\*\*

\*ISIM Timișoara, \*\*ICMET Craiova, \*\*\*ICPE București

#### 1. Introducere

Contactele electrice de rupere arc au sarcina de a închide circuite, respectiv de a prelua conducerea curentului temporar sau pe timp îndelungat precum și de a redeschide circuite electrice închise, întrerupând în felul acesta curentul electric. Deși contactele electrice de mare putere nu reprezintă decât o parte foarte mică din volumul aparatului în care sunt montate, exigențele calitative față de ele sunt complexe și evident diferite de la aparat la aparat.

În vederea satisfacerii acestor exigențe aceste contacte electrice trebuie să posede o serie de proprietăți specifice dintre care se amintesc:

- conductibilitate electrică și termică ridicată;
- rezistență electrică de contact scăzută și constantă;
- rezistență la uzură;
- rezistență la coroziune;
- elasticitate ridicată și constantă pe toată durata funcționării.

În aceste condiții nici un material nu satisface pe deplin cerințele principale ale contactelor electrice pentru aparatul de comutație, fapt pentru care alegerea materialului adecvat fiecărei aplicații impune un compromis între proprietățile dorite și proprietățile limită ale materialelor performante.

Manifestarea concomitentă în materialele de contact a celor două tipuri de proprietăți contradictorii s-a putut obține prin fabri-carea contactelor electrice de mare putere din două părți distincte:

- partea activă contact electric (pastila de contact) realizată, în general, din pseudoaliajul ternar W-Ni-Cu cu ajutorul metalurgiei pulberilor care asigură rezistență ridicată la acțiunea arcului electric;
- suport contact realizat din aliaje binare Cu-Cr, care conferă contactului electric o elasticitate ridicată și constantă pe toată durata funcționării [1].

#### 2. Materiale folosite la fabricarea contactelor electrice de mare putere [2]

##### 2.1. Partea activă a contactului electric

Pastila de contact, în funcție de dimensiuni (diametru exterior, diametru interior), se fabrică din pseudoaliaje W-Ni-Cu

#### 1. Introduction

Electrical contacts for arc breaking close the circuits and lead the current, temporary or for long time. Also, they have the aim to open again the closed electrical circuits and to interrupt the electrical current. Although the high power electrical contacts represent a small part of the apparatus volume, the quality conditions are very important and they are different from apparatus to apparatus. To satisfy these conditions, electrical contacts must have some specific properties:

- high electrical and thermal conductivity
- low and constant electrical resistance
- wear resistance
- corrosion resistance
- high and constant elasticity, during the operation.

In these conditions, none material can satisfy all requirements for electrical contacts in commutation apparatus. For this reason, the material choosing for every application impose a compromise between the wanted properties and the limited properties of high performance materials. The presence of the two kinds of contradictory properties led to the idea to fabricate the high power electrical contacts from two components:

- contact button (active component of the electrical contact), made usually from ternary pseudo-alloy, W-Ni-Cu, obtained by powders metallurgy, which assures high resistance to electric arc;
- contact support, made from binary alloys, Cu-Cr, which assure the high and constant elasticity of the contact, during the operation [1].

#### 2. Materials used to fabricate high power electrical contacts [2]

##### 2.1. Active component of the electrical contact

Contact button depending on sizes (internal and external diameter) is made from pseudo-alloys, W-Ni-Cu, having the chemical compositions, hardness and porosity presented in table 1.

cu compozițiile chimice, duriții și porozitate inserate în tabelul 1.

Se observă că pe măsura scăderii conținutului procentual de cupru crește duritatea maximă impusă pseudoaliajului pe

It can be observed that the maximum hardness increases from 236 HV5 to 322 HV5, when the copper percentage decreases. For this reason, the maximum hardness can be a criterion to choose the contact button for a certain application.

Tabelul 1/ Table 1

Varianta/ Variant	Diametrul pastilei/Button diameter [mm]		Compoziția chimică/ Chemical composition		Duritatea maximă/ Maximum hardness HV5	Porozitatea/ Porosity [%]
	interior	exterior	W+Ni [%]	Cu [%]		
A	23,84	16,58	77,90	22,10	236	1,50
B	42,34	23,18	81,26	18,74	322	0,50

bază de W-Ni de la 236 HV5 la 322 HV5 ceea ce face ca duritatea maximă să fie un criteriu de alegere a pastilei de contact pentru aplicații concrete.

## 2.2. Suportul contactului electric

La realizarea suportului contact se folosesc pentru aceste aplicații aliaje binare sau ternare pe bază de cupru ale căror compoziții chimice sunt inserate în tabelul 2.

Tabelul 2/ Table 2

Material	Compoziție chimică/ Chemical composition [%]			
	Cu	Ni	Si	Cr
Aliaj Cu-Ni-Si/ Cu-Ni-Si alloy	90,0	7,0	3,0	-
Aliaj Cu-Cr/ Cu-Cr alloy	98,8...99,5	-	-	0,5...1,2

La aliajul ternar duritatea după turnare este superioară valorii de 120 HV10, iar la aliajul binar Cu-Cr, folosit la experimentări, obținerea duriții de min. 120 HV10 s-a realizat numai după aplicarea unui tratament termic complex, conform STAS 11532-87, compus din:

- ◆ încălzire de punere în soluție al temperatura de 1000÷1030 °C, timp de 1,5÷2,0 ore;
- ◆ răcire bruscă în apă, cu mențiunea că timpul scurs de la scoaterea din cuptor și până la introducerea în apă nu trebuie să depășească 7 secunde;
- ◆ îmbătrânirea artificială la temperatura de 450÷475°C, timp de 4,5÷5 ore urmată de o răcire în aer.

## 3. Sudarea cu fascicul de electroni a părților componente

Părțile active și suporturile de contact s-au sudat cu fascicul de electroni cu parametrii specifici unei instalații universale de sudare cu tensiunea de 80kV și puterea de 15kW:

- tensiunea de accelerare ( $V_{acc}$ ) = 80kV
- curentul fasciculului ( $I_{fasc}$ ) = 18mA
- distanța de tir ( $D_t$ ) = 150mm
- viteza de sudare ( $V_s$ ) = 0,38m/min
- curentul de focalizare ( $I_{foc}$ ) = 740mA
- presiunea în camera de sudare ( $P_c$ ) =  $10^{-5}$  torr

## 2.2. Electrical contact support

The copper binary or ternary alloys can be used to fabricate the contact support. Table 2 presents the chemical composition of these alloys.

For the ternary alloy, after casting, the hardness is more than 120 HV10.

The hardness of minimum 120 HV10 for the Cu-Cr alloy was obtained after the next complex heat treatment, made in accordance with STAS 11532-87]:

- ◆ heating for putting into solution at 1000÷1300°C, for 1.5÷2.0 hours;
- ◆ water cooling, in maximum 7 seconds after bringing out the alloy from the oven;
- ◆ artificial ageing at 450÷475°C, for 4.5÷5.0 hours and air cooling.

## 3. Electron beam welding of the components

The active components (contact buttons) and the contact supports were electron beam welded. For the experimental program, an universal electron beam welding installation was used ( accelerating voltage = 80 kV, beam power = 15 kW).

The welding conditions were:

- accelerating voltage ( $V_{acc}$ ) = 80kV
- beam current ( $I_{fasc}$ ) = 18mA
- work distance ( $D_t$ ) = 150mm
- welding speed ( $v_s$ ) = 0.38m/min.
- focussing current ( $I_{foc}$ ) = 740mA
- pressure in the welding chamber =  $10^{-5}$  torr

The advantages of the electron beam welding are:

- the electron beam is a concentrated thermal source, with high accuracy,
- the work temperature is obtained instantaneously,
- the adjacent zones of the weld are very little affected by welding process.

During the welding, temperature must not exceed 475°C, which is the critic temperature of the support contact made of Cu-Cr alloy so that it does not loose the elasticity. By current interruption the contact piece with the button loose the elasticity and the contact surface is decreased. So, the current density is increased and produce switches putting out of action. On the welded pieces surfaces no cracks were observed.

Avantajele tehnologiei de sudare cu fascicul de electroni sunt:

- fasciculul de electroni este o sursă termică concentrată, de mare precizie;
- temperatura de lucru se obține practic instantaneu;
- zonele adiacente sudurii sunt foarte puțin afectate de procesul de sudare.

În timpul procesului de sudare a celor două componente temperatura nu trebuie să depășească 475°C, care este temperatura critică a suportului contact realizat din aliajul Cu-Cr pentru a nu-și pierde elasticitatea; pierderea elasticității face ca după deschidere (întreruperea curentului) tulipa care face contact cu partea activă să nu mai revină la forma inițială, micșorându-se astfel suprafața de contact, crește densitatea de curent provocând scoaterea prematură a întrerupătoarelor din funcționare. Pe suprafețele combinațiilor sudate nu s-au observat fisuri.

## 4. Examinări macro-microscopice și încercări de duritate la variantele de combinații sudate specifice contactelor electrice [3]

Variantele de îmbinări realizate prin sudare cu fascicul de electroni supuse examinărilor macro-microscopice și încercărilor de duritate se prezintă în continuare:

- ♦ Varianta A (combinații pastilă-suport, A1, A2, A3);
- ♦ Varianta B (combinații pastilă-suport, B1, B2, B3).

### 4.1. Varianta A

Examinările macroscopice efectuate pe combinațiile sudate (A1, A2, A3) nu au evidențiat defecte de sudare, sudurile având un aspect uniform.

La combinațiile A1, A2 și A3, examinările microscopice evidențiază faptul că zona de delimitare dintre partea activă și suportul contactului nu prezintă denivelări ea fiind specifică zonelor topite cu energii concentrate (figura 1).

Zona I este formată din aliajul binar Cu-Cr, iar zona 2 este pseudoaliajul W-Cu-Ni, ambele sunt compuse din faze intermetalice specifice.

Încercările de duritate HV0,04, conform ISO 4512-2002 efectuate în zonele I și II ale combinațiilor sudate cu fascicul de electroni evidențiază valorile minime și maxime inserate în tabelul 3. De asemenea în tabelul 3 s-au trecut și valorile estimatorului de durificare locală  $\Delta HV0,04$  determinat cu relația:

$$\Delta HV0,04 = ((HV0,04_{max} - HV0,04_{min}) / HV0,04_{max}) \cdot 100[\%]$$

în care:  $HV0,04_{max}$  este duritatea maximă determinată într-o zonă a componenteii analizate;  $HV0,04_{min}$  este duritatea minimă determinată într-o altă zonă a componenteii analizate.

Se consideră că nu apare o durificare locală importantă dacă estimatorul  $\Delta HV0,04$  are valori sub 50%.

La combinațiile A1, A2, A3 practic nu apare o durificare locală importantă, estimatorul  $\Delta HV0,04$  are valoarea maximă de 21,64%, ea fiind mult sub valoarea de 50%. Se menționează o duritate ridicată a aliajului W-Ni-Cu (valoare maximă de 402 HV0,04), fapt ce atestă că starea inițială (de livrare) a acestui material este cea de durificare structurală.

## 4. Macro-microscopic examinations and hardness testing of welded pieces specific for electrical contacts [3]

The electron beam welded joints were subjected to macro and microscopic examination, and hardness testing, respectively. These combinations are:

- ♦ A variant ( combinations button-support, A1,A2,A3);
- ♦ B variant (combinations button-support , B1,B2,B3).

### 4.1. A variant

By the macroscopic examination of the A1, A2, A3 welded combinations no defects were observed. The welded joints have an uniform aspect.

By the microscopic examination, there are no putting out of level between the melted zones. (Figure 1).

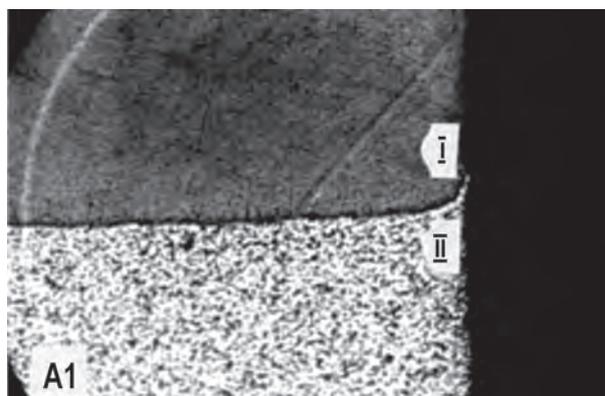


Figura 1. Combinația A1. Atac clorură cuprică amoniacală [250×]

Figure 1. Combination A1. Ammoniacal copper chloride etched [250×]

In the I zone there is the Cu-Cr alloy and in the II zone there is the W-Cu-Ni pseudo-alloy. Both alloys contain specific intermetallic phases.

The hardness testing HV0.04, made in accordance with ISO 4512-2002, in the I and II zones of the electron beam welded joints put in evidence the values mentioned in the table 3. Also, in this table are presented the values of the local

Tabelul 3/ Table3

Combinația sudată/ Welded joint	Duritatea/ Hardness HV0,04		Estimatorul $\Delta HV0,04$ / $\Delta HV0,04$ estimator [%]
	Valoare min./ Min. value	Valoare max./ Max. value	
Pastila de contact (aliaj W-Ni-Cu durificat structural)/ Contact button (W-Ni-Cu structural hardened alloy)			
A1	201	229	12,22
A2	208	236	11,86
A3	315	402	21,64
Suport contact (aliaj Cu - Cr)/ Contact support (Cu-Cr alloy)			
A1	94	105	10,47
A2	93	107	13,08
A3	92	110	16,36

Zonele examinate metalografic (I, II și sudura) nu au prezentat microfisuri. Lățimea foarte mică a sudurii cu fascicul de electroni (sub 10μm) nu a permis efectuarea încercării de duritate în această zonă.

Combi-nația sudată A1 a fost examinată la un microscop electric cu baleiaj (SEM 515) echipat cu spectrometre dis-persive de raze X în vederea analizării imaginilor de distribuție în suprafață a intensității relative a radiațiilor X caracteristice distribuției wolframului (WL<sub>α</sub>) și a distribuției cuprului (CuK<sub>α</sub>).

S-a evidențiat o aderență corespunzătoare între cele două materiale topite. Nu s-au identificat zone fără aderențe, incluziuni metalice sau alte defecte caracteristice. Difuzia în timpul topirii se produce dinspre metalul cu temperatura de fuziune mai joasă (Cu-Cr) către metalul cu temperatura de fuziune mai ridicată (W-Ni-Cu), matricea pe bază de cupru are o culoare mai închisă, iar cea pe bază de wolfram o culoare deschisă. Difuzia are un caracter intergranular care se evidențiază pregnant formând zone insulare de formă neregulată și de mărimi diferite după cum urmează:

- adâncime de difuzie este 20μm, penetrare particule de compus prin difuzie intergranulară cu forme neregulate (figura 2);

- difuzia cuprului se caracterizează prin penetrare intergranulară redusă cu forme neregulate și frecvente difuzii punctiforme în masa de wolfram (figura 3);

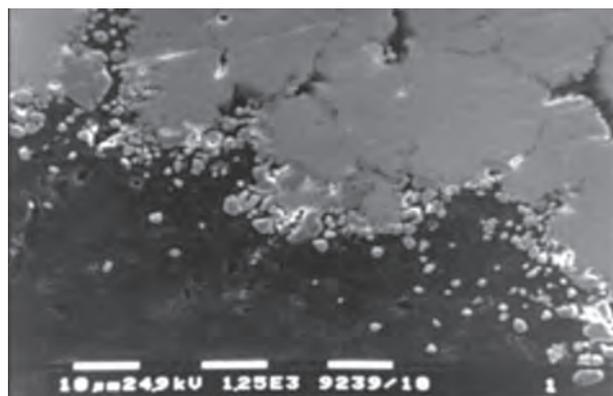


Figura 2. Aspectul general al difuziei [1250×]  
Figure 2. The general aspect of diffusion [1250×]

- difuzia wolframului este caracterizată de penetrarea intergranulară a cuprului, aflat în forme neregulate și numeroase particule de wolfram dispersate fin în masa de cupru (figura 4).

## 4.2. Varianta B

Rezultatele examinărilor macro-microscopice și a încercărilor de duritate obținute pe combinațiile sudate în varianta B atestă faptul că zonele de contact apărute la combinațiile B1, B2 și B3, dintre materialele pastilelor și suportului de contact au lățimi diferite cuprinse între:

- 15μm și 25μm la combinația B1,
- 25μm și 40μm la combinația B2,
- 35μm și 50μm la combinația B3.

Structurile zonelor caracteristice sunt asemănătoare cu cele decelate în cazul combinațiilor sudate în varianta A.

Estimatorul ΔHV0,04 calculat cu relația (1) are valorile prezentate în tabelul 4.

hardening estimator, ΔHV0.04 calculated by the next relation:

$$\Delta HV0.04 = ((HV0.04_{max} - HV0.04_{min}) / HV0.04_{max}) \cdot 100[\%]$$

where: HV0.04<sub>max</sub> – maximum hardness determined in a certain zone, HV0.04<sub>min</sub> – minimum hardness determined in a certain zone.

Practically no important local hardening appears for the A1, A2, A3 combinations, the ΔHV0.04 estimator having the maximum value of 21.64 %, being much bellow the value of 50%. One does mention a high hardness value in the case of the W-Ni-Cu alloy (maximum hardness value of 402 HV0.04), which shows that initially (delivery) state of this material is that of structural hardening.

The metallographically tested areas (I, II and the weld) did not show micro-cracks. The very small width of the electron beam weld (under 10μm) did not allow hardness testing in this area.

The welded combination A1 was examined at an SEM 515 electric scanning microscope equipped with X-ray dispersive spectrometers, to analyze the images representing the surface distribution of the relative intensity of the X-rays characteristics to the tungsten (WL<sub>α</sub>) and copper distribution (CuK<sub>α</sub>).

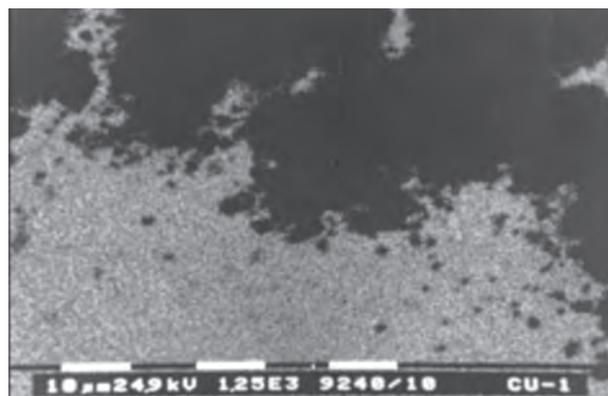


Figura 3. Distribuția difuziei cuprului [1250×].  
Figure 3. The distribution of copper diffusion [1250×]

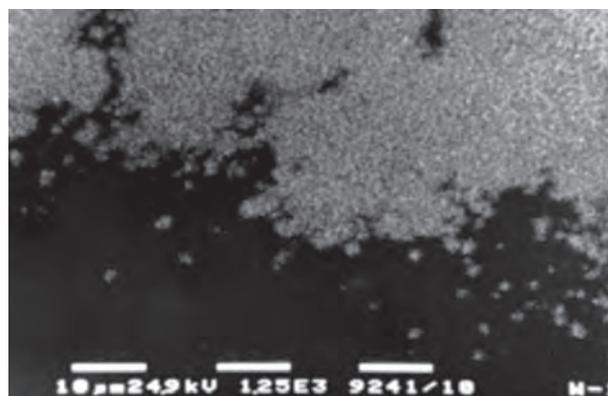


Figura 4. Distribuția difuziei wolframului [1250×].  
Figure 4. The distribution of tungsten diffusion [1250×]

An adequate adherence between the two melted materials was evinced. No zones without adherence, metallic inclusions or other specific flaws were identified. The diffusion during

La componentele contactelor realizate prin sudare cu fascicul de electroni (pastilă de contact, suport contact) estimatorul  $\Delta HV_{0,04}$  are valori maxime de 27,36%, neexistând

Tabelul 4/ Table 4

Combinăția sudată/ <i>Welded joint</i>	Duritatea/ <i>Hardness</i> HV0,04		Estimatorul $\Delta HV_{0,04}$ / $\Delta HV_{0.04}$ estimator [%]
	Valoare min./ <i>Min. value</i>	Valoare max./ <i>Max. value</i>	
Pastila de contact (aliaj W-Ni-Cu durificat structural)/ <i>Contact button ( W-Ni-Cu structural hardened alloy)</i>			
B1	292	402	27,36
B2	310	400	22,50
B3	300	402	25,37
Suport contact (aliaj Cu - Cr)/ <i>Contact support ( Cu-Cr alloy)</i>			
B1	123	140	12,14
B2	121	139	12,94
B3	127	140	9,28
Zona de îmbinare (sudura)/ <i>Joint zone (weld)</i>			
B1	103	115	74,37/26,42
B2	92	127	77,00/33,81
B3	94	115	76,61/32,85

durificări locale importante, în cazul evaluării durității maxime a pastilei de contact în raport cu duritatea minimă a zonei de îmbinare (sudura).

Zona de îmbinare prezintă durități de max. 127 HV0,04 în concordanță cu structurile aliajelor ce conțin compuși intermetalici specifici dizolvați în masa de bază solidificată rapid după sudare.

Estimatorul  $\Delta HV_{0,04}$  are valori ridicate între 74,37 și 77% în cazul evaluării durității maxime a pastilei de contact în raport cu duritatea minimă a zonei de îmbinare (sudura) și valori de max. 33,8% în cazul evaluării durității maxime a suportului contact în raport cu duritatea minimă a sudurii dintre cele două componente.

Aceste valori atestă existența pericolului ca în zonele adiacente pastilei de contact cu sudura realizată cu fascicul de electroni să apară fenomene de fragilizare structurală ce conduc în final la fisurarea acestor zone.

## 5. Încercarea la încălzire a unui contact electric de mare putere [4]

Contactul electric realizat în varianta B (combinăția B3) având o lățime mare a zonei de îmbinare (50 $\mu$ m) produsă prin sudare cu fascicul de electroni a fost supus încercării la încălzire în vederea evaluării stabilității termice acestuia.

Calculul stabilității termice, în ansamblu, al unui aparat electric, nu este realizabil din cauza structurii complexe a aparatului, dar este posibil să se calculeze solicitarea termică a elementelor componente. Drept criteriu pentru stabilirea termică a unui aparat electric se consideră intensitatea curentului pe care o poate suporta un aparat timp de maxim o

welding takes place from the metal having lower fusion temperature (Cu-Cr) towards the metal with higher fusion temperature (W-Ni-Cu), the copper basic matrix has a darker color, and that based on tungsten matrix a lighter one. The diffusion has an intergranular character which is strongly evinced forming isolated areas of irregular shapes and different extents, as follows:

- the diffusion depth is 20 $\mu$ m, composite particle penetration by intergranular diffusion of irregular shapes (figure 2);
- the copper diffusion is characterized by low intergranular penetration with irregular shapes and frequent punctual diffusions in the tungsten mass (figure 3);
- the tungsten diffusion is characterized by copper intergranular penetration, in irregular shapes and numerous tungsten particles finely dispersed in the mass of copper (figure 4);

### 4.2. The B variant

The results of the micro-macroscopic examinations and those of the hardness tests obtained for the welded combinations in the B variant show that the contact areas which appeared at the B1, B2 and B3 button-support combinations, have different width values in the following range:

- 15 $\mu$ m and 25 $\mu$ m for the B1 combination,
- 25 $\mu$ m and 40 $\mu$ m for the B2 combination,
- 35 $\mu$ m and 50 $\mu$ m for the B3 combination.

The structures of the characteristic zones are resembling those observed in the case of the welded combination in variant A.

The  $\Delta HV_{0.04}$  estimator computed with the relation (1) has the values shown in table 4.

For the contact components realized by electron beam welding (contact button, contact support) the  $\Delta HV_{0.04}$  estimator has maximum values of 27.36 %, without significant local hardenings, in the case of contact button maximum hardening evaluation reported to the minimum hardening of the joining zone (the weld).

The joining zone presents maximal hardness values of 127 HV0.04 in concordance with the structures of the alloys that contain specific intermetallic compounds dissolved in the basic mass rapidly solidified after welding.

The  $\Delta HV_{0.04}$  estimator has high values of 74.37 and 77% in the case of the evaluation of the maximal hardness of the contact button reported to the minimal hardness of the joining zone (the weld) and maximal values of 33.8% in the case of the evaluation of the maximal hardness of the contact support reported to the minimal hardness of the welded joint between the two components.

These values do prove the existence of the danger that, in zones that are adjacent to the contact button with the electron beam weld, structural brittleness might appear leading eventually to the cracking of these zones.

## 5. Heating testing of a high power electric contact [4]

The electric contact realized in the B variant (combination B3) having a large width of the joining zone (50 $\mu$ m) was subjected to heating to evaluate its thermal stability.

# Analiză contacte electrice

secundă fără ca acesta să se degradeze prin depășirea temperaturii prescrise de  $\approx 300^{\circ}\text{C}$ . O verificare a stabilității termice în laborator oferă garanția unei comportări corespunzătoare a aparatului la funcționarea în rețea cu ocazia producerii curentului de scurt circuit. Ansamblul tulipă – contact arc (combinația B3) a fost supus la proba de încălzire, injectându-se un curent de 40kA timp de 0,1; 0,5; 1,0 secunde și măsurând temperatura în 6 puncte diferite (figura 5).

Punctele 3 și 4 sunt pe partea activă (aliaj W-Ni-Cu), 2 și 5 sunt pe zone de îmbinare (sudate cu fascicul cu electroni) iar 1 și 6 sunt pe suportul contact (aliaj Cu-Cr). Temperaturile măsurate în aceste puncte sunt indicate în tabelul 5.

Tabelul 5/ Table 5

Curent/durăță/ Current/ duration [kA/s]	Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ] determinată în punctele/ Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] determined in the points:					
	1	2	3	4	5	6
40 / 0,1	34	40,5	34	34	38	30
40 / 0,5	84	120	81	80	117	67
40 / 1	142	240	175	180	240	150

Toate valorile temperaturii măsurate în punctele stabilite sunt sub  $300^{\circ}\text{C}$  atestând că acest ansamblu prezintă o stabilitate termică corespunzătoare la un curent de 40kA.

## 6. Concluzii

6.1. Contactele electrice de mare putere se fabrică din aliaje neferoase speciale, componentele principale (pastila și suportul contactului) se îmbină între ele prin sudare cu fascicul de electroni.

6.2. Prin examinări metalografice și încercări de duritate Vickers se evidențiază structurile zonelor caracteristice ce se corelează cu duritatea acestora, iar în urma sudării cu fascicul de electroni în combinațiile sudate nu s-au decelat defecte de sudare și nici zone durificate local.

6.3. Încercările la încălzire efectuate pe o variantă de fabricație atestă o stabilitate termică corespunzătoare a întregului sistem de contact electric (tulipă + contact), când temperatura sistemului în timpul încercărilor nu a depășit  $240^{\circ}\text{C}$  la un curent de 40kA menținut o secundă.

## Bibliografie/Bibliography

- [1]. Cividjian, Gr.: Aparate electrice-izolație și arc, Editura Avrameanca, 1996, Craiova, România
- [2]. Brojboiu, M.: Electrotehnologii, Editura Orizonturi Universitare, 2002, Timișoara, România
- [3]. Pascu, D.R. ș.a.: Noi tehnologii de îmbinare prin sudare a materialelor performante folosind procedeele WIG, MIG în impulsuri și sudare cu fascicul de electroni, Raport cercetare nr. C115 (PP3) faza 5, Program MATHANTECH, 2005, Timișoara, România
- [4]. Popescu, C.L.: Electrotehnologii. Principii și aplicații, Editura Matrix Rom, 1997, Bucuresti, România

Computing the global thermal stability of an electric apparatus is not achievable due to its complex structure, but it is possible to compute the thermal load of its component elements. As a criterion of thermal stabilization of an electric apparatus one does consider the intensity of the current that might be supported by the apparatus for maximum one second without its degradation by heating over the prescribed temperature of  $\approx 300^{\circ}\text{C}$ . Verifying the thermal stability in the laboratory provides the guarantees for the proper behavior of the apparatus when electric short circuits do appear during the functioning periods. The assemblage tulip – arc contact (combination B3) was subjected to heating, by injecting a 40kA current for 0.1, 0.5 and 1.0 seconds and measuring the temperature in 6 different points (figure 5).

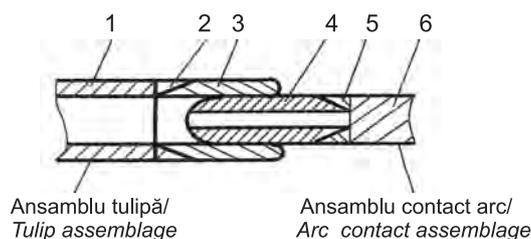


Figura 5. Ansamblul tulipă și contact-arc în timpul probei de încălzire  
Figure 5. Assemblage tulip and arc-contact during the heating test

The points 3 and 4 are on the active side (W-Ni-Cu alloy), 2 and 5 are on joining zones (welded by electron beam) and 1 and 6 are on the contact support (Cu-Cr alloy). The temperatures measured in these points are indicated in table 5.

All the temperature values measured in the mentioned points are under  $300^{\circ}\text{C}$  proving that this assemblage presents a thermal stability that corresponds to a 40kA current.

## 6. Conclusions

6.1. The high power electric contacts are fabricated using special non-ferrous alloys, the main components (the button and the contact support) are joined together by electron beam welding.

6.2. By metallographic examinations and Vickers hardness tests one does evidence the structures of the characteristic zones which are correlated with their hardness, and after electron beam welding no welding flaws and no local hardened zones were detected.

6.3. The heating tests performed on a fabrication variant show an appropriate thermal stability of the entire electric contact system (tulip + contact), when the system temperature, during testing, did not exceed  $240^{\circ}\text{C}$  for a 40kA current maintained for 1 second.

