

# Inovații în sudarea cu fascicul de electroni

## Recent innovations in electron beam welding

D. von Dobeneck, T. Loewer  
 pro-beam, Planegg, München, Germania

### Cuvinte cheie

Sudură cu fascicul de electroni, analiză fascicul, împrăștiere electronică, scanare de mare viteză, tehnici cu mai multe fascicule, urmărirea traiectoriei sudurii.

### 1. Configurația generală a generatorului de fascicul electronic

Sursa fasciculului de electroni, catodul, pentru fascicule de electroni de putere mare este întotdeauna un material care emite electroni când este încălzit la temperaturi înalte. De aceea se folosește în majoritatea cazurilor wolfram ca material, la temperaturi între 2700-2900°C. În funcție de mărimea catodului un maxim al curentului fasciculului aflat între micro-amperi și un amper poate fi atins. Catodul împreună cu electrodul de polarizare și anodul constituie sursa fasciculului, ca fiind partea anterioară a coloanei fasciculului de electroni (schema tunului este dată în figura 1). Tensiunea de accelerare dintre catod și anod la valori de 30-200kV, accelerează electronii asigurând puterea fasciculului de electroni. Pentru sudare sunt tipice puteri ale fasciculului între 1 și 100 kW. Un control precis a puterii fasciculului de electroni este realizat schimbând potențialul electrostatic al electrodului de polarizare. Această metodă permite, de asemenea, și pulsarea fasciculului. La sudare se folosesc pulsuri de o frecvență de până la 500Hz. Calitatea fasciculului este dată de o formă adecvată a catodului, a electrodului de polarizare și a anodului. Intensități ale fasciculului de până la 10E9 W/cm<sup>2</sup> pot fi realizate pe piesa se sudat folosind o focalizare electromagnetică.

Mărimea focarului fasciculului pe piesa de lucru este dependentă de grosimentul asigurat de lentilele optice electromagnetice. Relația dintre distanța de la catod la lentila de focalizare (g) și distanța de la lentila de focalizare la piesa de lucru (b) este importantă. Pentru tunuri cu o distanță mare g flexibilitatea de a obține suduri de calitate la o distanță de tir b mare este întotdeauna mai ridicată decât pentru tunuri scurte din cauza unei mai bune focalizări pe piesa de lucru. Pentru a utiliza întreaga capacitate a tunului, în special pentru tunuri cu fascicule de electroni lungi, componentele de optimizare sunt adesea montate pe coloană. Unitatea de centrare este utilizată pentru alinierea fasciculului față de centrul câmpului magnetic al lentilelor de focalizare. Stigmatatorul corectează astigmatismul fasciculului pentru a obține un profil circular optimizat al fasciculului. Bobina de deflecție x-y este ultima unitate activă a tunului electronic. Această unitate permite mișcarea rapidă a fasciculului pe suprafața piesei de lucru. Oscilarea fasciculului în baia topită este una din funcțiile bobinei de deflecție ea fiind foarte importantă pentru proiectarea proceselor. Poziționarea

### Keywords

Electron beam welding, beam analysis, back scattered electrons, high speed scanning, multi beam techniques, seam tracking.

### 1. General set-up of the electron beam generator

The source of the electron beam, the cathode, is for high power electron beams always a material that emits electrons when it is heated to high temperature. Therefore mostly tungsten is used as a material at temperatures between 2700° and 2900°C. Depending on the cathode size a maximum beam current between micro Amperes and one Ampere can be achieved. The cathode together with the bias cup and the anode builds the beam source as the head of the electron beam column (skim of the gun shown in Figure 1). The acceleration voltage between the cathode and the anode at values of 30 to 200kV,

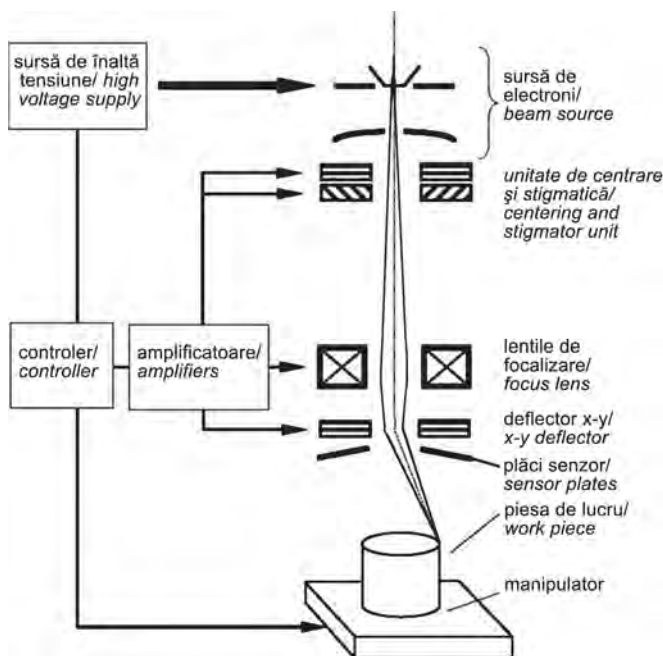


Figura 1. Schema unui tun cu fascicul de electroni/  
 Figure 1. Set-up of an electron beam gun

accelerates the electrons and gives the electron beam its power. For welding machines beam powers between 1 and 100kW are typical. A fast and precise control of the beam power is realized by changes of the electrostatic potential at the bias cup. This method allows also the pulsing of the beam power. In welding

fasciculului este o altă funcție importantă. Datorită inerției mici a sistemelor de deflecție moderne fasciculul poate oscila cu o frecvență de 100kHz. Deflecția cu viteză mare combinată cu utilizarea unui nou generator de funcții programabil, deschide multe noi aplicații al procedurii. Folosind plăci senzor pentru a înregistra electronii retrodifuzăți oferă noi posibilități pentru observarea procesului. Unele exemple pentru noile aplicații ale fasciculului de electroni vor fi discutate mai jos.

## 2. Fascicul electronic „inteligent”

Pentru o producție total automatizată, fără operatori umani și de o calitate înaltă, este necesar ca unalta termică - fasciculul de electroni să fie menținut constantă. Aceasta înseamnă că poziția focarului fasciculului în toate cele trei axe, puterea și distribuția puterii trebuie să nu se schimbe pe o perioadă lungă de timp. În al doilea rând, pentru a monitoriza lucrul acesta, trebuie dezvoltată o tehnică adecvată pentru măsurarea fasciculului și documentare. În acest scop există posibilități sofisticate pentru că fasciculul de electroni are proprietăți speciale, se poate spune că este „inteligent”. Fasciculul de electroni poate să se măsoare și să se caracterizeze singur, poate



Figura 2. Imaginea 3D a unui fascicul focalizat, tonurile de gri reprezintă mărimea densității de putere a electronilor (comprimită de 100x pe direcția x)/  
Figure 2. 3-D image of the beam focus. The colors represent the power density of electrons (compressed 100 x in length)



Figura 4. Fasciculul de electroni poate reproduce imagini prin topirea suprafețelor cu intensități diferite/  
Figure 4. The electron beam can reproduce pictures by melting surfaces with different intensities

să observe și să înregistreze suprafețe și poate reproduce ceea ce a văzut. (figurile 2, 3, 4)

## 3. Caracterizarea fasciculului de electroni și a opticii electronice

Sistemul de analizare de astăzi al fasciculului are nevoie de un senzor-colector costisitor care nu încapă în camere mici sau în instalații de sudare cu mai multe posturi de lucru (tip ciclu). Evaluarea unei secțiuni transversale a fasciculului durează

machines pulsing up to a frequency of 500Hz is used. The quality of the beam is given by a proper shape of the cathode, the bias cup and the anode. Beam intensities up to  $10E9 \text{ W/cm}^2$  can be reached on the work piece surface using focusing of electro magnetic optics.

The spot size of the focus on the work piece is depending on the magnification of the electro magnetic optics. The relation between the distance cathode to focus lens (g) and the distance focus lens to workpiece (b) are of importance. For guns with a long distance g the flexibility in getting good welding results on a long working distance b is always higher then for a short gun, because of better focusing on the work piece. To use the full capability of a gun, especially of long electron beam guns, optimizing units are often installed in the column. The centering unit is used for the alignment of the beam to the center of the magnetic field of the focus lens. The stigmator unit corrects the astigmatism of the beam to get an optimized circular beam profile. The x-y deflector is the last active unit of the electron beam gun. This unit allows the fast movement of the beam on the surface of the work piece. The beam oscillation in the melt pool is one application of the deflector, a very im-

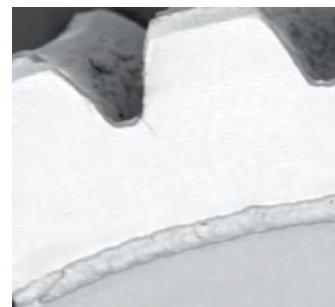


Figura 3. Fasciculul de electroni detectează densitatea diferitelor materiale, arătând intensități luminoase diferite (zimiți de bronz sudați pe oțel)/  
Figure 3. The electron beam detects the density of different materials by showing different brightness. (Bronze cogs welded to steel)

portant one for the design of processes. Beam positioning is another important use. Due to the low inertia of modern deflection systems the beam can be oscillated with frequencies of 100 kHz. The high speed deflection combined with new free programmable function generators open many new process applications. Using sensor plates for recording of back scattered electrons further new possibilities are given for process observation. Some examples for this new electron beam applications will be discussed below.

## 2. „Intelligent” electron beam

For a fully automated, manless and high quality production it is necessary to meet two requirements: the thermal tool electron beam has to be maintained constant. This means that the focus position of the beam in its three axes, its power and its power distribution must not change over a long period of time. And secondly in order to monitor this, a suitable technique for beam measurement and documentation had to be developed. For this purpose, there are sophisticated possibilities, because the electron beam has special capabilities: one could say it is “intelligent”. The electron beam can measure and characterize

câteva secunde. Sistemul nou al autorilor măsoară 20 de secțiuni transversale într-o secundă și poate conecta aceste măsurători într-un model tridimensional. Sistemul este capabil să scaneze pe direcția axială arătând astfel caustica fasciculului (figura 5).

itself, it can observe and record surfaces and it can reproduce what it has seen (Figures 2, 3, 4).

### 3. Characterization of the electron beam and of electron optics

Today's beam analyzer systems need an expensive collector-sensor that does not fit into small chambers or cycle type machines. Evaluating one cross-section of a beam takes several seconds. Our new system measures 20 cross-sections in 1 sec and can join them into a 3-dimensional model. It is also able to scan along the axial direction of the beam and thus show the caustic of the beam (Figure 5).

By this means, for example before welding an expensive workpiece, the beam is analysed and compared to the homologized and documented quality for this application. For a series production the beam quality may be controlled in certain intervals.

### 4. Automatic beam adjustment

The term "beam adjustment" comprises three different operations: centering the beam to the optical axis of the lens (Figure 6), compensation for astigmatism to achieve a symmetric (round) energy distribution (Figure 7), and focusing the smallest beam diameter at the workpiece surface. As qualified staff for such adjustment operations is often missing, we automated these procedures on the basis of the above described beam analysis. The result is not only available faster, but more important, better and objective, which means independent of the experience and concentration of the machine operator.

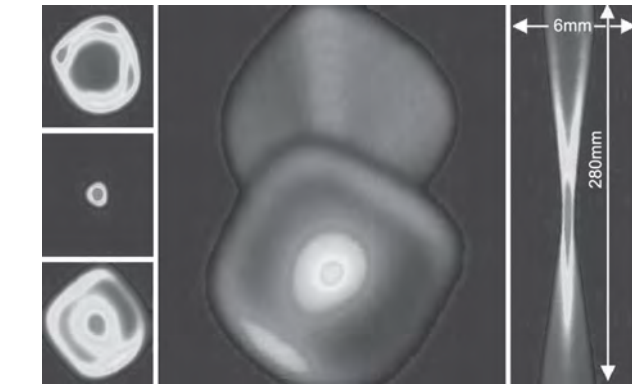


Figura 5. Analiza fasciculului este necesară pentru controlul calității și pentru a transfera parametrii fasciculului la alte instalații de sudare. Aici rezoluția diagnosticului este demonstrată prin detecția unui fascicul emis de un catod slab încălzit./

*Figure 5. Beam analyzing is necessary for quality control and for transfer of beam parameters to other machines. Here the resolution of the diagnostics is demonstrated by the detection of a beam emitted from a low heated cathode.*



Figura 6. Imaginile din stânga și centru arată mișcarea fasciculului sub reticul la defocalizarea fasciculului. Imaginea din dreapta reprezintă fasciculul defocalizat care stă în poziția focarului (reticul)/

*Figure 6. The left and middle picture shows the movement of the beam under the cross hair while defocusing the beam. The right picture represents a defocused beam which stays on position of the focus (cross hair position)*

Prin aceste mijloace, de exemplu înaintea sudării unei piese costisitoare, fasciculul este analizat și comparat cu calitatea omologată și documentată pentru această aplicație. Pentru produse de serie calitatea fasciculului poate fi controlată la anumite intervale de timp.

### 4. Ajustarea automată a fasciculului

Termenul „ajustarea fasciculului” cuprinde trei operații diferite: centrarea fasciculului față de direcția axei optice a lentilelor (figura 6), compensarea astigmatismului pentru a obține o distribuție simetrică (circulară) a energiei (figura 7), și focalizarea celui mai mic diametru pe suprafața piesei de lucru. Întrucât personalul calificat pentru aceste ajustări lipsește frecvent, procedurile respective au fost automatizate de autori pe baza celor descrise mai sus despre analiza fasciculului. Rezultatul nu este doar disponibil mai rapid, dar mai important este faptul ca el este mai corect și mai obiectiv, ceea ce înseamnă că este independent de experiența și concentrarea operatorului sudor.



Figura 7. Imaginile din stânga și centru arată astigmatismul unui fascicul ușor defocalizat. Imaginea din dreapta arată distribuția de putere corectată a unui fascicul circular./

*Figure 7. The left and middle picture shows astigmatism of a slightly defocused beam. The right picture shows a corrected powerdistribution of a round beam.*

Figure 8 shows the computer image generated after the automatic alignment procedure. On the left side the power distribution of the adjusted beam is shown. On the right hand side the actual and reference (typical) values of the adjustment units are given. For a further quantification a "shape factor" of the beam profile is printed. The closer it goes to 1, the higher the quality of the beam.

### 5. Light - optical and electron - optical monitoring

The observation of surfaces with an electron scanning microscope is state of engineering. The same principle can be used to produce a picture of the workpiece surface with the electron beam of a welding machine. However the information received from the light-optical system is different from the information of an electron-optical system.



Figura 8 arată imaginea generată pe computer după o procedură de reglare automată. În partea stângă se arată distribuția puterii fascicului ajustat. În partea dreaptă sunt indicate valorile actuale și de referință (tipice) ale unităților de ajustare. Pentru cuantificări ulterioare, „un factor de formă” al profilului fascicului este tipărit. Cu cât acesta este mai apropiat de 1, cu atât este mai bună calitatea fascicului.

## 5. Monitorizare optică cu lumină și electronică

Observarea suprafețelor cu un microscop electronic cu scanare se face în mod curent. Același principiu se poate folosi pentru a produce o imagine a suprafeței piesei cu fasciculul electronic al unei instalații de sudare. În orice caz, informația primită de la sistemul optic este diferită de informația dată de un sistem electronoptic.

### 5.1. Sistemul de observație optic

Multe instalații de sudare sunt echipate cu un sistem optic integrat în tunul electronic. El permite observarea suprafeței de lucru sub un unghi înclinat față de fasciculul electronic. Operatorul sudor poate sta ore întregi privind printr-un telescop pentru a determina parametrii fascicului, pentru a poziționa manual linia de îmbinare sub fascicul sau pentru a controla procesul de sudare. Este o muncă oboseitoare, iar camerele video de generație mai veche nu aveau capacitatea de a monitoriza diferența de luminozitate dintre baia topită și suprafața piesei, rezoluția fiind insuficientă. Camerele video de astăzi pot rezolva acest lucru. Mai mult, orice sudor cu fascicul de electroni cunoaște problemele create de o iluminare nesatisfăcătoare, de poziționarea îmbinării în umbră sau când reflexiile supărătoare, mai ales cele de pe piesele circulare, orbesc ochiul (figura 9a).

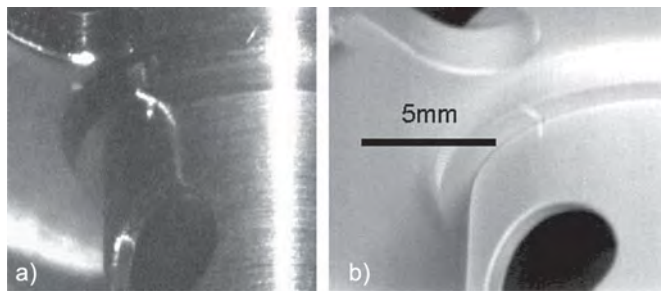


Figura 9. a) Vizualizare optică - reflexie strălucitoare nedorită;  
b) Vizualizare electronoptică a aceleiași piese/  
Figure 9. a) Light-optical observation with undesired bright reflex;  
b) Electron-optical observation of the same piece.

Observarea prin intermediul unui sistem de vizualizare electronoptic elimină toate aceste dezavantaje (figura 9b). Acest sistem nu arată însă radiația băii topite, culoarea sau modul de curgere a acesteia (turbulențele), precum și nici stropii sau erupțiile de material. Sistemul prezintă dezavantaje considerabile pentru determinarea parametrilor procesului (figura 10 arată imagini ale procesului într-o înregistrare video în timpul sudării).

O soluție satisfăcătoare o oferă doar combinarea celor două sisteme de vizualizare.

### 5.2. Sistemul de observație electronoptic

Care este principiul de bază al unui sistem optico-electronic

### 5.1. Light - optical viewing system

Many welding machines are equipped with a light-optical system, integrated in the eb-gun. It allows the observation of the working area under a steep angle corresponding to the

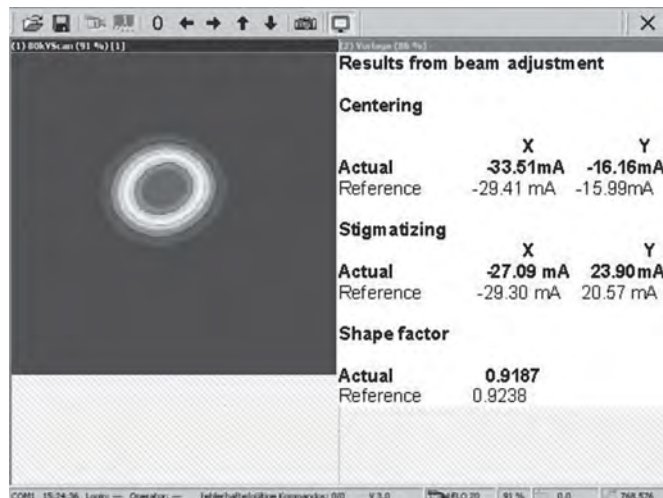


Figura 8. Imagine a ecranului ce conține rezultatele ajustării date de sistemul de control/  
Figure 8. Screen shot of the adjustment results given by the control system.

electron beam. The operator of an eb-welding machine may sit for hours looking through a telescope to develop beam parameters, to manually position the joint under the beam, or to control the welding process. It is a tiring job, but cameras did not have the capability of monitoring the differences in brightness between the melt pool and the workpiece surface, and the resolution was insufficient. Today's cameras can solve this task.

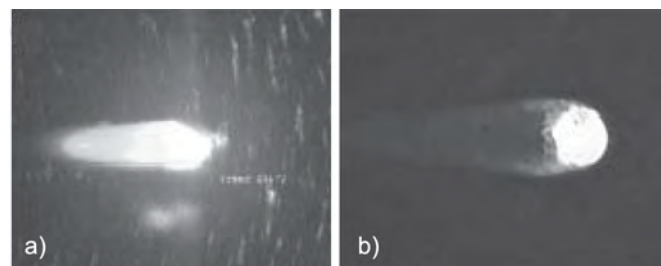


Figura 10. Imagini de proces din timpul sudării: a) Observarea băii topite și a piesei; b) Observarea „găurii de cheie”/  
Figure 10. Process images while welding.  
a) Observation of the melt pool and the work piece.  
b) Observation of the key hole

Furthermore every electron beam welder knows the problems of unsatisfactory illumination, when the joint lies in the shadow, or when annoying reflexes, especially from round parts, blind the eye (Figure 9a). Observation by means of electron-optical viewing systems eliminates all these disadvantages (Figure 9b), however it does not show any radiation of the melt pool, its color or flow behavior (turbulences), neither splatter nor eruptions. Evidently it has considerable disadvantages for the determination of process parameters (Figure 10 shows process images of a video recording while welding). Only the combination of both viewing systems results in a satisfying solution.

de monitorizare? Electronii care lovesc o piesă de lucru sunt parțial retrodifuzati (figura 11a). Dacă un fascicul de electroni bine focalizat este scanat pe suprafața unei piese de lucru și dacă radiația electronică retrodifuzată este absorbită de plăci senzori adecvate, semnalul primit reprezintă o imagine exactă a suprafeței (figura 11b).

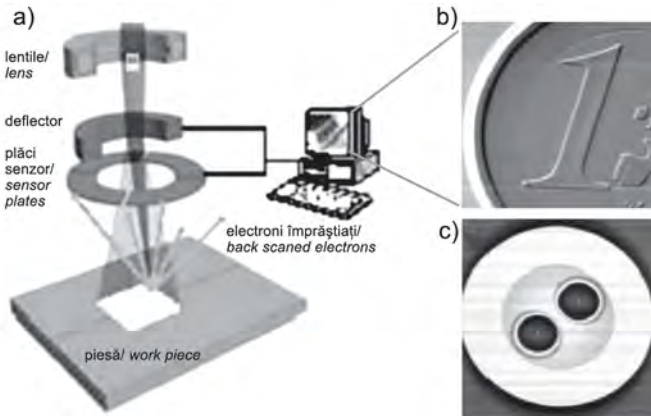


Figura 11. a) Schema unui sistem de vizualizare electronoptic; b) demonstrarea rezoluției sistemului prin observarea unei monede; c) imaginea unei flanșe cu semne de la un proces automat pentru aflarea centrului țevilor ce trebuie sudate./  
 Figure 11. a) Scheme of electron-optical viewing system. b) Demonstration of the system resolution by the observation of a coin. c) Image of a flange with marks from an automatic process to find the centres of the tubes that are to be welded.

După inventarea unei noi metode pentru evaluarea semnalelor de la electronii retrodifuzati, ei au putut fi utilizați pentru realizarea unui proces automat de sudare și control al calității (figura 11c). De exemplu: Senzorul de presiune (figura 12 stânga) este îmbinat de baza unui inel de 1mm lățime. Cele două piese de îmbinat pot fi asamblate în sistemul de rotire. În aceste condiții ele nu trebuie fixate prin sudare. În timpul unei singure rotiri

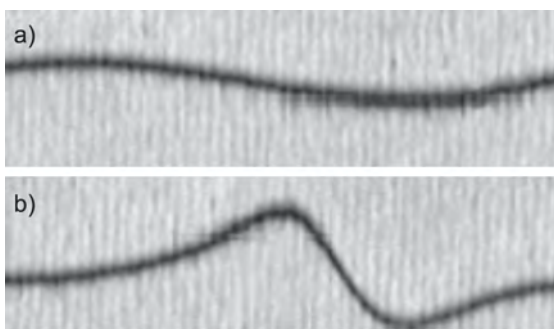


Figura 13. a) Scanare vectorizată a unei suduri circulare cu o eroare geometrică; b) Scanarea aceleiași piese, dar parțial magnetizată./  
 Figure 13. a) Vectorized scan of a circular weld with an error of run out. b) Scan of the same work piece but partly magnetized.

care se efectuează în 0,4 secunde se scanează linia de îmbinare, iar rezultatul măsurătorii este monitorizat cu o precizie de 10 microni (figura 12 dreapta). Dacă abaterea laterală se află în limitele admise se comanda sudarea care se efectuează într-un interval de 0,7 secunde, incluzând oprirea controlată (slope). Dacă abaterea este în afara toleranței admisibile sudarea nu se va efectua și senzorul trebuie reasamblat. Anvelopa

## 5.2. Electron - optical viewing system

What is the underlying principle of electron-optical monitoring? Electrons which hit a work piece are partly scattered back (Figure 11a). If a well-focused beam is scanned over a work piece surface and the back-scattered electrons are absorbed by adequate sensor plates, the signals received represent an exact picture of the surface (Figure 11b).

After a new evaluation of the signals from backscattered electrons was invented, they could be used for an automated process or quality control (Figure 11c). For example: The small pressure sensor (Figure 12 left) is joined at the bottom of a groove 1mm wide. The two pieces to be joined may be assembled set on edge or clamped obliquely in the rotary device: Under these conditions they must not be welded. During a single revolution within 0.4 sec., the joint within the groove and the edges are scanned and the resulting run out is monitored with a precision of 10µm (Figure 12 right). If the lateral movement is within the admissible tolerance, the weld including slopes is performed within 0.7sec. If it is out of tolerance, there will be no weld and the sensor can be reassembled. The

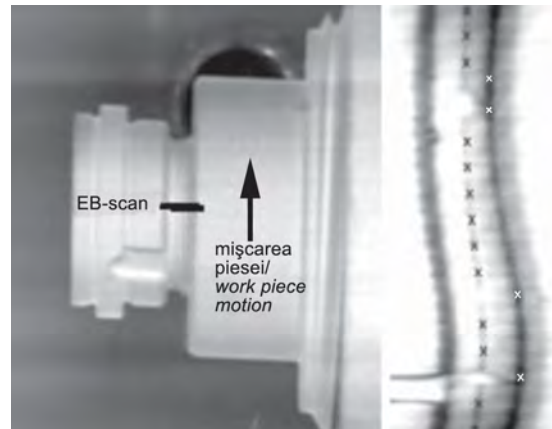


Figura 12. Senzor de presiune monitorizat prin electroni retrodifuzati și conturul îmbinării sudate/  
 Figure 12. Pressure sensor monitored by back scattered electrons and envelope of the weld joint

envelope of the circumference of the sensor shows the detected spots at the joint line (blue crosses) and spots covered by tack welds where the edge of the groove was found (red crosses) (Figure 12 right). They will be rejected by a plausibility analysis. The total cycle time of a sensor is 5 sec. Production runs 24 hours, six days a week on two machines. The electron beam is capable of even more “intelligent” applications. It cannot only detect run out of a round joint (Figure 13a), but also residual magnetic fields, within the work piece (Figure 13b). It can be decided automatically whether the weld is executed with deflection compensation, or whether the part has to be demagnetized.

## 6. High speed beam deflection – multi - beam technologies

As everybody knows from his television set, the picture is generated by an electron beam which is deflected 25 times per second along the 625 lines of the screen with varying intensity, so that our eyes realize continuously moving pictures. The capability of rapid beam deflection is precondition for all the

circumferinței sensorului arată punctele detectate ale liniei îmbinării (cruci negre) și punctele reprezentate de sudurile de prindere (cruci albe) (figura 12 dreapta). Acestea vor fi respinse de o analiză de plauzibilitate. Timpul total al unui ciclu al sensorului este de 5 secunde. Producția se derulează 24 de ore, șase zile pe săptămână pe două mașini de sudare. Fasciculul de electroni este capabil de aplicații chiar și mai „inteligente”. El poate să detecteze abateri geometrice ale unei îmbinări circulare (figura 13a), dar și câmpuri magnetice reziduale din interiorul piesei de lucru (figura 13b). În acest caz se poate decide automat dacă sudarea va fi executată cu o deviere compensatoare a fasciculului sau dacă piesa trebuie să fie demagnetizată înainte de sudare.

## 6. Deflecția fasciculului cu viteză mare - tehnologii multifascicul

După cum este cunoscut din televiziune, imaginea este generată de un fascicul de electroni care este deviat de 25 de ori pe secundă de-a lungul a 625 de linii ale ecranului cu intensități variabile, astfel încât ochiul uman percepe o senzație de mișcare continuă a imaginii. Capacitatea de a devia rapid fasciculul este o condiție ce trebuie îndeplinită de toate procesele descrise mai sus pentru analiza și monitorizarea unui fascicul. Această capacitate poate fi aplicată și la procesele cu mai multe fascicule și pentru tratamentul suprafeței, utilizând, de exemplu, o putere de 1000 ori mai mare decât cea a unui televizor și o frecvență de deviere de până la 100kHz. Se definește ca tehnologie multifascicul situația în care un fascicul produs de o sursă este deplasat cu o viteză atât de mare între diferite poziții și/sau intensități, încât rezultatul arată, datorită inerției termice, ca și cum ar fi fost produs simultan de mai multe fascicule (figura 14a, b).

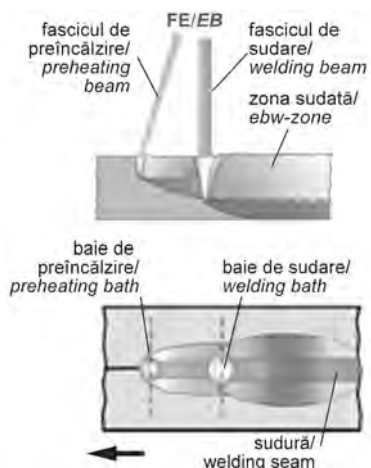


Figura 15. Tehnici multiproces. Preîncălzirea și sudarea se execută într-o singură trecere/  
Figure 15. Multi-process technique. Preheating and welding are done in one run.

Dacă fasciculele de sudură sunt localizate unul în spatele celuilalt sau pe îmbinări diferite putem numi acest mod de lucru ca tehnică „cu băii topite multiple” (figura 14c). În acest caz parametrii fasciculului (focalizarea și intensitatea) sunt diferiți și au sarcini diferite pe fiecare poziție de impact, aceste tehnici de proces se numesc „multiproces”, (figura 15). Aici primul fascicul asigură o preîncălzire, iar al doilea fascicul sudează în zone preîncălzite local. În cazul sudării multipunct fasciculul sare de

above-described processes of beam analyzing and of beam monitoring. This capability, however, can also be applied to multi-beam processes and for surface treatment, using, for example, 1000 times more power than a TV and a deflection rate up to 100 kHz. We define as multi-beam technology that a beam, originated from one source, jumps so fast between different positions and/or intensities, that the result due to thermal inertia, looks as if it were produced simultaneously by multiple beams (Figure 14a, b).

If the weld spots are located one beside another or on different joints, we call this multi-pool technique (Figure 14c) and in case the beam parameters (focus, intensity) are different and

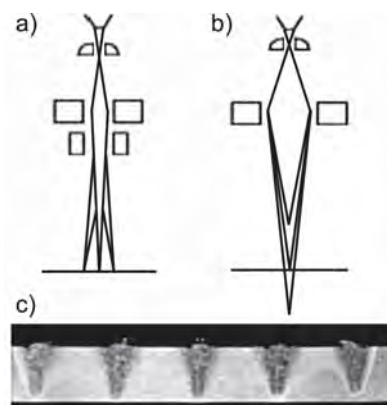


Figura 14. a) Multifascicul; b) Tehnica de focalizare multiplă; c) Secțiune printr-o piesă cu 5 suduri simultane/  
Figure 14. a) Multi-beam and b) multi focus technique; c) Section of a work piece with five simultaneous welded seams.

have different tasks on each position of impact, we call this multi-process technique (Figure 15). Here the first beam preheats and the second beam welds in a locally preheated zone. With multi-spot welding, the beam jumps many times between the same positions as is shown in the photograph of Figure 16. Multiple beams weld one after another within one joint, for example three beams on a circle with 120° displacement. A part that is welded in high production with this method is showing Figure 17.

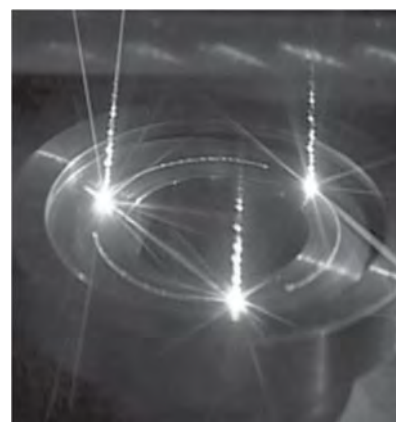


Figura 16. Sudare cu băi multiple/  
Figure 16. Multi-pool welding

Examples for multi-beam techniques are: porosity-free welding of pressure die cast aluminum by three beams following each other in one seam (Figure 18), suppression of hot cracks



mai multe ori între aceleași poziții după cum este arătat în figura 16. Fasciculele multiple sudează unul după celalalt în cadrul unei îmbinării, de exemplu trei fascicule pe un cerc cu depărtarea de 120°. În figura 17 se arată o piesă sudată în producție utilizând această metodă.



Figura 17. Producția de serie a roților dințate a fost îmbunătățită cu ajutorul tehnologiei multifascicul: reducerea deformațiilor prin încălzire simetrică și suduri înguste/  
 Figure 17. Series production of gears is being improved by multi-beam technologies: reduction of distortion by symmetric heat input and narrow welds.

by producing stress on the mushy zone (Figure 19), or online seam tracking (Figure 20).

The last mentioned application uses a well-focused beam, scanned periodically ahead of the weld, to track the joint position. The weld itself is performed with different focus position. In this example also a fast focusing is needed.



Figura 18. Reducerea porozității utilizând, respectiv, un fascicul, două sau trei fascicule la o singură trecere/  
 Figure 18. Reduction of porosity by one, two and three beams in one weld run

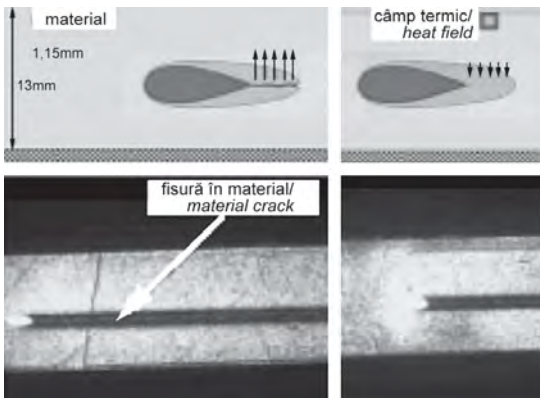


Figura 19. Eliminarea fisurilor la cald prin aplicarea unei forțe de compresiune folosind un câmp termic generat cu ajutorul electronilor/  
 Figure 19. Suppression of hot cracks by applying compressive stress using an electron generated heat field.

Exemple pentru tehnica multifascicul sunt: sudura fără porozitate a aluminiului turnat sub presiune ce se execută cu trei fascicule unul după altul într-o singură sudură (figura 18), eliminarea fisurilor la cald prin producerea de tensiune de compresiune în zona solicitată (figura 19), sau urmărirea în direct a sudării (figura 20).

Ultima aplicație menționată utilizează un fascicul bine focalizat, scanat periodic înaintea sudării, pentru a urmări poziția îmbinării. Sudarea se efectuează cu poziții de focalizare diferită. În acest exemplu este necesară o focalizare rapidă.

Condiția ce trebuie dinainte satisfăcută pentru o buna sudură este aceea ca gaura de cheie a băii de sudare să rămână deschisă în timpul absenței fasciculului pentru scanare. Cu cât este mai mică pătrunderea sudurii și mai rapidă sudura, cu atât mai repede trebuie ca scanarea să aibă loc.

## 7. Limita de compensare a erorilor

Deși un fascicul de electroni poate fi deviat și oscilat la viteze extrem de mari, o inerție este inerentă în mișcarea mecanică a

Precondition for a good weld is that the keyhole of the weld pool remains open during the absence of the beam for scanning. The smaller the weld penetration and the higher the weld speed, the faster the scan has to be performed (Figure 20).

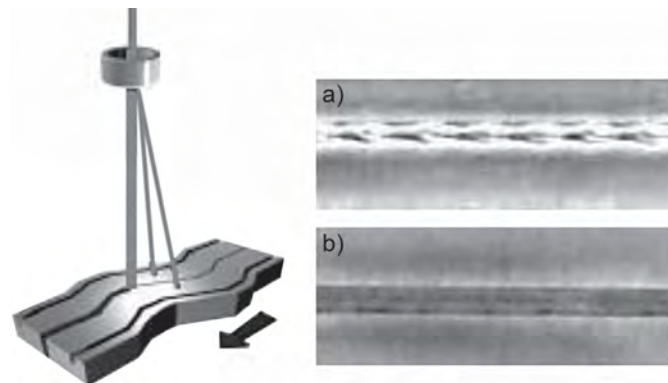


Figura 20. Urmărire online a sudurii: a) Sudură cu defecte datorate unei îndelungate absențe a fasciculului pentru scanare; b) Sudură, fără defecte, cu timp de scanare suficient de scurt/  
 Figure 20. Online seam tracking a) Defective weld due to a too long absence of the beam for scanning; b) Weld, free of defects, with sufficient short scanning time

## 7. Error limit compensation

Whereas an electron beam can be deflected and oscillated at extremely high speeds, inertia is inherent in the mechanical motion of workpiece - manipulation. This means, that due to inertia it is not possible, to move a heavy part with high speed along abrupt changes of directions with constant speed. To overcome this problem, a combination between beam deflection and workpiece - motion can be integrated. An incremental encoder transmits the actual workpiece position to the computer numeric control. The deviation between actual position and nominal position of the weld joint at each moment is calculated and compensated by beam deflection in real time. In order to

piesei de lucru. Aceasta înseamnă că din cauza inerției nu este posibil, să mișcăm cu viteză constantă o piesă grea cu viteză mare cu schimbări bruște de direcție. Pentru a soluționa această

visualize the speed, a 45° oscillation with 100 Hz has been superimposed to the seam at a welding speed of 100 mm per second.

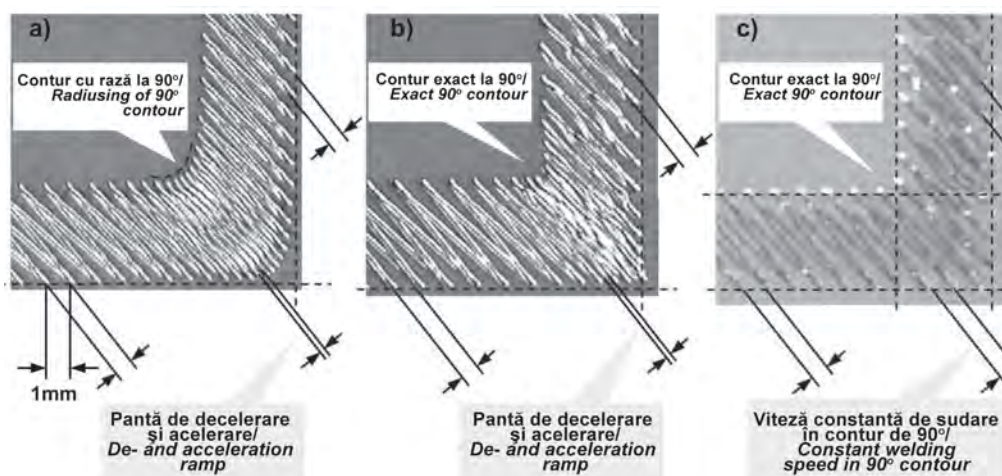


Figura 21. a) Contur cu compensare de eroare limită dezactivată ; b) Contur cu control al poziției activat; c) Contur cu control activat al poziției și al vitezei/  
 Figure 21. a) Contour with deactivated error limit compensation; b) Contour with activated position control; c) Contour with activated speed and position control

problemă se poate integra o combinație între devierea fasciculului și mișcarea piesei de lucru. Un codificator cu incrementare transmite poziția reală a piesei de lucru către comanda numerică. Diferența dintre poziția reală și cea nominală a liniei de îmbinare la fiecare moment este calculată și compensată de devierea fasciculului în timp real. Pentru a face o idee despre viteză, o oscilație la 45° cu o frecvență de 100Hz a fost suprapusă peste sudură la o viteză de sudare de 100mm pe secundă.

## 8. Conclusions

Summarizing, the described new developments strengthen the leading position of EB-welding as an ambitious and highly qualified welding process and result in a considerably improved productivity. Its position in economic competition has been strengthened. Many new freedoms are being generated to develop new processes and applications.

Paper presented at „The 1st IIW South-East European Welding Congress”, Timișoara, May 2006

## 8. Concluzii

Făcând un sumar, noile progrese descrise întăresc poziția de lider a sudării cu fascicul de electroni ca fiind un procedeu de sudare ambițios și de înaltă clasă ce duce la o creștere considerabilă a productivității. Poziția sa în competiția economică a fost întărită. O serie de noi posibilități pentru dezvoltarea unor noi procese și aplicații au fost generate.

Lucrare prezentată la „Primul congres IIW sud-est european de sudare”, Timișoara, mai 2006



## EXPO SUDURA - METAL

**SALA PALATULUI BUCUREȘTI  
13-16 MARTIE 2007**



Sala Palatului București va găzdui, în perioada 13-16 martie 2007, cea de-a 13-a ediție a expoziției specializate EXPO SUDURA și cea de-a 36-a ediție a expoziției specializate EXPO METAL. La manifestări participă firme renumite din țară și străinătate, producătoare sau distribuitoare de echipamente, consumabile și tehnologii de sudare, respectiv echipamente, scule și materiale pentru prelucrarea metalelor.

Program: 13-15 martie între orele 10 și 18; 16 martie între orele 10 și 14

Informații suplimentare:

Maria Mateiaș – orgnizator  
 Tel./fax: 021 310 27 50; 310 27 51  
 Mobil: 0723 54 92 58  
 e-mail: expo1@salapalatului.ro

ISIM Timișoara va fi prezent în cadrul standului Asociației de Sudură din România (ASR).