

# Lumea sudării este în schimbare

## The welding world is changing

B. Pekkari - IIW Past President; BePe Konsult, Suedia

### Cuvinte cheie

*Schimbare proces de sudare; dezvoltare metal depus; preț scăzut forță de muncă; consum de oțel; compozite; roboți; sudare hibridă laser; sudare prin frecare cu element rotitor activ; construcție nave, aplicații în energetică; industria automobilelor*

### 1. Introducere

Lucrarea aceasta va demonstra cum se schimbă lumea sudurii prin prezentarea unui număr mare de statistici adunate din diferite surse și prin revizuirea ultimelor progrese realizate în unele procedee de sudare de actualitate.

În cercurile financiare majoritatea oamenilor subliniază importanța luării în considerare a țărilor BRIC care înseamnă Brazilia, Rusia, India și China. Figura 1 prezintă evoluția Produsului Intern Brut în diferite țări.

Brazilia nu este considerată în diagramele ce urmează deoarece aceasta are o creștere mult mai mică decât Rusia, India și China.

### 2. Consum oțel, oțel inoxidabil și aluminiu

China este în 2004 de departe cea mai mare consumatoare de oțel cu 28,5% din consumul de oțel din lume, adică 1061 milioane tone. O situație comparativă este ilustrată în figura 2.

China a înregistrat o creștere de peste 20% pe an din 2000. Pentru 2004 cifra este de numai 15,4%.

### Keywords

*Welding process change; Weld metal development; Low labour cost; Steel consumption; Composites; Robots; Laser hybrid welding; Friction Stir Welding; Shipbuilding; Power generation applications; Automotive industries*

### 1. Introduction

This paper will show how the welding world is changing by presenting a lot of statistics collected from different sources and by reviewing the latest progresses made in some emerging welding processes.

In financial circles most people underline the importance being present in the BRIC countries meaning Brazil, Russia, India and China. In Figure 1 the development of the GDP (Gross Domestic Product) is shown.

Brazil is not considered in coming diagrams as it has much lower growth than Russia, India and China.

### 2. Steel, stainless steel and aluminium consumption

China is 2004 by far the largest consumer of steel or 28,5 % of world consumption 1061 million tons, which is illustrated in Figure 2.

China has registered an increase of more than 20 % per year from 2000. For 2004 the figure is only 15,4 %.

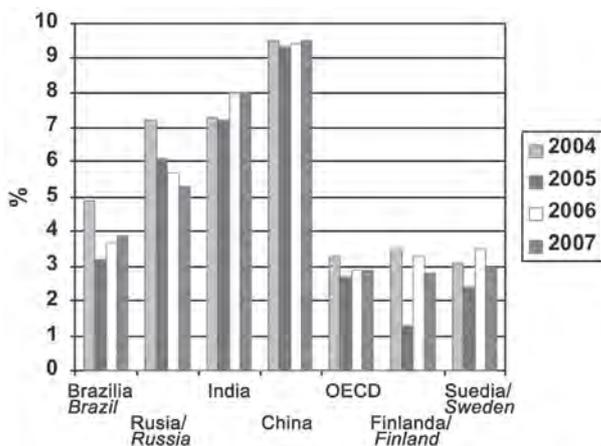


Figura 1. Creșterea PIB în BRIC, OECD și unele țări OECD  
Figure 1. Growth in GDP in BRIC, OECD and some OECD countries

Consumul de oțel pe locuitor este considerat a reflecta parțial standardul de viață al țării. Tabelul 1 arată cifrele pentru câteva țări.

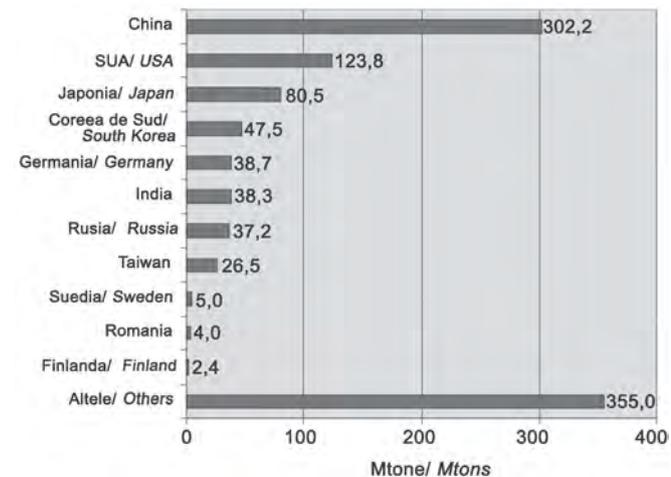


Figura 2. Consumul aparent de oțel crud în 2004  
Figure 2. Apparent consumption of crude steel year 2004

Steel consumption per capita is judged to partly reflect the living standard in the country. Table 1 shows this figure for some countries.

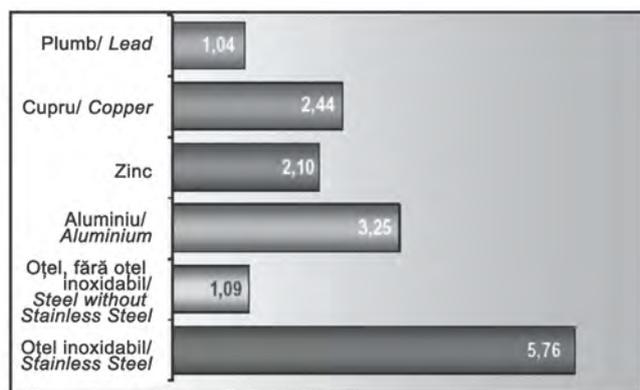
The figure is also influenced by the industrial structure and

Cifrele sunt de asemenea influențate de structura industrială și volumul exporturilor. China, Japonia și Coreea de Sud au de exemplu cele mai mari industrii de construcții navale din lume.

Tabelul 1. Consumul de oțel pe locuitor în 2004

Țara	Consumul pe locuitor [kg]
Taivan	1163,0
Coreea de Sud	985,1
Japonia	629,4
Suedia	551,9
Germania	469,3
Finlanda	451,1
SUA	418,8
Rusia	261,3
China	229,7
Romania	183,6
Brazilia	113,3
India	35,3
<b>Valoare medie în lume</b>	<b>181,4 kg/locuitor</b>

Oțelul inoxidabil are cea mai mare creștere dintre toate materialele metalice, ceea ce demonstrează figura 3.



Furnizată de/ Provided by ISSF

Figura 3. Creșterea anuală compusă a consumului de oțel inoxidabil în perioada 1908-2004/  
Figure 3. Compound annual growth to the stainless steel consumption in 1980 - 2004

Chiar și în ceea ce privește oțelul inoxidabil China va fi în curând cel mai mare consumator din lume. Creșterea anuală în China depășește 10%. Cifra pentru consumul de aluminiu este, de asemenea, foarte mare în China (figura 4)

China va deveni curând, cu siguranță, cel mai mare consumator din lume, ceea ce se poate concluda pe baza consumului scăzut pe locuitor (5,8 kg/locuitor).

### 3. Dezvoltarea metalului depus prin sudare

Cantitatea de metal depus prin sudare este în strânsă corelație cu consumul majorității materialelor metalice în timp ce tipul metalului sudat depus prin procedeele de sudare cu electrozi înveliți (MMA), MIG/MAG, cu sârmă tubulară (FCW) reflectă gradul de mecanizare. Conversia de la electrozii utilizați în procedeul de sudare cu electrozi înveliți la sârmele solide (MIG/MAG) și sârmele tubulare cu miez de flux (FCW) are o tendință de creștere în Europa de Vest, SUA și Japonia (figura 5).

Cantitatea de metal sudat depus în China este de circa

export volumes. China, Japan and South Korea have e.g. the largest shipbuilding industries in the world, which you will see below in a graph.

Table 1. Steel consumption per capita year 2004

Country	Consumption per capita [kg]
Taiwan	1163.0
South Korea	985.1
Japan	629.4
Sweden	551.9
Germany	469.3
Finland	451.1
USA	418.8
Russia	261.3
China	229.7
Romania	183.6
Brazil	113.3
India	35.3
<b>Average value for the world</b>	<b>181.4 kg/capita</b>

Stainless steel has the highest growth of all major metallic materials, which is demonstrated in Figure 3.

Even in stainless steel China will soon be the largest consumer in the world. The annual growth in China exceeds 10%. The figures for aluminium consumption is also very high in China (Figure 4)

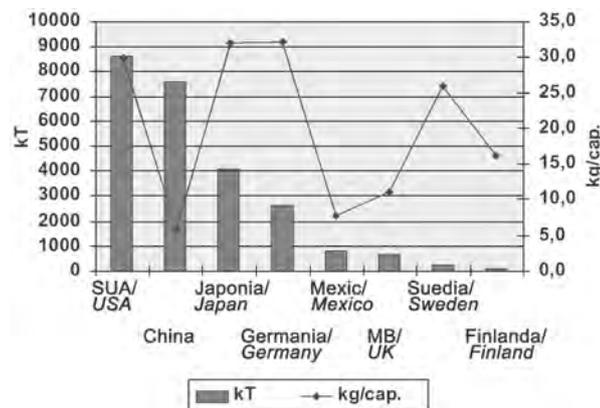


Figura 4. Consumul de Al în kTone și Kg/locuitor în 2004  
Figure 4. Al-consumption in kTons and kg/capita year 2004

China will definitely soon be largest consumer in the world, which can be concluded based on the low consumption per capita (5,8 kg/capita).

### 3. The development of the deposited weld metal

The amount of deposited weld metal is closely correlated to the consumption of major metallic materials while the type of weld metal deposited with MMA, MIG/MAG, FCW and SAW reflects the degree of mechanisation. The conversion from stick electrodes (MMA) to solid (MIG/MAG) and cored wires (FCW) seems to be levelling off in Western Europe, USA and Japan. (Figure 5)

The amount of deposited weld metal in China is about 1,1 Mtons (Figure 6) [1] or more than Japan, USA and Europe

1,1 Mtone (Figura 6) [1] ceea ce este mai mult decât Japonia, SUA și Europa împreună. China consumă mai mult de o treime din consumul total în lume, care înseamnă 2.923 milioane tone.

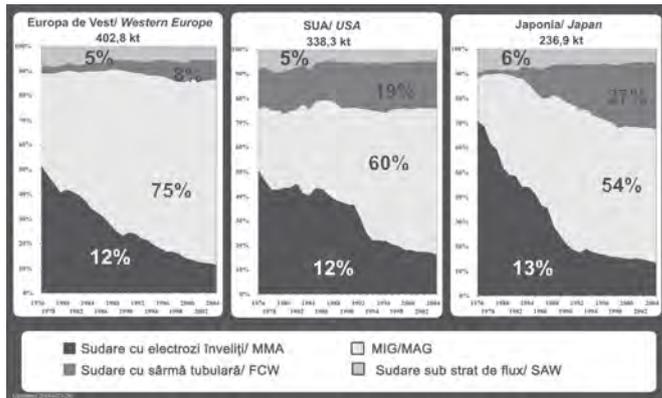


Figura 5. Metal depus prin sudare, 1976 - 2004/  
Figure 5. Weld metal deposited, 1976 - 2004

Cu experiența câștigată din evoluția ratei de conversia în fostele țări Est Europene de la electrozii utilizați pentru sudarea cu electrozi înveliți (MMA) la alte tipuri de consumabile pentru sudare, se va observa cu siguranță în China o rapidă și similară scădere a consumului de electrozi înveliți de la nivelul curent de 62% comparabil cu cifra corespunzătoare 12-13% în Japonia, SUA și Europa.

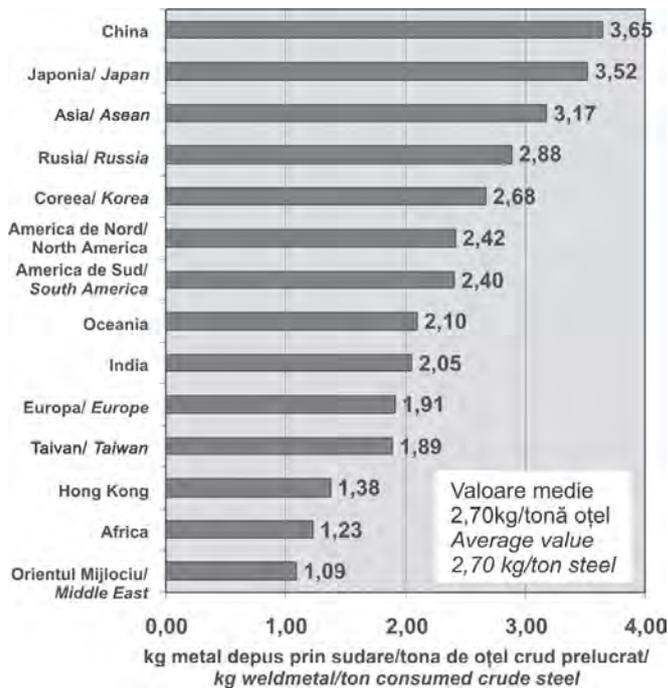


Figura 7. Kg de metal sudat depus pe tona de oțel crud consumat/  
Figure 7. Kg deposited weld metal per ton consumed crude steel

Dacă se analizează cantitatea de metal depus pe tona de oțel (figura 7), este de înțeles faptul ca unii vor începe să se îndoiască de cifrele din statistici.

Cifrele mari pentru China, Japonia și Coreea de Sud sunt parțial influențate de uriașele lor industrii de construcții de nave. Cifrele pot fi explicate, poate, printr-o vânzare mai mare a tablelor de oțel cu grosime mare (> 5 mm) și vânzări mai slabe de table

deposited together. China consumes more than one third of the total number for the world, which amounts to 2,923 million tons.

With the experience of the conversion rate in former East European countries from MMA electrodes to the other types of welding consumables, one will certainly observe in China a fast and a similar decrease in consumption of MMA-electrodes from the current level on 62 % to be compared with the corresponding figure 12-13 % in Japan, USA and Europe.

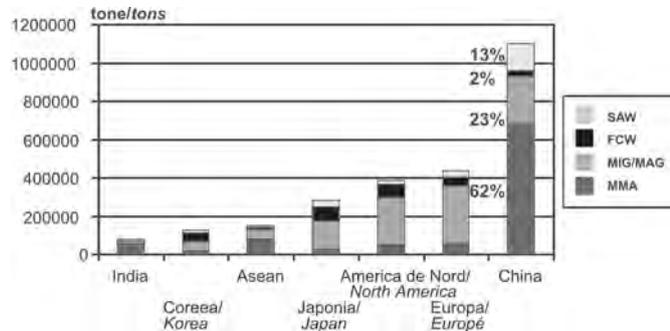


Figura 6. Metal depus prin sudare în 2004/  
Figure 6. Weld metal deposited 2004

When looking into the amount of weld metal per ton crude steel (Figure 7), it is understandable, that one starts doubting the statistical figures.

The high figures for China, Japan and South Korea are partly influenced by their huge shipyard industries. The figures can perhaps be explained by a higher sales of steel plates (>5mm) and lower sales of steel sheets (<5mm) than in countries with lower figure for kg deposited weld metal per ton consumed crude steel.

#### 4. Shipyard industry

The shipyard industry is dominated by Japan, South Korea and China with close to 90 % of all ships built in these three countries (Figure 8)

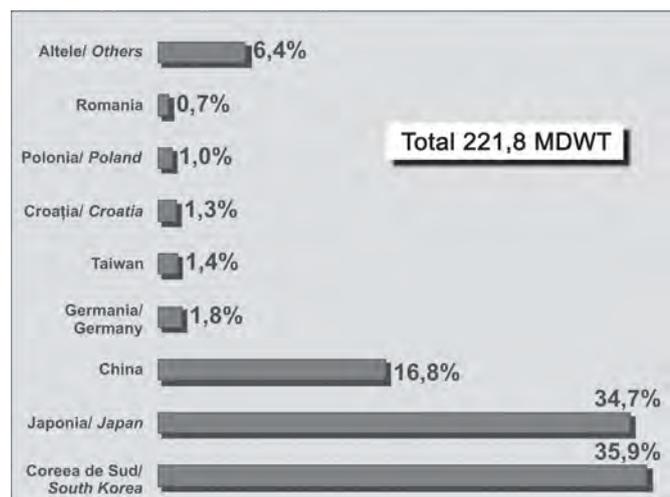


Figura 8. Distribuția totalului de comenzi pentru șantiere navale în decembrie 2005/  
Figure 8. Distribution of the total order book for shipyards in December, 2005

China is committed to become the world largest supplier of ships by investing heavily in new shipyards and upgrading the

subțiri din oțel (< 5 mm) decât în țările cu cifre mai mici pentru kg de metal sudat deus pe tona de oțel consumat.

## 4. Industria constructoare de nave

Industria constructoare de nave este dominată de Japonia, Coreea de Sud și China cu aproape 90% din toate navele construite în aceste trei țări (Figura 8).

China se angajează să devină cel mai mare furnizor de nave din lume prin investiția masivă în noi șantiere navale și prin modernizarea celor existente. Dezvoltarea pieței chineze demonstrează deja angajarea în această competiție. În ultimii doi ani China și-a mărit acțiunile pe piață cu 4 puncte în detrimentul Japoniei și Coreei de Sud.

## 5. Consumul de energie și generarea de putere

Prevederile EXXON privind consumul de energie pe sursa de energie (figura 9) și regiune (figura 10) și de asemenea dezvoltarea parcului de vehicule ușoare (figura 11) arată o creștere foarte mare în Asia și în special în China. Indicii economici ca produsul intern brut și populația sunt cei mai importanți.

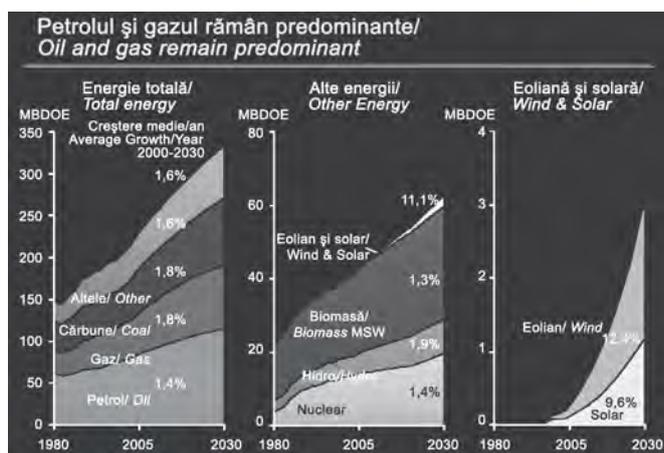


Figura 9. Previțiunea privind consumul de energie pe sursa de energie/  
Figure 9. Forecast of the energy consumption per energy source

În aceste figuri MBDOE înseamnă Milioane de Barili pe Zi de Echivalenți de Petrol

Cererea de energie va crește cu 50% în 2030. 80% din creșterea cererii de energie este prevăzută a fi în țărilor non OECD.

Petrolul, gazul și cărbunele vor rămâne sursele de energie predominante cu aproximativ 80% din energia totală.

În Asia Pacific, cererea de cărbune continuă să crească rapid, în cazul altor tipuri de energie, creșterea este de numai peste 3% pe an. Această creștere va fi întărită de resursele de cărbune masive din Asia Pacific.

În Asia Pacific, totuși, parcul de nave se așteaptă să se mărească de aproape patru ori până în 2030.

Cererea de energie în Asia Pacific și India va forța extragerea gazului, iar volumul extracției petrolului trebuie de asemenea să crească.

Figurile 12 și 13 arată originea resurselor mondiale de gaz și petrol în anul 2004.

Consumul natural de petrol pe locuitor în China este de numai

existing ones. The development of Chinese market share is already now demonstrating the commitment. During the last two years China has increased their market share with 4 points at the sacrifice of Japan and South Korea.

## 5. Energy consumption and power generation

The Exxon forecasts of the energy consumption per energy source (Figure 9) and region (Figure 10) and as well the development of light vehicle fleet (Figure 11) show a very high growth in Asia and specially in China. The economic drivers such as gross domestic product and population are the main ones.

MBDOE stands for Million Barrels per Day of Oil Equivalents

The energy demand will increase 50 % by 2030. 80 % of energy demand growth is forecasted to be in non-OECD.

Oil, gas and coal will remain predominant energy sources with roughly an 80 % share of total energy.

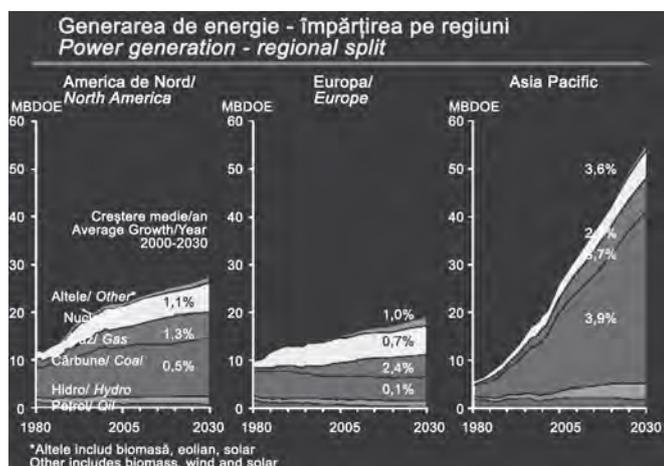


Figura 10. Cărbunele va fi sursa predominantă de energie în Asia Pacific/  
Figure 10. Coal will be the dominating energy source in Asia Pacific

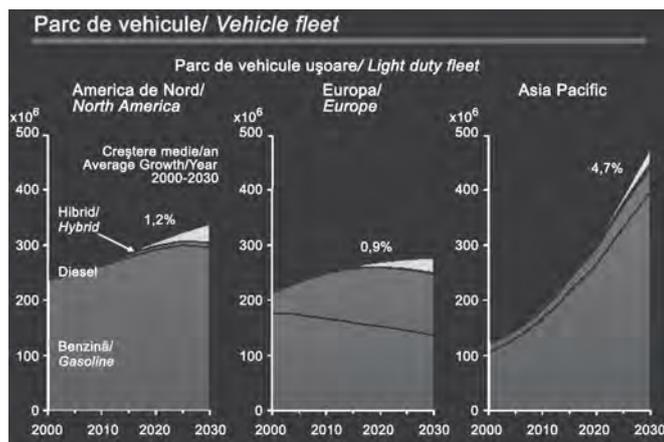


Figura 11. O creștere impresionantă a parcului de vehicule în Asia Pacific/  
Figure 11. An impressive growth of the vehicle fleet in Asia Pacific

In Asia Pacific, coal demand continues to grow rapidly, as with other energy types, at just over 3 % per year. This growth will be reinforced by Asia Pacific's massive coal resources.

In Asia Pacific, however, the fleet is expected to nearly quadruple up to 2030.

2 barili/an, cifra în Marea Britanie este de 10 barili/an, iar în SUA de 25 barili/an.

The energy demand in Asia Pacific and India will force the extraction of gas and oil must be increased.

Rezerve dovedite la finele anului 2004 [trilioane mc]  
Proved reserves at end 2004 [trillion mc]

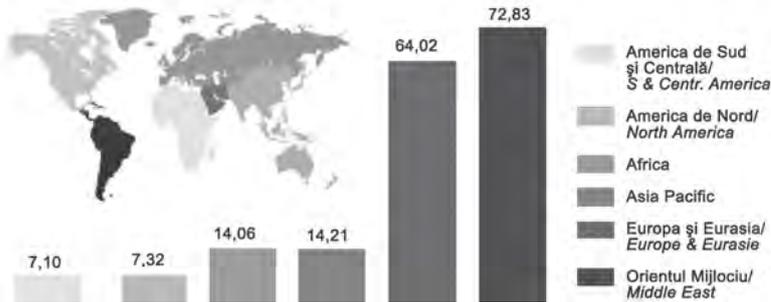


Figura 12. Rezervele mondiale de gaz/  
Figure 12. World gas reserves

Rezerve dovedite la finele anului 2004 [mii de milioane barili]  
Proved reserves at end 2004 [thousand million barrels]

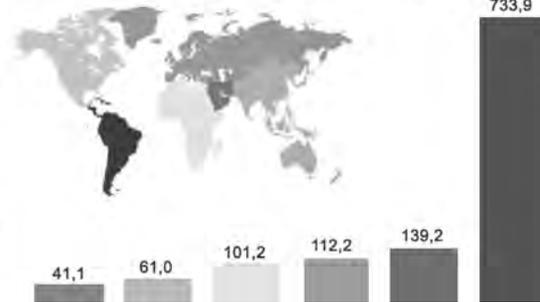


Figura 13. Rezervele mondiale de petrol/  
Figure 13. World oil reserves

## 6. Dezvoltarea procedeelor de îmbinare ?

### 6.1. Sudarea robotizată

Majoritatea operațiilor de sudare vor fi desigur efectuate aproape de piețele majore, dar, de asemenea, se vor muta spre țările cu forța de muncă ieftină cum este China. Fiecare țară, totuși își va apăra, în mod implacabil, locurile de muncă prin introducerea unor procedee mai eficiente. Sudarea robotizată va continua să crească productivitatea și calitatea în domeniul fabricației. Anul trecut vânzarea roboților a crescut cu 10,3%.

Problema a fost faptul că tehnologia curentă nu a permis o manieră eficientă de aplicare a sudării robotizate în domeniul fabricației pieselor de mare complexitate la un volum redus de producție. Într-un proiect EU numit NOMAD [2] această restricție a fost eliminată de:

- Utilizarea simulării fabricației pentru planificarea automatizată a proceselor și monitorizarea sistemelor în timp real;
- Navigarea unui vehicul autonom de transport al robotului (RTV) pentru o poziționare cu acuratețe ridicată a unui braț de robot într-un mediu de fabricație industrială;
- Proiectarea și construcția unui RTV industrial robust cu acuratețea și stabilitatea necesară sarcinilor de sudare;
- Utilizarea unor consumabile pentru sudare special realizate, a procedurilor de sudare și a sistemelor de senzori proiectate pentru a permite sudarea robotizată în toate pozițiile cu un grad de control și o precizie de neegalat de sistemele curente.

Figura 14 ilustrează sistemul dezvoltat.

Sistemul este echipat cu câțiva senzori:

1. Unitate de coliziune a capului de sudare;
2. Senzor de contact pentru căutarea punctelor de pornire și oprire pentru suduri;
3. Senzori cu laser pentru urmărirea rostului;
4. Senzori de arc pentru urmărirea rostului;
5. Sistem cu cameră pentru monitorizarea celulei.

Soluția cu mișcarea sistemului de sudare spre și în jurul piesei de lucru de dimensiuni mari poate deveni un nou concept care să înlocuiască manipularea piesei de lucru pentru a se obține cea mai bună poziție de sudare pentru robot.

### 6.2. Renaștere pentru sudarea cu fascicul de electroni, EB

Datorită interesului pentru sudarea laser și numărului mare de aplicații, procedeul de sudare EB a fost redescoperit și a devenit complementar sudării laser.

Figure 12 and 13 are showing where it will be made.

The current consumption of oil per capita in China is only 2 barrels per year, which figure is 10 barrels in UK and 25 barrels in USA.

## 6. Development of the joining processes ?

### 6.1. Robotic welding

Most of the joining operations will of course be made close to the major markets but also moved to the low-labour-cost countries like China. Every country will; however; relentlessly defend its workload by introducing more efficient processes. Robotic welding will continue to increase the productivity and quality to the fabrication industry. Last year the robot sales increased with 10,3 %.

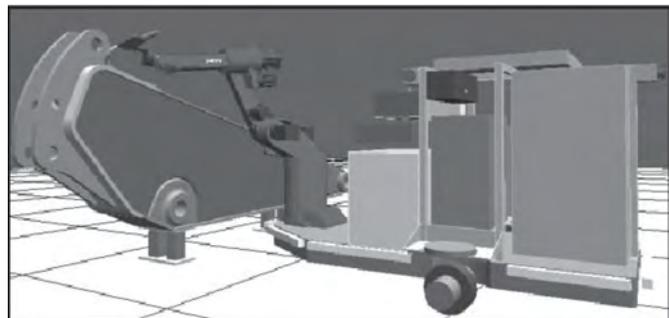


Figura 14. Robot montat pe un RTV pentru sudarea unei structuri mari/  
Figure 14. Robot with all its equipment mounted on a RTV welding a large structure

Figure 14. Robot with all its equipment mounted on a RTV welding a large structure

The problem has been that current technology has not allowed for an efficient manner of applying robotic welding to large-scale, low-volume fabrication. In an EU-project NOMAD [2] this restriction has been eliminated by

- Use of manufacturing simulation for automated process planning and real-time system monitoring
- Autonomous robot transport vehicle (RTV) navigation for high accuracy positioning of a robot arm in an industrial manufacturing environment
- Design and build of an industrially rugged RTV with the accuracy and stability required for welding tasks
- Use of specially developed welding consumables, welding

Anterior fasciculus de electroni a fost considerat ca având multe avantaje în comparație cu procedeele convenționale de sudare cu arc în multe treceri pentru fabricarea structurilor și componentelor de grosime mare (figura 15) [13].

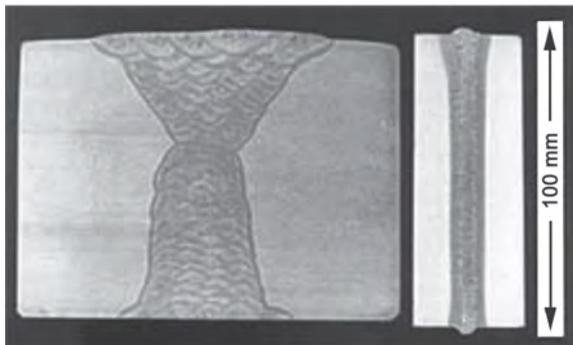


Figura 15. Comparația profilului sudat prin EB la o singură trecere cu cel realizat prin sudarea sub strat de flux.

Îmbinare oțel C-Mn cu grosimea de 100 mm/

Figure 15. Comparison of single pass EB weld profile with multi pass submerged arc welded. Joint in 100 mm thickness C-Mn steel

Productivitatea la sudarea EB a crescut foarte mult prin introducerea câtorva incinte pentru încărcarea și descărcarea pieselor de lucru dintr-o incintă separată care este evacuată înainte ca piesa de lucru să fie transferată într-o incintă de sudare (figura 16).

În ultimul an s-a dezvoltat sudarea EB fără vid și cu presiune redusă. Nu numai secțiunile grele se sudează cu procedeul EB, ci și componentele subțiri pentru industria automobilelor de exemplu o secțiune tubulară din aluminiu se sudează cu sistemul EB fără vid la o viteză de sudare de 12 m/min. Un astfel de sistem este recomandabil când se cer viteze mari de sudare și timpi scurți pentru piese de 1,0 până la 10 mm grosime. Există rezultate care demonstrează că se pot atinge viteze de sudare de 60 m/min și respectiv 45 m/min pentru Al și oțel cu  $t=1$  mm [4].

Aplicațiile procedurii de sudare EB vor crește cu siguranță datorită progreselor tehnologice.

### 6.3. Sudarea hibridă laser

Numărul aplicațiilor de sudare laser și în special de sudare hibridă laser este în creștere accentuată. Procedeul de sudare laser este deja unul standard în industria automobilelor.

Cea mai impresionantă instalație laser este compusă din laseri YAG 150 de 4kW fiecare și unul de 1.0kW care sunt conectați la 250 capete de sudare și tăiere. Pe această linie de sudare a automobilelor GOLF V se sudează și se lipesc cu laser 70m, în timp ce numai 7m sunt sudați prin procedeul de sudare cu arc electric [5].

Prin introducerea procedurii de sudare hibridă laser (figura 17) numărul aplicațiilor posibile în domeniul construcțiilor va crește.

Firma Meyer Shipyard din Germania este prima din lume care are o linie de sudare panou cu 4 laseri fiecare de 12kW pentru sudarea panourilor vaselor cu 20 de rigidizări de 20m lungime. Circa 50% din suduri sunt efectuate prin procedeul hibrid laser MIG.

S-au obținut, în urma încercărilor rezultate foarte promițătoare

proceduri și sisteme de senzori concepute pentru a permite "all positional" robotic welding with a degree of control and dexterity unmatched by current systems.

Figure 14 illustrates the developed system The system is equipped with several sensors

1. Torch collision unit
2. Contact sensor for searching starting and ending points for the welds
3. Laser sensor system for joint tracking
4. Through-the-arc system for joint tracking
5. Camera system for the monitoring the complete station

The solution with the welding system moving to and around the large work piece can become a new concept instead of manipulating the work piece to get the best welding position for the robot.

### 6.2. Renaissance for EB welding

Thanks to the great interest in laser welding and the increased number of applications, the EB welding process has been rediscovered and to be complementary to laser welding.

Earlier the electron beam was judged to have many advantages, when considered alongside more conventional multi-pass arc welding processes for fabrication of heavy section structures and components (Figure 15) [3].

The productivity in EB welding has been drastically increased by introducing several chambers for loading and unloading of work pieces from a separate chamber which is evacuated before the work piece is transferred into the welding chamber (Figure 16).

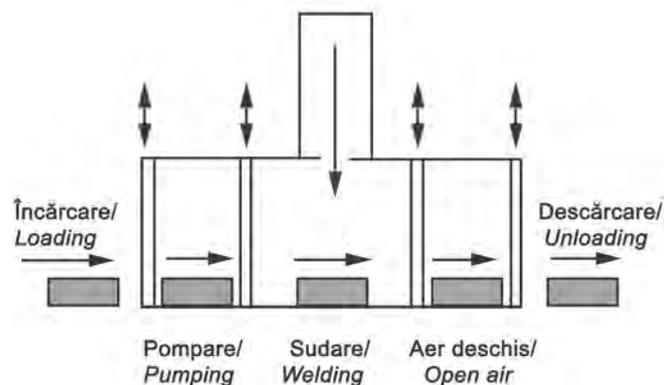


Figura 16. Sistem de sudare EB cu incinte de încărcare și descărcare legate de incinta vidată pentru sudare/ Figure 16. EB welding system with loading and unloading chambers linked to the vacuum chamber for welding

During the last year's out-of-vacuum and reduced pressure EB welding has been developed. Not only heavy sections are EB-welded but thin sheet parts for automotive industry e.g. an Al- hollow section is welded with 12 m/min in Non-Vacuum EB-system. Such a system is most recommendable when high weld speeds and short cycle time are required from 1,0 up to 10 mm in thickness. There are test results showing that welding speeds for Al and steel with  $t=1$ mm are 60 m/min respective 45 m/min possible to achieve [4].

EB welding applications will definitely increase thanks to the progressed technology.

cu fibre laser (Figurile 18 și 19) în cadrul firmei Precitec KG în Germania [6].

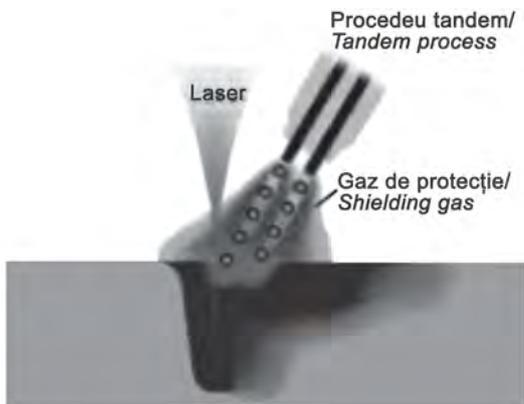


Figura 17. Reprezentarea schematică a cuplării procedeelelor cu fasciculul laser și tandem/

Figure 17. Schematic representation of coupling the laser beam with the Tandem process (Courtesy Fronius)

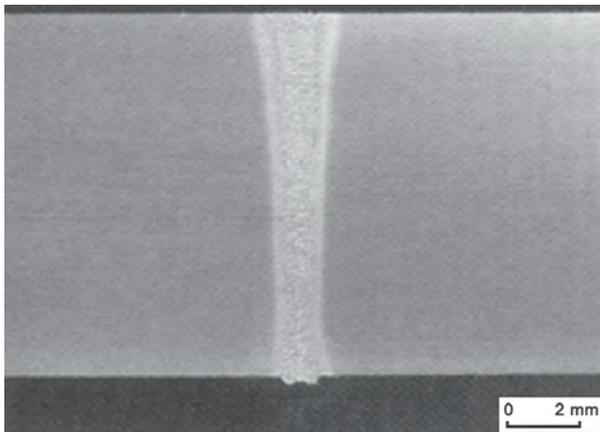


Figura 18. Sudare laser într-o singură trecere, îmbinare cap la cap conductă din oțel X70,  $t = 12\text{mm}$ , putere 10,2kW, viteză de sudare 2,2 m/min/

Figure 18. Laser weld, single pass, butt joint pipeline steel X70,  $t = 12\text{mm}$ , power 10,2 kW Welding speed 2,2 m/min

În prezent costul mare al investiției este obstacolul mare al implementării. Există câteva tipuri de surse de laseri CO<sub>2</sub>-YAG, laser cu diodă directă, laser disc și laser fibră. Mulți experți consideră fibra laser ca având desemnat cel mai mare potențial.

Independent de tipul laserului, creșterea pieței va fi reprezentată de un număr din două cifre, în anii ce vor urma.

#### 6.4. Sudarea prin frecare cu element activ rotitor (FSW)

Procedeele de sudare FSW care a fost inventat în 1991 în cadrul TWI, atrage interesul și multe institute și universități îl cercetează. Acest lucru este reflectat de cele 60 instalații de sudare relizate. Cam același număr lucrează în producție. Compania suedeză SAPA are 7 instalații FSW.

Zona de interes pentru cercetare este ilustrată în figura 20. Până acum rezultatele obținute sunt:

- Suduri liniare pe o singură parte până la 75mm secțiune pe aliaj de aluminiu 8082 T6
- Sudare țevi pe circumferință până la 32 mm pe Al-7000

#### 6.3. Laser hybrid welding

The number of laser welding and especially laser hybrid welding applications are growing fast..

The laser welding process is already a standard in the automotive industry.

The most impressive installation with 150 YAG lasers on 4 kW each and one 1,0 kW at VW are connected to 250 welding and three cutting heads. In this line for GOLF V 70 meters are laser welded and brazed while there are only 7 meters of arc welds per car [5].

With introduction of the laser hybrid process (Figure 17) the possible number of applications for construction will be high.

Meyer Shipyard in Germany is first in the world to have a panel line with 4 lasers each on 12 kW welding ship panels with stiffeners 20 times 20 meter in size. About 50 % of welding seams are made with the Laser Hybrid MIG Process.

Lately very promising test results are realized with fibre lasers (Figure 18 and 19) by Precitec KG in Germany [6].

For the time being the high investment is major hurdle to justify the investment in a laser installation. In addition there are several types of laser sources CO<sub>2</sub>-, YAG-, Direct Diode-, Disc- and Fibre-lasers to choose among. Many experts judge the Fibre laser to have the highest potential.

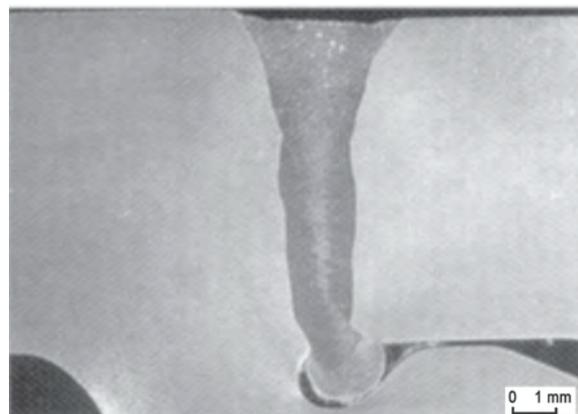


Figura 19. Sudură hibridă laser, într-o singură trecere, îmbinare cap la cap, Al 6008,  $t = 8\text{mm}$  profil extrudat, putere laser 10,5 kW, viteză de sudare 8m/min/

Figure 19. Laser hybrid weld, single pass, butt joint, Al 6008,  $t = 8\text{mm}$  extruded profile Laser power 10,5 kW, Welding speed 8 m/min

Independent of laser type the market growth will be a two digit figure during the coming years.

#### 6.4. Friction stir welding (FSW)

FSW process, which was invented 1991 at TWI, is attracting a lot of interest and hence many institutes and universities are researching in FSW. It is reflected by the 60 FSW installations they have invested in. About the same number (60) is running in regular production. The Swedish Al-company SAPA has 7 FSW installations.

The research area is illustrated in Figure 20.

So far achieved results are

- Single sided linear welds up to 75 mm section in 6082 T6
- Pipe girth welding up to 32 mm in Al-7000
- Run-off tab technology

- Tehnologie robinet de scurgere
  - Oțel t = 6mm sudură de 10m cu v = 100mm/min
  - Epruvete sudate din Inconel 600 și Zircalloy 4.
- Aplicațiile potențiale sunt:

- Steel t = 6 mm welded 10 meter with v = 100 mm/min with one tool in USA
  - Welded samples of Inconel 600 and Zircalloy 4
- The potential applications are e.g.

Rezumat al aplicațiilor FSW cunoscute, subiecte de cercetare/dezvoltare și capabilități demonstrate pentru producerea de suduri cap la cap pe materiale similare cu utilizarea procedurii FSW

*Summary of known applications, subjects of research/development work and demonstrated capabilities for production of butt welds, in similar materials, by FSW*

- Legendă/ Key**
- P** Zona producției în care FSW este utilizat în mod curent / Area of current FSW production use
  - R** Zona de cercetare curentă a procedurii FSW / Area of current FSW research
  - D** Zona în care s-a demonstrat procedeul FSW / Area where FSW has been demonstrated

Material	Grosime epruvete/ Sample thickness						
	< 1mm	1-4mm	4-8mm	8-12mm	≤ 25mm	≤ 50mm	≤ 75mm
Al pur/ pure		D	D				
Al – 2xxx series		P	P	P	R	R	
Al – 5xxx series	R	P	P	P	P	R	R
Al – 6xxx series	R	P	P	P	P	R	R
Al – 7xxx series		P	P	P	R	R	
Al – turnat/ castings		R	R	R	R		
Mg – AM series		R	R	D			
MG – AZ series		R	R	D			
Cu pur/ pure	D	D	R	R	D	R	
Cu alamă/ brasses		D	D	D			
Ti pur/pure		D	R	D			
Aliaje Ti – a – b/ Ti – a – b alloys		R	R	D			
Ni pur/pure		R	R				
Oțeluri moi/ Steels-mild		D	D				
Oțeluri C-Mn/ Steels C-Mn		R	R	R	D		
Oțeluri inoxidabile/ Steels Stainless		R	R	R			
Pb pur/ pure		D	D				
Zn pur/ pure	D	D					

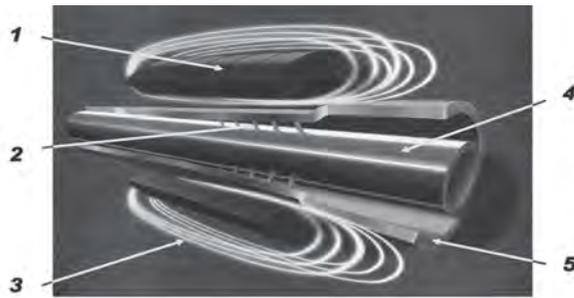
Figura 20. Diagrama aplicațiilor procedurii FSW/ Figure 20. FSW capabilities chart

- Suduri liniare pe o singură parte până la 100mm secțiune
- Suduri liniare pe ambele părți până la 200mm
- Energie de sudare mai scăzută/productivitate ridicată la sudarea pe ambele părți
- Tehnologie a sculei reglabile
- Sudare 3D cu roboți
- Dezvoltarea în continuare a uneltelor pentru sudare la temperatură ridicată.

Merită desigur să se urmărească dezvoltarea rapidă a procedurii FSW.

## 6.5. Tehnologia cu impuls magnetic

Procedeeul se poate utiliza pentru sudare, bordurare, perforare, formare și calibrare (Figura 21) [7].



- 1) Bobină (curentul este descărcat prin bobină)/  
Coil (a current is discharged through the coil)
- 2) Presiune magnetică (tuburile sunt îndepărtate de bobină cu o viteză fantastică)/  
Magnetic pressure (tubes are moved away from the coil at a tremendously speed)
- 3) Câmp magnetic (se resping reciproc)/  
Magnetic field (repel each other powerfully)
- 4) Tub interior/ Inner tube
- 5) Tub exterior/ Outer tube

Figura 21. Tehnologia în impuls magnetic/  
Figure 21. Magnetic Pulse Technology

Procedeeul a atras un deosebit interes, atunci când a fost demonstrat la expoziția de la Essen în 2001, dar spre surpriza a prea multor oameni procedeeul nu s-a lansat probabil datorită eforturilor slabe ale marketingului și/ costului mare al investiției. Procedeeul oferă, totuși, multe avantaje și anume:

- Proces la rece
- Sudarea în mai puțin de 100ms
- Fără material de adaos
- Fără gaz de protecție
- Fără proces de contact
- Un proces ecologic
- Sudează materialele nesudabile în mod convențional, cum ar fi Al – 7075.

Procedeeul de sudare în impuls magnetic se pretează, în primul rând, pentru producția de serie pentru a justifica costul ridicat al bobinei electrice, care înconjoară piesa de lucru. Nu este necesar ca piesele să fie circulare. Piesele pătrate pot fi, de asemenea, sudate cu bobina proiectată în acest sens.

Procedeeul de sudare în impuls magnetic are aplicații potențiale care vor fi mai curând sau mai târziu introduse pe scară largă.

## 7. Compozitele

Materialele avansate cum sunt compozitele constituie o provocare pentru supremația de care se bucură metalele.

În industria aerospațială se observă schimbări drastice în ceea

- Single sided linear welds up to 100 mm section
- Double sided linear welds up to 200 mm section
- Lower heat input/higher productivity double sided welding
- Adjustable pin technology
- 3D welding with robots
- Further development of tooling for high temperature welding.

It will definitely be worthwhile to follow the fast development of the FSW process.

## 6.5. The magnetic pulse technology

The process can be used for welding, crimping, punching, forming and for calibration (Figure 21) [7].

The welding process attracted very high interest, when it was demonstrated at the Essen Show 2001 but to many people's surprise the process has never taken off probably due low marketing efforts and/or to high investment cost. The process offers, however, many advantages like

- Cold process
- Welding in less than 100  $\mu$ s
- No filler material
- No shielding gases
- Non-contact process
- A "green" process
- Welds conventionally unweldable materials such as Al-7075.

MPW is first of all suitable for large batch production to justify the high cost for electrical coil, which is surrounding the work piece. It is not necessary that the parts are circular. Square parts can also be welded with the purpose designed coil.

MPW has such potential applications that it will sooner or later be introduced in a wider scale.

## 7. Composites

Advance materials as composites are challenging the supremacy the metals are enjoying.

In the aircraft industry we are noticing drastic changes in use of materials. The share of aluminium on an aircraft has fallen from 70 % in the Boeing 777, the previous commercial jet launched, to just 20 % on Boeing 787, which will be put in service 2008. Airbus is planning a similar switch from aluminium to composites [8].

The main reason for doing this is to get the aircraft more fuel-efficient and cheaper to run.

Representatives from the aerospace and aircraft industries are stating [9]:

- **Joining** in the commercial aircraft industry will continue to be a technology area that can make a major contribution to the industry but
- **Materials technology** is moving fast and the associated processes must evolve with it
- **Metal joining** remains a challenge but alternative materials can offer significant potential as composites, ceramics and thermoplastics
- **Key technology area** - Joining of dissimilar materials

The market for composites including fibreglass has an annual growth of 5,5 % in the world.

The Asian market is very vibrant and growing with 9,9 % p.a. The total market is forecasted to be more than £24 billion

ce privește utilizarea materialelor. Ponderea aluminiului în industria aerospațială a scăzut de la 70% la Boeing 777, la numai 20% la Boeing 787 ce se va utiliza în traficul aerian în 2008. O trecere similară de la aluminiu la compozite este, de asemenea planificată la Airbus[8].

Motivul principal pentru aceasta este să se obțină avioane mai eficiente din punct de vedere al consumului de combustibil și mai ieftine în exploatare.

Reprezentative în industria aerospațială și aeronautică sunt [9]:

- **Îmbinarea** în industria aeronautică va continua să fie un domeniu al tehnologiei care poate avea o contribuție majoră în industrie, dar...
- **Tehnologia materialelor** se mișcă rapid și procesele asociate trebuie să evolueze odată cu ele.
- **Îmbinarea metalului** rămâne o provocare, dar materialele alternative pot oferi potențial semnificativ și anume compozitele, ceramicele și termoplasticele.
- **Zonele cheie ale tehnologiei** - Îmbinarea materialelor disimulare.

Piața compozitelor incluzând fibrele de sticlă are o creștere anuală de 5,5% în lume.

Piața asiatică vibrează puternic și crește cu 9,9% pe an. Piața totală este prevăzută a fi mai mare de 24 miliarde £ în 2010.

Piața uriașă acoperă aplicații în domeniul rezervoarelor și conductelor, care funcționează în medii agresive pentru stocarea și transportul materialelor corozive. Costul total al coroziunii metalice în SUA, numai, este estimat la 280 miliarde \$.

China este astăzi pe locul al doilea în lume, dar foarte curând va depăși liderul actual de piață, SUA.

## 8. Concluzii

Informațiile de mai sus pot fi rezumate după cum urmează:

- Oțelul va rămâne materialul dominant; China utilizând mai mult de 28% din consumul mondial de oțel.
- Oțelul inoxidabil va avea cea mai mare creștere, 5,5% pe an.
- Creșterea consumului de aluminiu 3,3% pe an se poate schimba repede prin utilizarea mai mult a aluminiului în industria automobilelor, ceea ce este de așteptat.
- Materialele compozite vor fi o provocare pentru utilizarea aluminiului în construcția avioanelor și în aplicații pentru medii corozive.
- Îmbinarea materialelor disimulare și compozite va cere multă muncă de cercetare și dezvoltare.
- Sudarea robotizată va continua să conducă la creșterea productivității, calității și mediului.
- Procedeele cu fascicul de putere, laser, hibrid laser și sudarea cu fascicul de electroni se vor utiliza mai mult.
- Procedeele de sudare prin frecare cu element activ rotitor va avea cu siguranță mai multe aplicații ca rezultat al cercetării și dezvoltării continue.
- Sudarea în impuls magnetic are un mare potențial de a fi introdusă în producția de serie a pieselor mici.
- Țările care au forța de muncă scumpă sunt forțate să-și mărească productivitatea pentru a-și apăra locurile de muncă prin introducerea de procedee de îmbinare mai eficiente.

Lucrare prezentată la "Primul Congres IIW sud-est european de sudare", Timișoara, mai 2006

year 2010.

The huge market is covering applications in tanks and pipes, which are working in harsh environments for storing and transporting corrosive materials. The total cost of metallic corrosion in the US alone is estimated at \$280 billion.

China is today number two in this area but it will soon overtake the current market leader USA.

## 8. Conclusions

The above information can briefly be summarized as follows:

- Steel will remain the dominating material with China using more than 28 % of the world consumption of crude steel.
- Stainless steel is forecasted to continue having the largest growth 5,5 % p.a.
- Aluminium consumption growth 3,3 % p.a. can change fast when aluminium is used more in the automobiles, which is expected.
- Composite materials will be challenging aluminium in the airplanes and in corrosive environment applications
- Joining of dissimilar materials and composites will require much R&D.
- Robotic welding will continue growing to increase productivity, quality and environment.
- The power beam processes; laser, laser hybrid and EB welding, will be more used.
- The FSW process will certainly have many more applications as a result of the heavy ongoing R&D
- MPW has a great potential to be introduced in large batch production of small parts.
- The high labour cost countries are relentlessly forced to increase their productivity to defend their workload by introducing more efficient joining processes.

## Bibliografie/ References

- [1] xxx: Worldwide demand for welding consumables, The Japan Welding News for the World, Autumn Issue 2005, Vol.9, No33.
- [2] xxx: Autonomous Manufacture of Large Steel Fabrications, Final technical report for the EU-project Nomad GRD1-2000-25970
- [3] Chris Punshon și Colin Ribton: Reduced pressure electron beam welding for high productivity in thick section materials, IIW Doc IV-862-04
- [4] Prof.Dr.-Ing U. Diltthey și Dipl.-Ing H. Masny: Non-Vacuum Elektron Beam Welding, ISF-Welding Institute, RWTH – Aachen University
- [5] David A.Belforte: VW – driven to lead, Industrial Laser Solutions, May 2004
- [6] xxx: New horizons in laser welding, Industrial Laser Solutions, April 2005 pages 5-6
- [7] www.pulsar.co.il, MP-Weld™-Magnetic Pulse Technology
- [8] xxx: Carbon fibre composites are posing a threat in the air, Financial Times Wednesday, November 2, 2005
- [9] Paul Chivers: Technology application to future Airbus wings, The Richard Dolby Conference 17 – 18 November 2003

Paper presented at The 1<sup>st</sup> IIW South-East European Welding Congress, Timisoara, May 2006

