

# Cercetarea procesului de sudare prin frecare cu element activ rotitor reflectată în dinamica publicațiilor și brevetelor de invenție pe plan mondial

## Research on friction stir welding processes reflected in the dynamics of publications and patents at world level

Lia Boțilă, Radu Cojocaru, Dorin Dehelean

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale - ISIM Timișoara

### Cuvinte cheie

Sudare prin frecare cu element activ rotitor, dezvoltare procedeu, publicație, brevet de invenție

### 1. Introducere

Procedeul de sudare prin frecare cu element activ rotitor (Friction Stir Welding, prescurtat în continuare FSW), este de mare interes la ora actuală, fiind considerat un punct de referință în dezvoltarea tehnologiilor de îmbinare, precum și al concepției și execuției structurilor sudate complexe.

Procedeul FSW a cunoscut o evoluție rapidă, prin acordarea unui interes deosebit în lumea științifică, captând, deopotrivă, atenția celor mai prestigioase centre de cercetare din lume, precum și a unor companii industriale de renume din sectoare de vârf ca aerospațial sau transport terestru.

Lucrarea reprezintă o actualizare a informațiilor prezentate la Conferința Internațională “Tehnologii Inovative pentru Îmbinarea Materialelor Avansate” din 7-8.06.2007, privind dinamica publicațiilor și brevetelor de invenție pe plan mondial, în domeniul sudării FSW.

Este realizată o analiză privind dezvoltarea procedurii de sudare FSW, având la bază lucrări științifice prezentate la simpozioane, conferințe, seminarii, publicații, documente din baza de date a Institutului Internațional de Sudură IIW, informații privind brevetele de invenție din bazele de date ale The Welding Institute (TWI), Oficiului de Stat pentru Invenții și Mărci (OSIM), European Patent Office (EPO), World Intellectual Property Organisation (WIPO), United States Patent and Trademark Office (USPTO).

### 2. Manifestări științifice și publicații internaționale

Interesul pentru procedeul de sudare FSW este reflectat prin numărul mare de lucrări, articole, conferințe și brevete de invenție apărute pe plan mondial.

Majoritatea conferințelor organizate pe plan mondial, care au ca problematică sudura, au și secțiuni dedicate procedurii de sudare prin frecare cu element activ rotitor, dar există și manifestări științifice internaționale dedicate, care se ocupă exclusiv de procedeul de sudare FSW.

În organizarea TWI s-au desfășurat în perioada 1999-2008, șapte simpozioane dedicate procedurii FSW:

### Keywords

Friction stir welding, process development, publications, patents

### 1. Introduction

The friction stir welding process presents, nowadays, a great interest and is considered a base point for the development of joining technologies, conception and realisation of complex welded structures.

The FSW process has a quick evolution and a special interest in the scientific world, in the most renowned research centres of the world, as well as in some of important industrial companies from the top areas such as aeronautics and land transportation.

The paper consists in updated information presented at the International Conference “Innovative Technologies for Joining Advanced Materials” 7-8.06.2007, about the dynamics of publications and FSW patents at world level.

An analysis was realised on FSW development, based on scientific papers presented at symposia, conferences, seminars, publications, documents from the International Institute of Welding (IIW) database, information about patents from The Welding Institute (TWI) database, State Office for Inventions and Trademarks (OSIM), European Patent Office (EPO), World Intellectual Property Organisation (WIPO), United States Patent and Trademark Office (USPTO).

### 2. Scientific events and international publications

The interest for the FSW procedure is reflected in a great number of papers, articles, conferences and patents at world level.

The majority of international conferences having welding as topic contain sections dedicated to the FSW process, but there are also scientific international events dedicated exclusively to this process.

In 1999-2008 seven dedicated FSW symposia were organized by TWI:

1999 1<sup>st</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 14-16 June 1999, Rockwell Science Centre, Thousand Oaks, California, USA

- 1999 1<sup>st</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 14-16 June 1999, Rockwell Science Center, Thousand Oaks, California, USA
- 2000 2<sup>nd</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 26-28 June 2000, Gothenburg, Sweden
- 2001 3<sup>rd</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 27-28 September 2001, Kobe Exhibition Hall, Port Island, Kobe, Japan
- 2003 4<sup>th</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 14-16 May 2003, Prospector Lodge, Park City, Utah, USA
- 2004 5<sup>th</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 14-16 September 2004, Metz, France
- 2006 6<sup>th</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 10-13 October 2006, Montreal, Canada
- 2008 7<sup>th</sup> International Friction Stir Welding Symposium, 20-22 May 2008, Awaji Island, Japan

De asemenea la GKSS Geesthacht Germania și TU Graz Austria au fost organizate manifestări științifice dedicate procedurii de sudare FSW și prezentate lucrări care au abordat aspecte privind vizualizarea și modelarea curgerii la procedeul de sudare FSW, punându-se accent pe echipamente de sudare și aplicații industriale.

Lucrări științifice în domeniul FSW au fost prezentate și în România cu ocazia unor manifestări științifice naționale sau internaționale (de ex. Primul Congres IIW de sudare sud-est european din 2006, Conferințele organizate de ASR în 2005-2007, Conferințele Internaționale “Tehnologii inovative pentru îmbinarea materialelor avansate”, organizate de ISIM în 2007 și 2008, trei seminarii dedicate FSW organizate în cadrul unui program CEEX în 2006, 2007, 2008).

În figura 1 este prezentată grafic evoluția în timp a numărului de lucrări științifice prezentate la simpoziioanele și seminariile dedicate procedurii de sudare FSW.

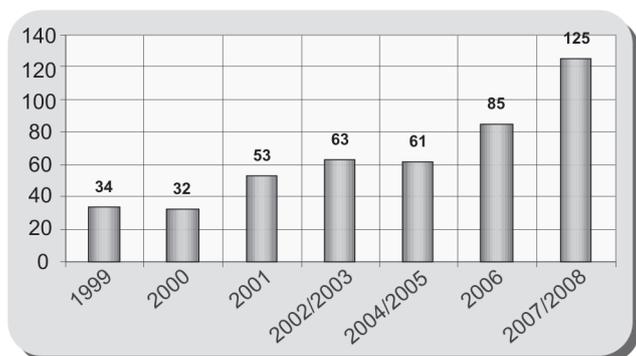


Figura 1. Evoluția în timp a numărului de lucrări științifice prezentate la simpoziioanele și seminariile dedicate în exclusivitate procedurii de sudare FSW/

Figure 1. The in time evolution of scientific papers presented at symposia and seminars exclusively dedicated to FSW

Lucrările prezentate la manifestările științifice FSW menționate anterior au fost grupate pe mai multe secțiuni. Din graficul prezentat în figura 2 se observă că ponderea cea mai mare (22%-Figura 2a) o au lucrările care au abordat aspecte privind dezvoltarea procedurii de sudare FSW, echipamente și unelte de sudare.

De asemenea abordarea modelării procesului de sudare se regăsește în 18% (Figura 2c) din numărul lucrărilor prezentate în cadrul manifestărilor dedicate procedurii FSW. Un procent de aproximativ 18% (Figura 2f) este reprezentat de lucrările

- 2000 2<sup>nd</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 26-28 June 2000, Gothenburg, Sweden
- 2001 3<sup>rd</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 27-28 September 2001, Kobe Exhibition Hall, Port Island, Kobe, Japan
- 2003 4<sup>th</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 14-16 May 2003, Prospector Lodge, Park City, Utah, USA
- 2004 5<sup>th</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 14-16 September 2004, Metz, France
- 2006 6<sup>th</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, 10-13 October 2006, Montreal, Canada
- 2008 7<sup>th</sup> International Friction Stir Welding Symposium, 20-22 May 2008, Awaji Island, Japan

Also, at GKSS Geesthacht Germany and TU Graz Austria scientific events dedicated exclusively to the FSW were organized and papers were presented on visualisation and flow modelling, especially on welding equipments and industrial applications.

Scientific papers in the FSW field were presented, in Romania, at national or international scientific events (for ex. The 1st South-East European IIW Welding Congress in 2006, ASR International Conferences in 2005-2007, International Conferences “Innovative Technologies for Joining Advanced Materials” organized by ISIM in 2007-2008, three dedicated FSW seminars organized inside a CEEX programme in 2006, 2007 and 2008).

Figure 1 graphically presents an in time evolution of scientific papers, which have been presented at symposia and seminars exclusively dedicated to FSW.

Papers presented at previous FSW scientific events were grouped on more sections. The diagram, Figure 2, shows that the biggest percent (22%-Figure 2a) belongs to papers related to the FSW development, equipment and welding tools.

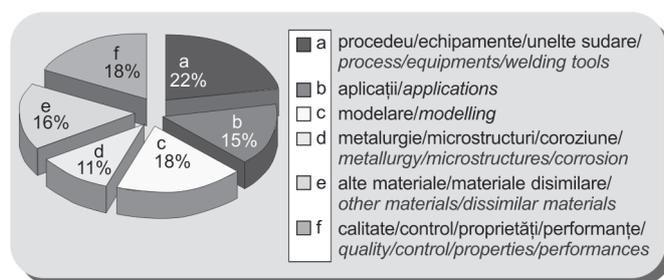


Figura 2. Variația numărului de lucrări, la manifestări dedicate, în funcție de aspectele abordate/

Figure 2. Variation of the number of papers, dedicated to scientific events, according to the aspects approached

The approach of welding process modelling is to be found in 18% (Figure 2c) of the presented papers within events dedicated to the FSW. A percentage of about 18% (Figure 2f) is represented by papers on aspects related to properties, performances control and quality of FSW welded joints.

The FSW process used for other materials than aluminium and aluminium alloys and dissimilar materials was approached in 16% of papers (Figure 2e). Papers related to real applications of the FSW and those regarding the metallurgical aspects when welding as well as the microstructures obtained represent 15% (Figure 2b), respectively 11% (Figure 2d) of the total number of presented papers.

The friction stir welding process makes the topic approached

care abordează aspecte privind proprietățile, performanțele, controlul și calitatea îmbinărilor sudate FSW. Sudarea prin procedeul FSW a altor materiale decât aluminiu sau aliaje de aluminiu și a materialelor disimilare este abordată în 16% din lucrări, (Figura 2e). Lucrările referitoare la aplicații concrete ale procedeului FSW și cele privind aspectele metalurgice la sudare și microstructurile obținute constituie 15% (Figura 2b), respectiv 11% (Figura 2d) din numărul total de lucrări prezentate.

Procedeul de sudare prin frecare cu element activ rotitor constituie o tematică abordată în cadrul multor manifestări științifice internaționale.

Pe lângă lucrările prezentate la conferințele dedicate exclusiv procedeului FSW, au fost identificate până în prezent un număr de 654 de lucrări științifice și articole în domeniul FSW, care au fost prezentate la 80 de manifestări științifice internaționale, respectiv publicate în 92 de reviste de specialitate din întreaga lume, în perioada 2001-2008 (figura 3). Dinamica acestora în ceea ce privește problematica tratată este prezentată în figura 4.

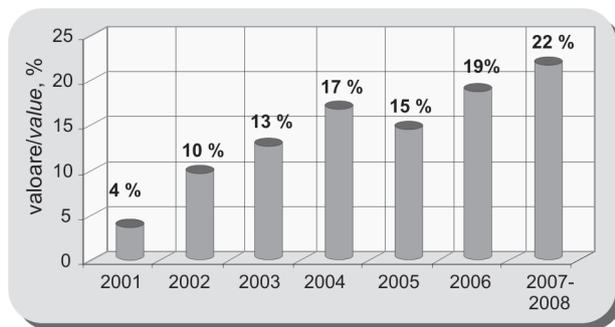


Figura 3. Variația numărului de lucrări prezentate la conferințe și articole publicate în reviste de specialitate/  
Figure 3. Variation of the number of papers presented at conferences and articles published in technical journals

Din graficul prezentat în figura 4 se observă că numărul cel mai mare de lucrări (26%) abordează aspecte privind proprietățile, performanțele, controlul și calitatea îmbinărilor sudate. De asemenea o atenție deosebită se acordă dezvoltării în continuare a procedeului de sudare prin frecare cu element activ rotitor, a echipamentelor și uneltelor de sudare specifice (23%), precum și aplicării procedeului de sudare FSW la alte materiale decât Al și materiale disimilare (16%).

Conform datelor existente până acum, în Europa, manifestările științifice internaționale (figura 5) și revistele de specialitate (figura 6) care au abordat tematica FSW au ponderea cea mai mare.

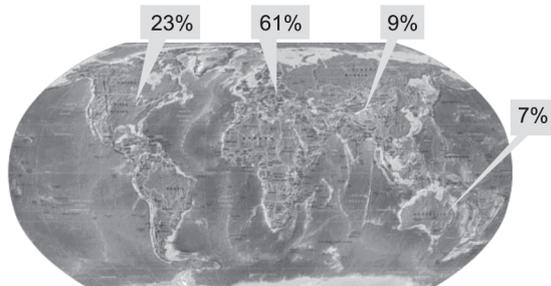


Figura 5. Repartizarea pe zone geografice a manifestărilor științifice/  
Figure 5. Geographical distribution of scientific events

Un număr important de articole referitoare la FSW se regăsesc în Welding International, Science and Technology of Welding

within many international scientific actions. Besides the papers presented in conferences dedicated exclusively to the FSW process there were identified, at present, 654 scientific papers and articles

in the field of FSW presented at 80 international scientific events, published in 92 technical journals all over the world, in the period 2001-2008 (Figure 3).

Their dynamics as regards the topic dealt with is presented in Figure 4.

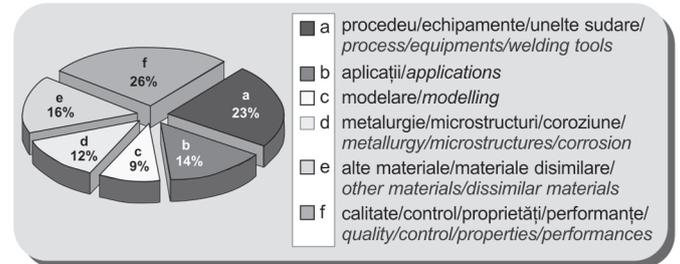


Figura 4. Variația numărului de lucrări, în reviste de specialitate, în funcție de aspectele abordate/  
Figure 4. Variation of the number of papers in technical journals, depending on the aspects approached

The diagram presented above shows that the greatest number of papers (26%) approached aspects on properties, performances, control and quality of welded joints. Also, a special attention was given to the further development of the friction stir welding, of specific equipment and welding tools (23%), as well as to the application of the FSW process for other materials than Al and dissimilar materials (16%).

According to existent data, in Europe, the international scientific events (Figure 5) and technical journals that approached the FSW topic have considerable weight.

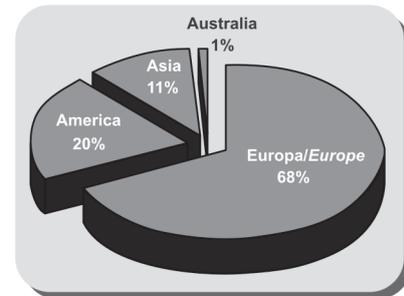


Figura 6. Repartizarea geografică a publicațiilor/  
Figure 6. Geographical distribution of publications

An important number of articles referring to FSW are to be found in Welding International, Science and Technology of Welding and Joining, Welding Journal, Welding in the World, Journal of Light Metal Welding and Construction, Materials Science and Technology, Scripta Materialia.

### 3. IIW documents

The FSW topic is also a subject of interest for the International Institute of Welding (IIW), Commission III, "Resistance welding, solid state welding and allied joining processes" that, on the occasion of the International Conferences of the International Institute of Welding (IIW), organizes specific actions (for example International Conference

and Joining, Welding Journal, Welding in the World, Journal of Light Metal Welding and Construction, Materials Science and Technology, Scripta Materialia.

### 3. Documente IIW

În același timp tematica FSW se află în atenția Institutului Internațional de Sudură (IIW), Comisia III, "Resistance welding, solid state welding and allied joining processes" care cu ocazia Conferințelor Internaționale ale Institutului Internațional de Sudură IIW, organizează acțiuni specifice (de ex. International Conference "Safety and Reliability of Welded Components in Energy and Processing Industry", 10-11 July 2008, Graz).

Au fost identificate 93 de documente IIW, elaborate în perioada 2004-2008, în cadrul Comisiei III, privind procedeul de sudare FSW, în figura 7 fiind prezentate procentual direcțiile abordate în domeniul FSW. Acestea au abordat în mare măsură aspecte legate de calitatea, controlul, proprietățile și performanțele îmbinărilor sudate prin procedeul FSW, o parte dintre acestea au fost publicate în revista Welding in the World.

### 4. Brevete de invenție

În ceea ce privește brevetele de invenție cu referire la procedeul de sudare FSW, până în luna iunie 2008, au fost identificate cca. 2000 brevete. În perioada 1993-1996 sunt menționate doar 7 brevete de invenție, urmând ca începând cu perioada 1997-2000 numărul acestora să crească foarte mult. Din graficul prezentat în figura 8 se remarcă faptul că numărul brevetelor de invenție în domeniul FSW este în creștere continuă, în perioada 2004-2008 fiind semnalate cele mai multe brevete de invenție.

Printre titularii cu cele mai multe brevete de invenție se numără companii de referință ca Hitachi (513 brevete), Boeing (136 brevete), Showa AI Corporation (161 brevete), Kawasaki Heavy Industries KHI (115 brevete), Honda (100), Mitsubishi Heavy Industries (81), Mazda (85). Printre companiile importante în Europa, deținătoare de brevete în domeniul FSW, se află TWI-Anglia, GKSS-Germania, ESAB Suedia, EADS -Germania, SAPA - Suedia, Siemens-Germania, Norsk Hydro-Norvegia. În SUA compania Boeing deține cele mai multe brevete (136) în domeniul FSW, urmată de alte companii importante: Lockheed Martin Corporation, Megastir, Alcoa, Tower Auto, General Electric, NASA, Brigham Young University, Eclipse Aviation.

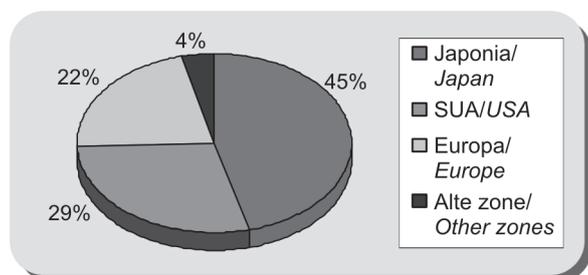


Figura 9. Răspândirea pe zone geografice a companiilor deținătoare de brevete în domeniul FSW/  
Figure 9. Geographical distribution of companies having FSW patents

În ceea ce privește distribuția pe zone geografice, (figura 9), din cele peste 130 de companii din lume care dețin brevete în

"Safety and Reliability of Welded Components in Energy and Processing Industry", 10-11 July 2008, Graz).

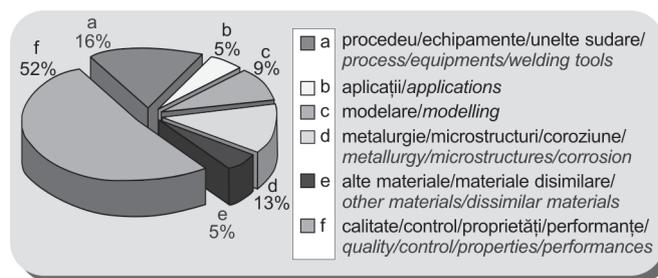


Figura 7. Ponderea direcțiilor abordate în documentele IIW/  
Figure 7. The weight of trends approached in the IIW documents

93 IIW documents have been identified, and elaborated in the period 2004-2008, within Commission III, related to the FSW process. Figure 7 presents the approached trends in the FSW field, in percentages. The aspects approached refer to the quality, control, properties and performances of the FSW welded joints, some of them being published in the IIW journal Welding in the World.

### 4. Patents

As regards the patents related to the FSW process about 2000 patents have been found until June 2008. In the period 1993-1996 only 7 patents are mentioned, but starting with the period 1997-2000 their number increased very much. In the diagram presented in Figure 8 it can be noticed that the number of invention patents in the field of FSW is in progress the most patents being found. in the period 2004-2008.

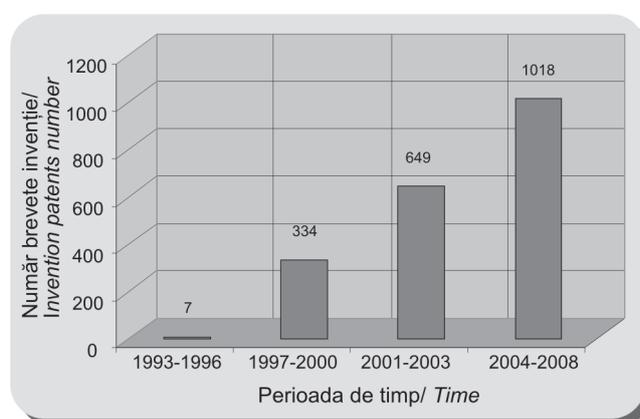


Figura 8. Evoluția numărului de brevete FSW în timp/  
Figure 8. The in time evolution of FSW patent numbers

Among those having the greatest number of inventions are reference companies such as Hitachi (513 patents), Boeing (136 patents), Showa AI Corporation (161 patents), Kawasaki Heavy Industries KHI (115 patents), Honda (100 patents), Mitsubishi Heavy Industries (81 patents), Mazda (85 patents). The most important companies in Europe owing patents in the field of FSW are TWI-Great Britain, GKSS-Germany, ESAB Sweden, EADS -Germany, SAPA - Sweden, Siemens-Germany, Norsk Hydro-Norway. In the USA the Boeing company has the greatest number of patents (136) in the field of FSW followed by other important companies: Lockheed Martin Corporation, Megastir, Alcoa, Tower Auto,

domeniul FSW, cele mai multe sunt companiile japoneze (61), fiind urmate de SUA (38) și Europa (29).

Numărul de brevete în domeniul FSW deținute, pe zone geografice, respectă același clasament cu cel al companiilor dar proporțiile sunt diferite, figura 10.

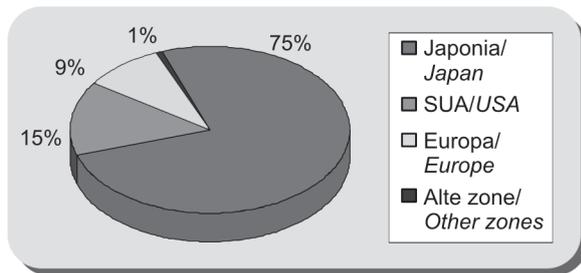


Figura 10. Răspândirea pe zone geografice a numărului de brevete în domeniul FSW/

Figure 10. Geographical distribution of the patent number in the field of FSW

Se constată că deși companiile japoneze reprezintă 45% din totalul deținătorilor de brevete în domeniul FSW, numărul efectiv de brevete al acestora reprezintă 75% din totalul de cca. 1800 de brevete existente.

Cele mai multe brevete de invenție se referă la dezvoltarea procedurii FSW, tehnologii, echipamente, unelte de sudare și aplicații industriale.

Detalii privind informațiile prezentate anterior sunt cuprinse într-o bază de date, construită la ISIM, care permite accesarea pe baza unor cuvinte cheie, denumirea manifestării științifice sau publicația, anul prezentării sau publicării lucrării științifice, zona geografică, tipuri de materiale sudate, grosimi de materiale sudate, etc.

Modul de concepere a bazei de date permite completarea și actualizarea continuă cu informații noi, odată cu dezvoltarea procedurii de sudare FSW.

## 5. Concluzii

Interesul deosebit din partea comunității științifice internaționale este reflectat prin cantitatea de informații referitoare la întregul proces de sudare, echipamente, aplicații, unelte de sudare, modelare, etc., precum și prin numărul mare de lucrări care apar în prezent și care arată clar actualitatea procedurii.

Cercetarea proceselor legate de sudarea FSW este de mare actualitate având în vedere ponderea mare a lucrărilor științifice în perioada 2006-2008, precum și tendința crescătoare a numărului de publicații și brevete de invenție.

Pentru sprijinirea activității de documentare în domeniul FSW a fost creată o bază de date care cuprinde informații privind lucrări științifice, publicații, brevete de invenție. Aceasta a fost creată în cadrul proiectului TIPMAV „Tehnologii inovative și ecologice de procesare a materialelor avansate, prin frecare cu element activ rotitor”, contract 66/2006, din cadrul Programului de Cercetare de Excelență, Autoritatea Contractantă fiind Universitatea Politehnică din București - Program MATNANTECH.

General Electric, NASA, Brigham Young University, Eclipse Aviation.

As regards the geographical distribution (Figure 9), of the 130 companies in the world having patents in the field of FSW, the most are the Japanese companies (61), followed by the USA (38) and Europe (29).

The number of patents in the FSW field, on geographical zones, respects the same classification as that of companies, but the proportions are different, Figure 10.

It has been found that although the Japanese companies represent 45% of the total patents in the field of FSW process, the effective number of their patents represent 75% of the total of about 1800 existent patents.

The most patents refer to the development of the FSW process, technologies, equipment, welding tools and industrial applications.

Details related to information previously presented are gathered in a database, made by ISIM, that allows the access on the bases of keywords, number of scientific event or publication, year of presentation or publication, geographical zone, type of welded materials, thickness of welded materials, etc.

The conceiving mode of the database allows the continuous filling in and updating with new information, in the development of the FSW process.

## 5. Conclusions

The special interest of the international scientific community is reflected in the quantity of information related to the whole welding process, equipment, applications, welding tools, modelling, etc., as well as the great number of papers that appear nowadays and clearly show the up-to-dateness of the process.

The research of processes related to FSW is of high present interest considering the great number of scientific papers in the period 2006-2008, as well as the increasing trend of the number of publications and patents .

In order to support the documentation activity in the field of FSW a database was created to include information regarding scientific papers, publications, patents. It was created within the TIPMAV project ”Innovative and ecological technologies to process advanced materials by friction stir welding”, contract 66/2006, in the frame of the Excellence Research Program, the Contracting Authority being the Politehnica University in Bucharest – MATNANTECH program.

The 62<sup>nd</sup> Annual Assembly and International Conference of the International Institute of Welding (IIW)



Grand Copthorne Waterfront Hotel  
Singapore  
12-18 July 2009  
[www.iiw2009.com](http://www.iiw2009.com)



