



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

66.12 - Introducción a proyectos

Compactador por Spark plasma: Superimanes

Trabajo Práctico N°2

Figuerola, Gonzalo

84255

2.<sup>do</sup> cuatrimestre 2009

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Objetivo . . . . .	2
1.2. Breve reseña histórica . . . . .	2
<b>2. Competencia</b>	<b>4</b>
2.1. Prensas Isostáticas en caliente . . . . .	4
2.1.1. <i>Thermal Technologies</i> . . . . .	4
2.1.2. <i>Avure Technologies</i> . . . . .	5
2.1.3. <i>American Isostatic Presses</i> . . . . .	6
2.2. Sistemas de sinterizado por spark Plasma . . . . .	7
2.2.1. <i>Liwell</i> . . . . .	8
2.2.2. <i>SinterLab</i> . . . . .	8
2.2.3. <i>Thermal Technology</i> . . . . .	9
2.2.4. <i>Metal Processing systems</i> . . . . .	9
<b>3. Análisis de características y prestaciones del producto</b>	<b>10</b>
3.1. Sistemas de sinterizado por Spark Plasma . . . . .	11
3.2. Proceso . . . . .	11
3.3. Beneficios . . . . .	12
3.4. Producto propuesto . . . . .	13
<b>4. Patentes</b>	<b>14</b>
4.1. Hot isostatic presses . . . . .	14
4.1.1. Hot isostatic press . . . . .	14
4.1.2. Hot isostatic pressing system . . . . .	15
4.1.3. Hot isostatic pressing apparatus . . . . .	16
4.2. Spark plasma sintering . . . . .	17
4.2.1. Electric-discharge sintering . . . . .	17
4.2.2. Servocontrol system for discharge sintering . . . . .	18
4.2.3. Method of spark sintering electrically . . . . .	18
4.2.4. Method of and apparatus for sintering a mass of particles with a powdery mold . . . . .	19
4.2.5. Perfected sintering machine and method of operation . . . . .	20
4.2.6. Process for producing a rare earth element-iron anisotropic magnet . . . . .	21
4.2.7. Electric joining method and apparatus and a joined unit of members . . . . .	23
4.3. Análisis de las patentes . . . . .	24
<b>5. Conclusión</b>	<b>25</b>

# 1. Introducción

## 1.1. Objetivo

El objetivo de este trabajo práctico radica, básicamente, en el estudio de los productos similares al equipo propuesto.

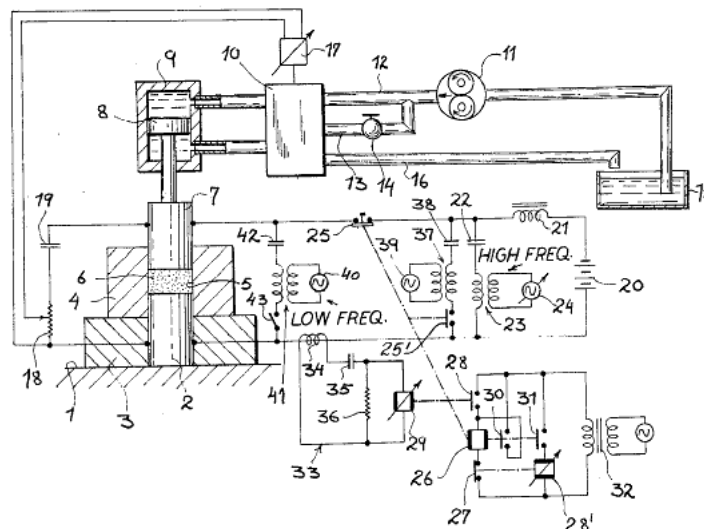
Se tendrán en cuenta las características de los productos que ofrece la competencia para poder realizar una comparación de lo que se puede encontrar hoy en día en el mercado.

También se analizarán las patentes que cubren los productos en cuestión y su incidencia sobre el compactador por Spark Plasma.

## 1.2. Breve reseña histórica

El sinterizado por Spark Plasma es un proceso nuevo en desarrollo - una técnica de tratamiento y síntesis - que hace posible la sinterización a bajas temperaturas y en períodos cortos de tiempo. Es considerado como un método rápido de sinterización, al igual que los denominados self-propagation high temperature synthesis (SHS) y el sinterizado por microondas. SPS (Spark plasma sintering) ofrece ventajas con respecto a los sistemas convencionales de sinterización por prensa caliente (HP) o prensado isostático en caliente (HIP), incluyendo la facilidad de operación y control preciso de la energía de sinterización, así como la sinterización de alta velocidad y alta reproducibilidad, la seguridad y la fiabilidad.

La historia de la tecnología relacionada con el proceso en cuestión se inició a fines de los años 1930, cuando se introdujo en los Estados Unidos de América el proceso de sinterización utilizando energía eléctrica. En Japón, un proceso similar basado en la aplicación de un pulso de corriente de sinterización fue investigado y patentado en los años 60 y es conocido como *Electric-discharge sintering*. El inventor de ésta técnica fue Kiyoshi Inoue quien propuso en su patente el siguiente esquema para su realización.



La invención de Kiyoshi describe un método de sinterizado de cuerpos discretos y un equipo para llevarlo a cabo. Su propuesta fue revolucionaria ya que la aplicación de EDS (electric-discharge sintering) podría realizar un sinterizado sin el uso excesivo de presión y temperatura en tiempos considerablemente cortos respecto de las técnicas utilizadas hasta el momento.

Sin embargo no fue posible un uso generalizado de dicha técnica debido a:

- La falta de aplicación tecnológica en ese momento.
- La existencia de campos limitados donde se podría aplicar para problemas relacionados con la industria.
- El costo del equipo de sinterización.
- La eficiencia.

Existió poca literatura sobre investigaciones en este proceso hasta los años 70. Es por eso que recién a mediados de los años 80, principios de los años 90, se comenzaron a desarrollar pequeñas unidades experimentales denominadas Plasma Activated Sintering (PAS). Dichas unidades proporcionaban una máxima presión de sinterización de alrededor de 5 toneladas y la generación de pulsos de hasta 800 amperes y fueron utilizadas para la investigación de materiales.

Sin embargo, tras el reciente estreno del proceso de sinterización por Spark Plasma como la tercera generación de esta avanzada tecnología, se logran presiones de 10 a 100 toneladas y corrientes de 2000 a 20.000 amperes.

Como se puede apreciar, no existe una diferencia sustancial entre este método y el de SPS, sólo varían los valores de presión y corriente con que se trabaja. Esto se debe, básicamente, al avance tecnológico.

El proceso de SPS ha ganado una inmensa reputación dentro de los nuevos procesos industriales de síntesis para el procesamiento de materiales nanocompuestos. Este proceso es de creciente atención entre ingenieros relacionados con la producción y los investigadores de materiales.

## 2. Competencia

---

Como se mencionó en el trabajo anterior la competencia actual está relacionada con aquellos fabricantes de prensas isostáticas ya que, la técnica de *Spark plasma* todavía no se utiliza en el ámbito nacional.

Entonces, no solo se consideraron aquellas empresas que proveen sistemas de sinterizado por *Spark plasma*. Además, se tendrán en cuenta los proveedores de equipos *HIP*.

En función de lo antedicho, se realizó una búsqueda de aquellas empresas que producen los equipos encargados de realizar las técnicas ya descritas. Debido a que no existe producción nacional se realizó una búsqueda de productos de características similares en el mercado internacional.

### 2.1. Prensas Isostáticas en caliente

#### 2.1.1. *Thermal Technologies*



#### **Facility Requirements**

**Electric:** As specified for the model selected.

**Water:** Cooling water amounts also vary with model. General requirements are an inlet/drain differential pressure of 50 psi (345 KPa) with an inlet temperature of 65-85° F (18-30° C). This water flow will limit cooling water temperature rise to 20° C when furnace is at maximum power.

**Process Gas:** As required for the application.

**Vacuum:** A vacuum pump for purging prior to process gas backfill is definitely recommended.

**Installation:** Systems are complete and require only connections to use supplied sources of power, cooling water, and operating gas/vacuum.

Model No.	Hot Zone Size	Max. Die Case Dia.	Power Supply	Max. Temp.
HP20-1100-3580-W2 (Tungsten)	3.5" dia. x 8" high (89 mm x 203 mm)	2.5" (64 mm)	40 kVA	2500° C
HP20-1100-4080-M1 (Molybdenum)	4.5" dia. x 8" high (114 mm x 203 mm)	3.5" (89 mm)	20 kVA	1800° C
HP20-1100-4080-W2 (Tungsten)	4.5" dia. x 8" high (114 mm x 203 mm)	3.5" (89 mm)	40 kVA	2200° C
HP20-1000-3060 (Graphite)	3.0" dia. x 6" high (76 mm x 152 mm)	2.5" (64 mm)	20 kVA	2500° C
HP20-1000-3560 (Graphite)	3.5" dia. x 6" high (89 mm x 152 mm)	3.0" (76 mm)	20 kVA	2300° C
HP20-1000-4560 (Graphite)	4.5" dia. x 6" high (114 mm x 152 mm)	4.0" (102 mm)	20 kVA	2000° C
HP20-0614-SC (Silicon Carbide)	6.0" dia. x 14" high (152 mm x 356 mm)	4.2" (107 mm)	15 kVA	1500° C
HP50-0914-SC (Silicon Carbide)	9.0" dia. x 14" high (229 mm x 356 mm)	7.0" (178 mm)	20 kVA	1500° C
HP50-7010-WM (Tungsten)	7.0" dia. x 10" high (178 mm x 254 mm)	6.0" (152 mm)	100 kVA	2300° C
HP50-HTG-7010 (Graphite)	7.0" dia. x 10" high (178 mm x 254 mm)	6.0" (152 mm)	60 kVA	2500° C

Figura 1: Especificaciones

### 2.1.2. *Avure Technologies*



Model Number	Work Zone Dimensions (I.D. x Height)				System Dimensions						Approximate Total Weight
	FeCrAl	Molybdenum	Graphite	Uniform Rapid Cooling	Subsystem Width	Cabinet Depth	Height	Vessel Width	Frame Depth	Assembly Height	
MIH-3	2.9 x 4.9" 75 x 125mm	4 x 5" 102 x 127mm	3.75 x 5.9" 95 x 150mm	Not Available	56" 1422mm	48" 1219mm	48" 1219mm	Included in cabinet			3,500 lbs. 1,588 kg
QIH-9	6 x 12" 152 x 305mm	6 x 12" 152 x 305mm	6 x 12" 152 x 305mm	Available	85" 2160mm	51" 1295mm	61" 1550mm	Included in cabinet			4,560 lbs. 2,068 kg
QIH-15	8 x 12" 203 x 305mm	8 x 12" 203 x 305mm	8 x 12" 203 x 305mm	Not Available	95" 2413mm	54" 1372mm	73" 1854mm	Included in cabinet			4,841 lbs. 2,318 kg
QIH-15L	8 x 19.6" 203 x 500mm	8 x 19.6" 203 x 500mm	8 x 19.6" 203 x 500mm	Not Available	55" * 1410mm	95" * 2415mm	53" * 1350mm	52" 1321mm	150" 3810mm	84" 2134mm	7,875 lbs. 3,580 kg
QIH-21	9.9 x 30" 252 x 762mm	9.9 x 30" 252 x 762mm	9.9 x 30" 252 x 762mm	Available	Free-standing modules			96" 2438mm	156" 3962mm	110" 2794mm	13,400 lbs. 6,080 kg

Figura 2: Especificaciones

### 2.1.3. American Isostatic Presses



STANDARD MODELS					
HIP					
MODEL	DIAMETER	LENGTH	TEMPERATURE*	PRESSURE	COMPRESSOR
<a href="#">AIP6-30H</a>	75 mm	125 mm	2200 C	207 Mpa	3 hp
<a href="#">AIP8-30H</a>	100 mm	200 mm	2200 C	207 Mpa	5 hp
<a href="#">AIP10-30H</a>	150 mm	250 mm	2200 C	207 Mpa	5 hp
AIP12-30H	175 mm	300 mm	2200 C	207 Mpa	10 hp
AIP14-30H	200 mm	350 mm	2000 C	207 Mpa	10 hp
AIP16-30H	250 mm	400 mm	2000 C	207 Mpa	10 hp
AIP18-30H	300 mm	450 mm	2000 C	207 Mpa	20 hp
AIP24-30H	450 mm	750 mm	2000 C	207 Mpa	20 hp
AIP28-30H	550 mm	900 mm	1800 C	207 Mpa	40 hp
AIP32-30H	625 mm	1200 mm	1800 C	207 Mpa	80 hp
AIP40-30H	800 mm	1500 mm	1800 C	207 Mpa	100 hp

Figura 3: Especificaciones

El precio de este equipo ronda los 15000 dolares.

## 2.2. Sistemas de sinterizado por spark Plasma



Figura 4: Equipos de sinterizado por Spark plasma



### 2.2.1. *Liwell*

#### Product Description

On the basis of vacuum hot presses which have proved for decades now a new generation of hot presses has been generated which realises the SPS-/FAST-technology at the state of the art and so guarantees an effective and reliable use of the mentioned advantages of the process.

At this sintering process the tool respectively the component is heated by direct electrical current, so that cycle times of few minutes will be possible. Using short DC-current pulses leads to an additional increase of the sintering activities with many materials, resulting from the processes that occur on the points of contact of the powder particles (Joule effect, generation of plasma, migration etc.), so that it will be possible to use by with significant lower temperatures as well as significant lower mold pressure compared with conventional hot pressing and sintering.

The equipment comprises a fully digital controlled hydraulic system with a precisely working force/speed-control via a sub- $\mu$ m-accurate distance transducer.

The power supply unit supplies free programmable DC-current pulses for flexible adaption to the particular job.

The sintering temperature can be up to 2400°C and is controlled by up to five thermocouples and two additional pyrometers.

All process parameters are programmable and administrated by a built in database. So any optional sintering process can run fully automatic. All process data are recorded digitally and can be analysed via an integrated data logger.

This leads to absolutely new possibilities of producing a lot of materials with extraordinary properties, for example:

- Nanomaterials can be sintered without significant grain growth.
- FGM („Functionally Graded Materials“)
- Composite materials
- Tungsten carbide and many other hard materials
- Alumina or copper alloys
- Structural and functional ceramics

**Specifications :** max. dimensions: Ø 350 x 300

Temperature: 2400°C;

Pressing force: 25 kN;

Voltage: 0... 10 V

Power: 0... 8000 A

Figura 5: Especificaciones - Liwell

### 2.2.2. *SinterLab*

#### Basic Specifications of DR. SINTER LAB Series (Small Size Units)

Models	SPS-511S	SPS-515S
Max. Sintering Pressure (kN/Short Ton)	50/5	
Max. Sintering Temperature (°C)	2,000	
Sintering Chamber Inner Diameter (mm)	200	
Sintering Stroke (mm)	150 (open height 200)	
Max. Mold Diameter (mm)	100	
Max. Pulse Current Output (A)	1,000	1,500
Machine Dimensions (W x D x H) (mm)	900 x 1,050 x 1,575	
Machine Weight (Kg)	800	

Figura 6: Especificaciones - Sinterlab

### 2.2.3. *Thermal Technology*

#### SPARK PLASMA SINTERING (SPS) SYSTEMS

Thermal Technology's standard **Spark Plasma Sintering (SPS)** systems come in two sizes:

- SPS Model 10-3 with 10 tons of force and a 3000 amp power supply
- SPS Model 25-10 with 25 tons of force and a 10,000 amp power supply (pictured below)

Thermal Technology also offers larger "purpose-built" Spark Plasma Sintering (SPS) systems in a range of sizes:

- Machine force options of 50, 100, 150, or 250 tons of force
- Power supply options of 20,000, 40,000 or 60,000 amp systems

Custom high-throughput commercial Spark Plasma Sintering (SPS) systems are also available. These are purpose-built for your specific high volume application.

All Thermal Technology **Spark Plasma Sintering (SPS)** systems include:

- Remote PC-based programming station
- Data acquisition
- State-of-the-art clean wave, high efficiency power supply
- Fully programmable power supply, including mid-process waveform adjustments
- Servo valve controlled hydraulics for ultra-fine force control
- Front load access -- entire front wall of chamber opens

Figura 7: Especificaciones - Thermal technology

### 2.2.4. *Metal Processing systems*

HP D Type	Dimension Mould [mm]	Dimension Component [mm]	Pressing Force [kN]	Voltage [V]	Current [A]	Power Consumption [kVA]
HP D 5	Ø 60 x 180	Ø 30	50	10	6000	40
HP D 10-C*	Ø 100 x 200	Ø 40	100	10	10000	85
HP D 25	Ø 200 x 300	Ø 80	250	10	10000	85
HP D 125	Ø 350 x 300	Ø 150	1250	10	30000	300
HP D 250	Ø 400 x 450	Ø 300	2500	10	60000	630
HP D 250-C*	Ø 400 x 450	Ø 300	2500	10	60000	630

Figura 8: Especificaciones - MPS

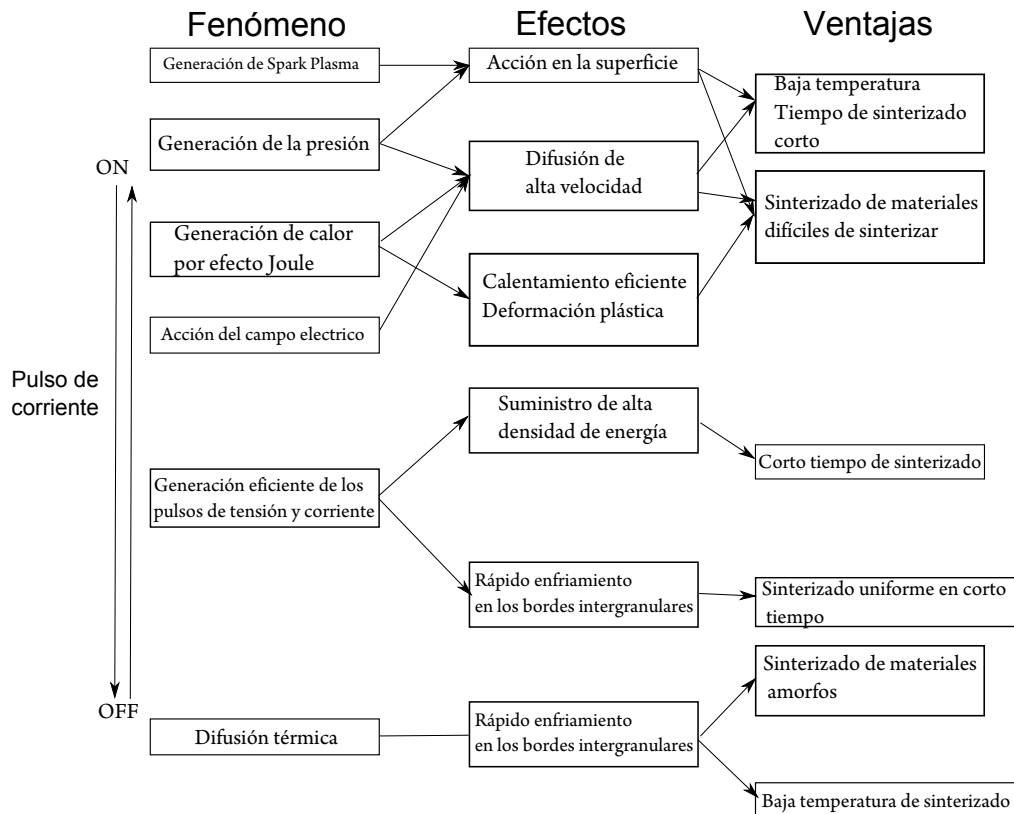
### 3. Análisis de características y prestaciones del producto

En esta sección se realizará un análisis de las características del producto con el objetivo final de lograr una comparación con los equipos que hay en el mercado.

Las prensas isostáticas en caliente (HIP) son las utilizadas hoy en día (en el ámbito nacional) para la producción de imanes. Sin embargo, resulta difícil realizar una comparación entre las prestaciones de dichos equipos con el producto propuesto. Por lo tanto, se realizará un análisis de las ventajas y desventajas que presenta el método de sinterizado por spark plasma. Ésta es una manera de brindarle a los posibles clientes un punto de comparación a la hora de determinar por qué es conveniente invertir en el producto en cuestión.

Como se mencionó anteriormente, los equipos construidos para aplicar el método SPS (Spark Plasma Sintering) son relativamente nuevos. Entonces, la desventaja principal está relacionada con la inserción en el mercado, ya que es necesario las empresas tengan cierto interés en la innovación tecnológica.

Vale decir que los equipos de sinterizado por spark plasma presentan varias ventajas frente a las HIP. Ésto es lo que hace factible su comercialización. A continuación se muestra un gráfico sumamente descriptivo que refleja lo dicho anteriormente:



### 3.1. Sistemas de sinterizado por Spark Plasma

A continuación se presenta un gráfico comparativo entre los productos que se encontraron en el mercado:

Característica / Modelo	Modelo Propuesto	Liwell	Sinterlab	Thermal Tech.	MPS
<b>Presión máxima [Tn]</b>	25	25	10	10	50
<b>Temperatura máxima[°C]</b>	2400	2400	1300	2400	2400
<b>Corriente máxima[A]</b>	2000	8000	2000	3000	6000
<b>Tensión máxima[V]</b>	10	10	10	10	10
<b>Diámetro del molde[mm]</b>	300	300	300	300	30
<b>Control - PC</b>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<b>Control remoto</b>	Sí	No	No	No	No

A continuación se realizará una descripción del proceso de sinterizado por spark plasma para justificar las características propuestas en el cuadro anterior.

El sinterizado por spark plasma (SPS) es una tecnología de alta velocidad tecnología capaz de procesar materiales conductores y no-conductores.

La teoría sobre el proceso de SPS varía, pero la mayoría sigue el concepto de micro-spark/plasma, que se basa en el fenómeno de descarga eléctrica de alta energía. Baja tensión y pulsos de corrientes altos producen SPS.

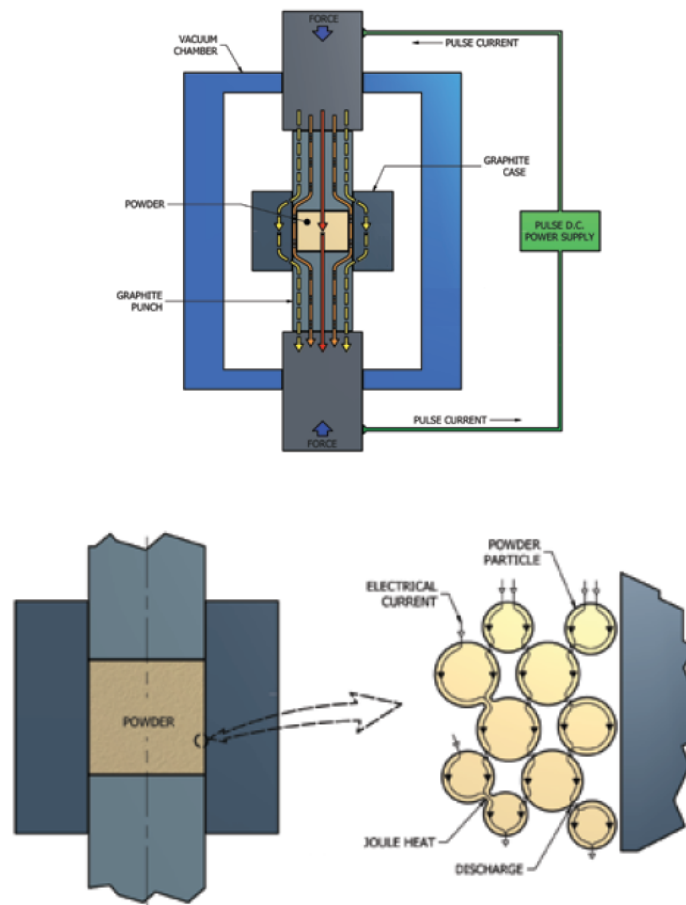
### 3.2. Proceso

SPS utiliza presión uniaxial y un pulso de alta corriente continua. Dicho pulso de voltaje y corriente crea la chispa (spark) dando lugar al efecto Joule entre las partículas del material a sinterizar. Debido a la frecuencia alta del pulso, el calor se transfiere y dispersa a lo largo de toda la muestra, lo que resulta en una rápida y completa distribución de calor y una densidad homogénea.

La chispa crea una descarga local de alta temperatura llegando hasta 10.000 ° C, causando la vaporización de las impurezas en la superficie de las partículas. Inmediatamente después de esto, las partículas de la superficie se funden. El calor producido por efecto Joule crea deformación plástica en la superficie haciendo necesaria la aplicación de una presión constante a la muestra.

Todo el proceso se completa rápidamente, con una alta uniformidad y sin cambiar las características de las partículas.

A continuación se muestra un esquema que describe el proceso y su efecto sobre el polvo magnético:



La presión desempeña un papel importante y predecible en la reducción del crecimiento de las partículas e influye en la densidad global.

### 3.3. Beneficios

El método SPS permite la sinterización de materiales disímiles sin acudir a una fase líquida en la parte inferior de temperatura materiales. En el caso de los materiales compuestos de alta homogeneidad es posible incluso con una menor densidad.

Debido al fenómeno de soldadura superficial, en el interior de las partículas, la temperatura no alcanza los valores correspondientes como para promover la difusión atómica que provoca el crecimiento de granos, o si lo hace, su cinética de calentamiento es tan rápida que no permite el crecimiento excesivo de los mismos. Ésto permite que el material en cuestión conserve en mayor medida las propiedades magnéticas.

Por último, en SPS los gastos de funcionamiento son de 50 a 80 % menos que las tecnologías convencionales de sinterización, debido principalmente a la velocidad. En algunas aplicaciones, la tecnología de SPS es hasta 20 veces más rápida que las tecnologías convencionales de sinterización tales como HIP. La mayoría de las aplicaciones SPS sólo requieren 20 minutos en comparación con las horas necesarias con los sistemas convencionales.

### **3.4. Producto propuesto**

En función de las características de los productos de la competencia se propone un equipo que pueda competir en por lo menos un aspecto con los sistemas que se encuentran hoy en día en el mercado. Ésto da lugar a un producto que ofrece una buena performance en todos los aspectos. Además se agrego una característica de la cual carecen los equipos de la competencia. Se trata del control remoto. Esto último permite al operador controlar el equipo desde cualquier lugar en caso de que se reporte un error que repercuta en la realización adecuada del sinterizado.

## 4. Patentes

---

Debido a las características de la competencia del producto se tuvieron en cuenta patentes relacionadas con los dos métodos de sinterizado tratados en secciones anteriores.

A continuación se incluye una breve descripción de las patentes más relevantes relacionadas con el proyecto con el fin de realizar un análisis de las mismas.

### 4.1. Hot isostatic presses

#### 4.1.1. Hot isostatic press

##### **Abstract**

A hot isostatic press comprising a working vessel, formed of at least two pieces, having a working chamber within it. The working medium supplied to the working chamber, for transmitting pressure to work pieces within the chamber, may be a molten metal. Heating means within the vessel and cooling means at the exterior of the vessel cooperate to produce a continuous isothermal region completely surrounding the working chamber. The isothermal region is at the solidification temperature of the metal working medium, so that any potential leaks of molten metal working medium from the vessel are sealed by solidification of metal reaching the isothermal region. There is a heat-resistant liner within the vessel, the isothermal region being within the liner. A storage vessel for the working medium and a high pressure vessel, which may be a plunger pump, are connected to each other and to the working vessel through conduits furnished with valves.

Patent number: 4279581

Filing date: Jul 18, 1980

Issue date: Jul 21, 1981

Inventor: Wolfgang Betz

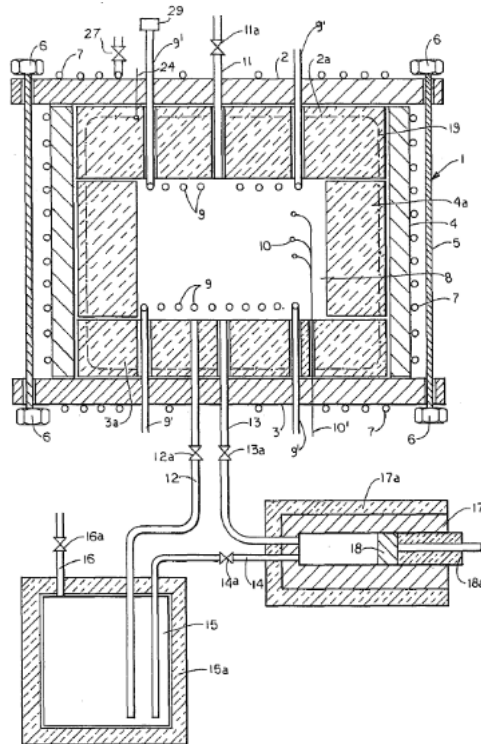
Assignee: MTU Motoren-Und Turbinen-Union Munchen GmbH

U.S. Classification

425/78; 425/405H

International Classification

B29C 300; B30B 502; B30B 1100; B22F 300



#### 4.1.2. Hot isostatic pressing system

##### Abstract

A HIP system of the type which includes a high pressure vessel with top and bottom plugs for closing top and bottom open ends thereof or a high pressure vessel closed at one end and having a plug for closing the other open end thereof, and a high pressure and temperature processing chamber defined in the pressure vessel and having a heat insulating mantle and a heater disposed around the inner periphery thereof for subjecting a workpiece supported on the plug to sintering or other treatment in a high pressure and temperature gas atmosphere, the HIP system including: a removable shield casing hermetically engageable with the workpiece supporting plug and adapted to be loaded into and unloaded from the high pressure vessel along with the workpiece, holding the processing chamber in a sealed state; and a valve member provided in the shield casing for selectively establishing and blocking communication of the processing chamber with an exterior atmosphere such that the processing chamber is selectively placed in a vacuumized state, filled with a high pressure gas and evacuated to an atmospheric pressure.

Patent number: 4471949

Filing date: Apr 12, 1983

Issue date: Sep 18, 1984

Inventor: Takahiko Ishii

Assignee: Kabushiki Kaisha Kobe Seiko Sho

Primary Examiner: Christopher W. Brody

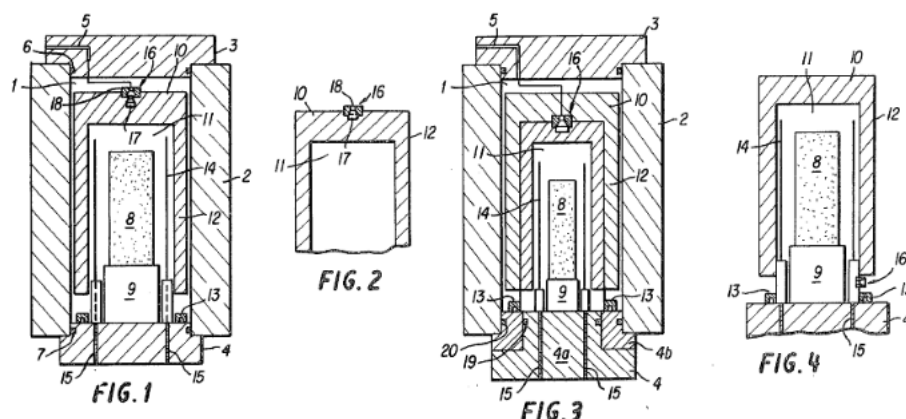


## U.S. Classification

266/252; 425/405H; 266/250

## International Classification

B22F 300; C21C 900



## 4.1.3. Hot isostatic pressing apparatus

**Abstract**

A hot isostatic pressing apparatus having a high pressure vessel, a heat insulating layer and a heater disposed inside the heat insulating layer, the heat insulating layer and the heater being disposed within a high pressure chamber defined by upper and lower covers. The heat insulating layer is composed of at least two inner and outer inverted cup-like casings, the outer casing being metallic and having a hermetic structure and the inner casing having a hermetic structure. A passage is formed in the upper surface of the outer casing and a valve capable of being opened and closed is provided therein. Further, a mechanism for opening and closing the valve is mounted on the upper cover, and a gas passage is formed in the lower portion of the heat insulating layer. The above arrangement creates a convection of gas in the cooling step after the HIP treatment whereby a remarkable improvement can be attained in cooling efficiency, cooling time and productivity.

Patent number: 4629412

Filing date: Aug 9, 1984

Issue date: Dec 16, 1986

Inventors: Yoichi Inoue, Takahiko Ishii

Assignee: Kabushiki Kaisha Kobe Seiko Sho

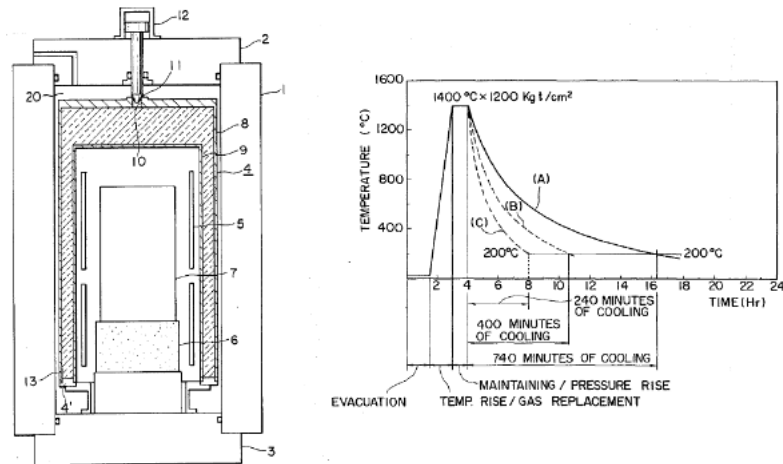
Primary Examiner: J. Fortenberry

## U.S. Classification

425/405H; 266/252; 419/49; 425DIG26

## International Classification

B22F 312



## 4.2. Spark plasma sintering

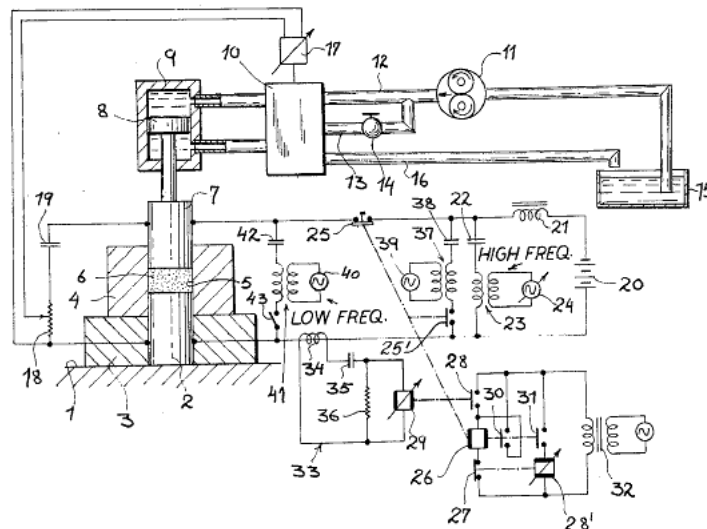
### 4.2.1. Electric-discharge sintering

Patent number: 3241956

Filing date: Oct 29, 1963

Issue date: Mar 1966

Inventor: Kiyoshi Inoue



#### 4.2.2. Servocontrol system for discharge sintering

##### Abstract

A servocontrol system for a movable electrode of a discharge system, especially for the spark-discharge sintering of conductive and nanoconductive particles, where in reversible drive means is provided for the movable electrode, and a servomechanism responsive to a parameter of the conditions of the gap between the electrodes, detects the parameter and converts it into a control signal for operating the drive means whereby the movable electrode follows the shrinkage of the sintered mass. Programming means can be connected in the servocontrol circuit for augmenting the response of the drive means to the control signal when, for instance, it is desired to increase the pressure applied by moving electrode to the mass of particles or the speed thereof after an initial movement at a lesser rate.

Patent number: 3508029

Filing date: Jul 11, 1967

Issue date: Apr 1970

Inventor: Kiyoshi Inoue

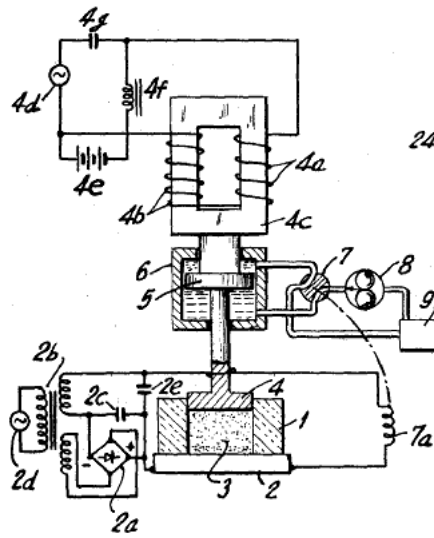


FIG. 1

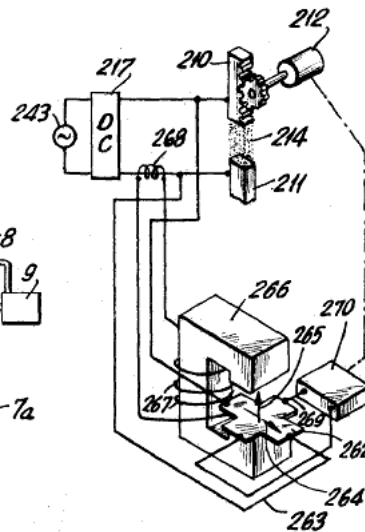


FIG. 3

#### 4.2.3. Method of spark sintering electrically

##### Abstract

A method of spark sintering electrically conductive particles, e.g. copper, nickel, ferrochromium and tungsten carbide, onto a metallic substrate in which a mass of particles is positioned along the substrate in light-contacting relationship therewith. An electric current pulse is applied across the mass of particles to effect a spark discharge among them and between the mass and the substrate to sinter the particles

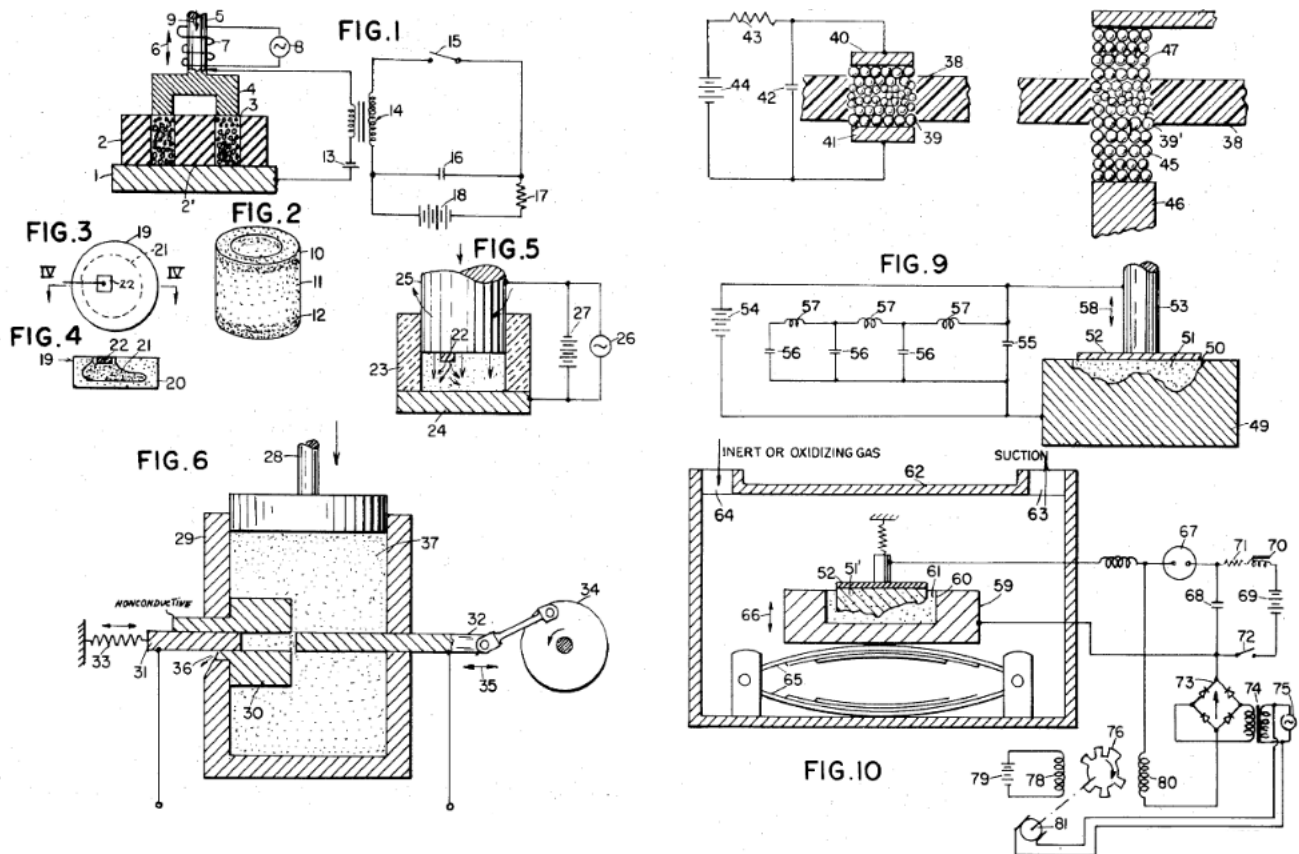
to one another and to the substrate. The method also increases the fatigue resistance of iron and steel when tungsten carbide is spark-sintered thereto.

Patent number: 3670137

Filing date: Feb 16, 1970

Issue date: Jun 1972

Inventor: Kiyoshi Inoue



#### 4.2.4. Method of and apparatus for sintering a mass of particles with a powdery mold

##### Abstract

A particulate mass to be sintered is imbedded in a mold which comprises a porous mass of particulate refractory material enclosed within a flexible membrane. Six press units are provided for applying compressive pressures externally to the mold, together or in sequence, whereby to subject the sinterable mass to pressures in the respective directions, under the control of a preprogrammed control unit which receives clock pulses from a source and stimulates the respective press units. A flexible heating coil imbedded in the mold is supplied with alternating current from a source to inductively heat up the sinterable mass and the adjacent mold material, to enable sintering to occur. The sinterable mass may have been precompacted into a self-supporting so-called "green compact", or it may be supported in a

self-supporting shell carried within and forming part of the mold. The mold preferably comprises three layers having characteristics chosen so as to assist in heating up the sinterable mass uniformly.

Patent number: 4414028

Filing date: Apr 8, 1980

Issue date: Nov 8, 1983

Inventor: Kiyoshi Inoue

Assignee: Inoue-Japax Research Incorporated

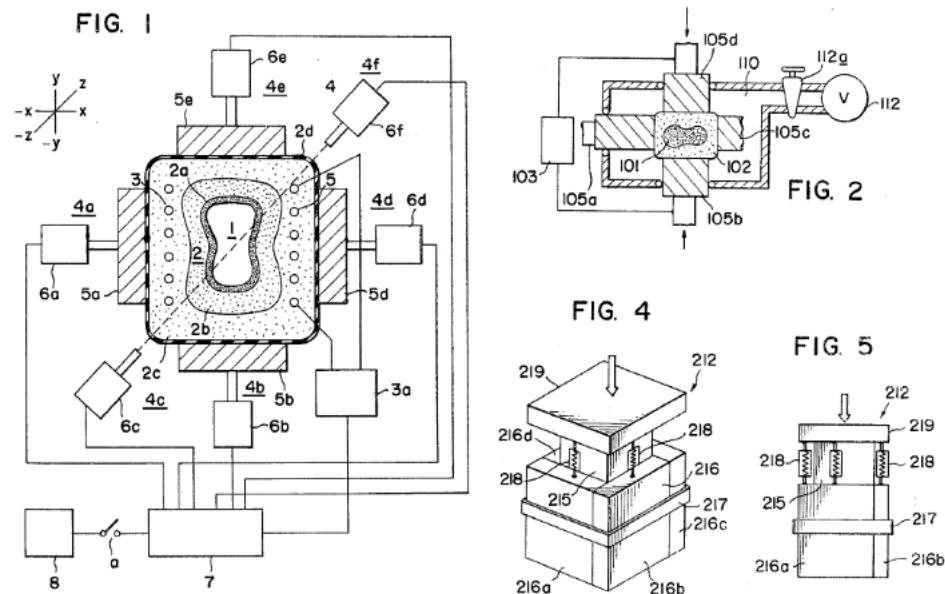
Primary Examiner: J. J. Zimmerman

U.S. Classification

419/31; 264/120; 100/232; 425/330; 419/42; 419/44; 419/49; 419/52; 419/53; 419/60

International Classification

B22F 316; B22F 314; B30B 704



#### 4.2.5. Perfected sintering machine and method of operation

##### Abstract

A sintering machine for applying heat and pressure to a die retained between two plate sets, includes a temperature sensor, a position sensor and a pressure sensor which are all connected to a computer for sensing the temperature of and pressure applied to the die, as well as the position of a movable one of the plate sets. This information is used to control a power supply unit which supplies current through the die to heat the die, and a hydraulic press for moving the movable one of the plate sets. Pressure

and temperature are controlled in a discontinuous fashion during discrete intervals until a selected final temperature and pressure are reached. This more closely controls the sintering process over earlier systems which applied continuously increasing temperature and pressure to the die.

Patent number: 4989153

Filing date: Aug 19, 1988

Issue date: Jan 29, 1991

Inventor: Giuseppe Bonvini

Assignee: Sintris S.r.L.

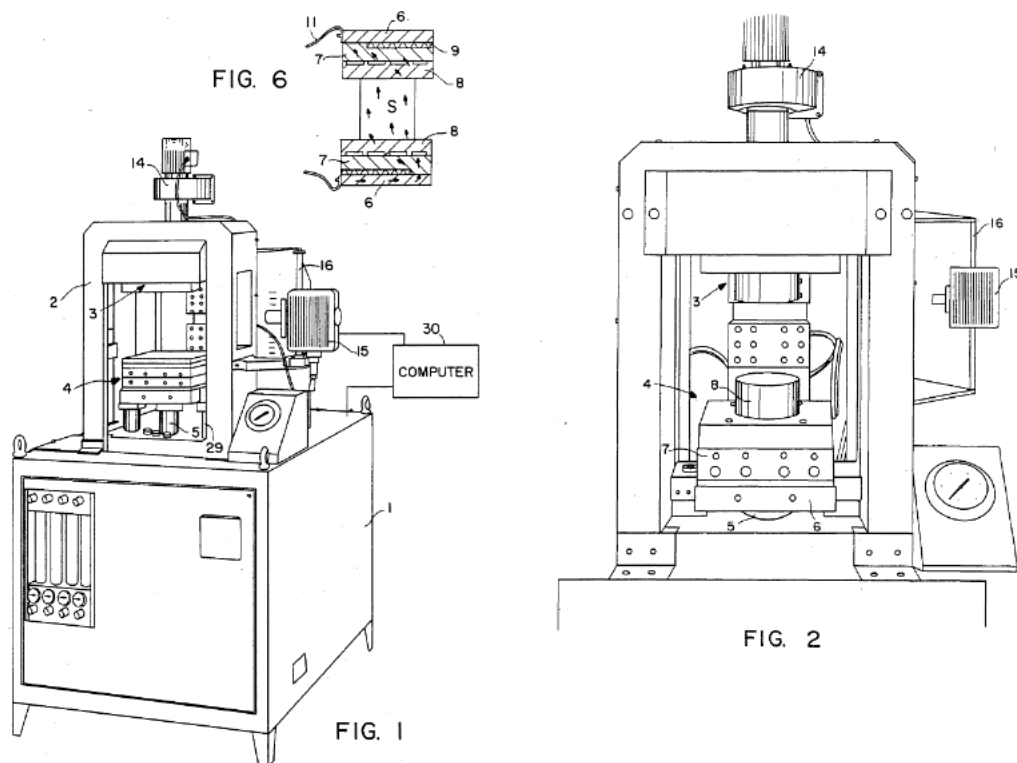
Primary Examiner: Jim Trammell

U.S. Classification

364/477; 219/149; 419/48; 419/52; 419/54

International Classification

G06F 1546; B21J 106; B22F 3302



#### 4.2.6. Process for producing a rare earth element-iron anisotropic magnet

##### Abstract

A process for producing a rare earth element-iron-boron anisotropic magnet that may generate a strong static magnetic field in vacant spaces of a magnetic circuit mounted in a motor is disclosed. The process comprises the steps of placing a billet produced of rapid solidification powder of a rare earth element-iron-boron alloy into a mold cavity, applying a primary pressure to said billet, while allowing a primary current to pass through said billet, applying to said billet a secondary pressure which is increased up to at least five times as much as the primary pressure, and applying a secondary current greater than the primary current through said billet, wherein the billet is finally subjected to plastic deformation at the temperature between the crystalline temperature and 750.degree. C.

Patent number: 5178691

Filing date: May 28, 1991

Issue date: Jan 12, 1993

Inventors: Fumitoshi Yamashita, Masami Wada

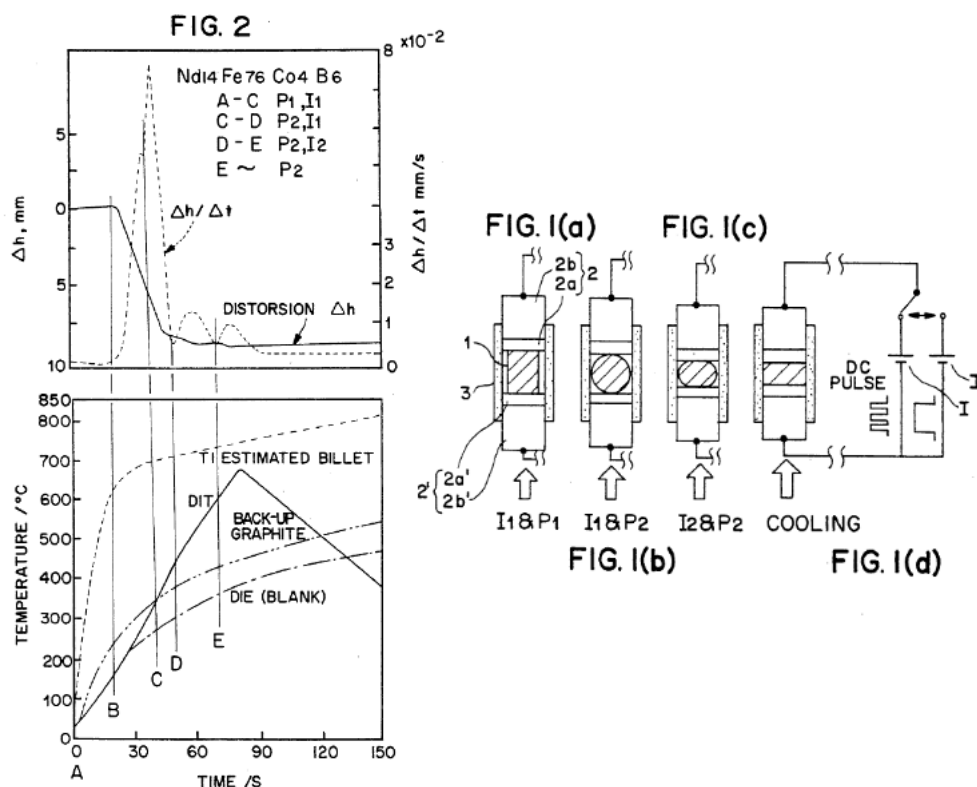
Assignees: Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

U.S. Classification

148/101; 148/104; 419/12; 419/52

International Classification

H01F 102



#### 4.2.7. Electric joining method and apparatus and a joined unit of members

##### Abstract

Disclosed is a novel electric joining method and apparatus that can overcome the defects associated with the prior art while taking advantage of the technology for the pulse excited sintering process such as spark plasma sintering process or the hot-press joining process. According to the present invention, an electric joining apparatus for joining a plurality of members to be joined at the joining surfaces thereof, comprises: a pair of current-carrying electrodes 13, 16 capable of contacting with the members so as to apply electricity to the members; a power supply 17 connected to the pair of energizing electrodes for supplying the energizing electrodes with at least either one of a DC current or a pulsated current; and a pressurizing unit 14 for compressing each of the pair of electrodes against the joining surfaces, wherein the pair of members are sandwiched between the energizing electrodes and applied with at least either one of the DC current or the pulsated current from the power supply under the desired pressure, thus to be joined, without using a die made of graphite.

Application number: 10/345,333

Publication number: US 2003/0106877 A1

Filing date: Jan 16, 2003

Inventors: Yoshito Miyasaka, Masao Tokita, Hitoshi Karasawa, Fumitake Nishiyama

Assignees: SUMITOMO COAL MINING CO., LTD.

Issued patent: 6899265 (Issue date May 31, 2005)

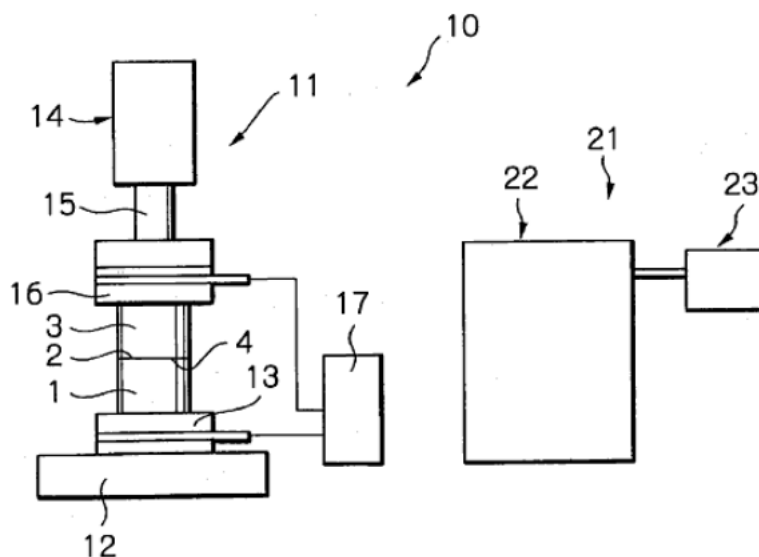
##### U.S. Classification

219078020

##### International Classification

B23K011/00





### 4.3. Análisis de las patentes

Para este análisis se tuvieron en cuenta los efectos de la ley sobre las mismas. La protección por patente es de 20 años improrrogables y es de tipo territorial, es decir, solo es válida donde se concede. No existe patente mundial o internacional. Por lo tanto se tendrá en cuenta la última patente que se listó en la subsección anterior.

Se trata de la patente: “Electric joining method and apparatus and a joined unit of members”. Vale aclarar que la misma describe un sistema de sinterizado y no su control electrónico. Entonces deberá tenerse en cuenta y estudiar en detalle a la hora de la construcción del equipo es caso de comercializarse en el exterior.

## 5. Conclusión

---

En este trabajo práctico se realizó un análisis completo de la competencia y de las patentes relacionadas con el equipo. Es preciso destacar que el 100 % de los competidores son de origen extranjero debido a las características tecnológicas del equipo. Sin embargo es posible afirmar que el sistema puede construirse completamente en Argentina sin ningún tipo de inconvenientes.

Con respecto a las patentes fue posible identificar una que deberá tenerse en cuenta para la construcción de la maquinaria de compactación.

Con respecto a la factibilidad tecnológica del Compactador por Spark Plasma se puede decir que, los componentes electrónicos requeridos se encuentran en el mercado nacional. El análisis completo de dichos componentes se realizará en trabajos posteriores.