



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 - MARZO DE 2010

## “LA FORJA”

AUTORÍA <b>GORKA GARDOQUI LAMIQUIZ</b>
TEMÁTICA <b>PROCESOS DE CONFORMADO</b>
ETAPA <b>FORMACIÓN PROFESIONAL</b>

### Resumen

La forja moderna es el resultado de la evolución del viejo arte de los constructores de armaduras y de los herreros de pueblo. Actualmente, la forja a mano sólo se practica en trabajos de cerrajería y forja artística.

Hoy en día, el forjado se realiza con máquinas que producen la compresión de los metales en sustitución a los martillos de forja a mano.

Las herramientas necesarias para la forja a mano son los apoyos (yunques), martillos, tenazas (para agarrar las piezas a conformar) y las herramientas accesorias (claveras, asentadores, gubias...).

Algunas de las operaciones de forja a mano como el estirado (alargar el metal disminuyendo su sección), el recalado (operación inversa al estirado; aumentar la sección) o el estampado (conformar el metal por medio de dos estampas) son muy utilizados en la forja moderna.

### Palabras clave

- Forja, ciclo térmico, condiciones y material, martinets y prensas

## 1. GENERALIDADES SOBRE LA FORJA

### 1.1. ¿Qué es la forja?

La forja es un procedimiento de conformación de los metales, sometiéndolos en caliente o en frío a esfuerzos repetidos o continuos, principalmente de compresión.

Al realizar el forjado en caliente, el tocho de metal a conformar se calienta a temperaturas superiores a la de recristalización, pero inferiores a la de fusión.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 - MARZO DE 2010

A estas temperaturas, el metal se deforma fácilmente sin que se produzca acritud (endurecimiento que se produce al deformar en frío los metales y aleaciones).

La forja se emplea tanto para piezas pequeñas como para grandes, ya sean de forma compleja o simple.

## 1.2. Objetivo

Con la forja se pueden obtener piezas acabadas (con su forma definitiva) o de desbaste (piezas a las que se les da la forma definitiva mediante el mecanizado).

El forjado consigue mejorar las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones, como consecuencia de:

Afino del grano: Se produce cuando se forja a golpes; los granos del metal se rompen en trozos más pequeños.

Si el forjado se interrumpe antes de que la temperatura de recristalización baje, el tamaño del grano crece, lo cual no conviene, ya que el afinado del grano (disminución del tamaño del grano) conlleva unas mejoras de las propiedades mecánicas del metal.

Orientación de las fibras: Las fibras hacen variar las propiedades mecánicas del metal, mejorándolas en su dirección, y empeorándolas perpendicularmente a estas. Por ello, la fibra debe orientarse en la misma dirección que la de los máximos esfuerzos. Sobre todo en metales con impurezas; los aceros muy puros evitan este debilitamiento.

Disminución de las sopladuras: El metal tiene unas pequeñas cavidades o vacíos llamados sopladuras, los cuales desaparecen al forjarlo, ya que se produce un aplastamiento que suelda las paredes de dichas cavidades.

## 2. CONDICIONES DE FORJADO

Los aspectos más importantes para realizar el forjado son:

### 2.1. Materiales utilizados

Todos los materiales que tienen la propiedad de plasticidad, propiedad típicamente metálica, son forjables.

Todos los aceros al carbono son muy forjables (están en forma de austenita a la temperatura de forja). Pero no así las fundiciones, (contienen austenita y cementita a la temperatura de forjado), ya que la cementita no es forjable.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 - MARZO DE 2010

## 2.2. Ciclo térmico de la forja

La conformación en el forjado se realiza en tres fases:

### 1) Calentamiento del metal a la temperatura de forjado

El calentamiento debe realizarse lo más suavemente posible, para evitar grandes diferencias de temperatura en el exterior y el núcleo, ya que se dan tensiones que pueden producir grietas.

Se debe reducir al mínimo la permanencia de los metales a la temperatura máxima, para evitar el crecimiento del grano.

### 2) Temperaturas de forja

Tanto los aceros hipoeutectoides (< 0,89 % de carbono), como los hipereutectoides (> 0,89 % de carbono), se deben calentar hasta la temperatura de austenización, ya que la cementita no es forjable.

Los aceros adquieren una fragilidad conocida como “fragilidad azul” a temperatura de 300-500 °C. Por lo que esta zona debe pasarse lo más rápidamente posible, tanto al calentar como al enfriar, y nunca forjar en ella.

### 3) Enfriamiento en la forja

El enfriamiento puede hacerse al aire, pero se recomienda enfriar en el horno los aceros duros.

## 3. ESTAMPACIÓN EN CALIENTE CON FORJA MECÁNICA

En la forja mecánica se emplean dos clases de máquinas: las que trabajan por choque (martinetes o martillos) y las que trabajan por presión (prensas).

### 3.1. Martinetes

Los martinetes realizan la fuerza de compresión necesaria mediante golpes sucesivos. Principalmente constan de tres partes: los *órganos de accionamiento*, el *yunque* que se encarga de soportar la pieza, la *maza* que es la que golpea la pieza y puede ser de fundición o de acero y tener diversas formas. Su peso oscila entre 50 kilos y varias toneladas y se desliza entre dos guías en caídas de 1 a 3 metros.

El accionamiento de la maza puede ser hidráulico, neumático, mecánico o de vapor.

#### Martinetes hidráulicos

El accionamiento de la maza se realizaba por medio de una rueda de levas movida por un pequeño curso de agua. Actualmente ya no se emplean.

#### Martinetes neumáticos

En los martinetes neumáticos la maza se mueve por la acción del aire comprimido. Hay dos clases de martinetes neumáticos : los *auto compresores* en los que el aire comprimido es un medio de transmisión de la energía del motor que acciona la máquina y los *martinetes de compresor*, en los que



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 - MARZO DE 2010

la maza está unida por un vástago al pistón de un cilindro que recibe el aire comprimido de un compresor independiente.

Martinetes de vapor

Los martinets de vapor son similares a los martinets neumáticos. Dentro del cilindro, el émbolo va unido a la maza por medio de un vástago.

Martinetes mecánicos

En estos martinets el accionamiento de la maza se realiza por transmisiones mecánicas. Hay dos clases de martinets: *martinetes mecánicos de caída* en los que la maza se levanta por medio de un mecanismo elevador y al llegar a una altura prefijada se deja caer por su propio peso y los *martinetes mecánicos de ballesta* en los que el accionamiento de la maza se realiza por un mecanismo de excéntrica, interponiendo en la transmisión una ballesta para absorber los golpes.

Deformación producida por los martinets

Suponiendo que la maza de peso P (kg) cae de una altura h (mm) produciendo una energía potencial E. Como parte de la energía se pierde por los rozamientos, la energía real estará en función del rendimiento energético  $\varphi_f$ . La superficie de contacto es S, la resistencia del material a la deformación  $\sigma_f$  (kg/mm<sup>2</sup>), y la magnitud de deformación e.

Así, la deformación será,

$$e = \frac{\varphi_f \cdot P \cdot h}{\sigma_f \cdot S}$$

Si además se impulsa a la maza con una fuerza exterior, la magnitud de deformación será:

$$e = \frac{\varphi_f \cdot (P + F) \cdot h}{\sigma_f \cdot S}$$

**3.2. Prensas**

En las prensas la compresión del metal en la forja se produce por presión progresiva. Según el procedimiento de accionamiento se clasifican en:

Prensas de fricción



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 - MARZO DE 2010

El esfuerzo deformador se obtiene de la energía cinética producida por el giro de un volante. El movimiento de giro del volante es transformado en movimiento lineal vertical de la maza por medio de un husillo. Como el volante puede girar en ambos sentidos, la maza puede bajar y subir.

A igualdad de peso, las prensas de fricción son las más potentes.

Prensas excéntricas

La corredera o maza está accionada por un mecanismo de excéntrica unida a una biela, que transforma el movimiento circular del eje accionado por un motor, en un movimiento de vaivén.

Normalmente este tipo de prensas se utilizan para la estampación en frío de la chapa.

En la forja, la única prensa horizontal que se utiliza es la *máquina de forjar*, la cual se utiliza para trabajos en serie.

Prensas hidráulicas

Generalmente son verticales, y están formadas por la maza que tiene una carrera vertical, guiada por cuatro columnas e impulsada por un émbolo por el interior de un cilindro por acción del agua o aceite.

Suele ser frecuente ver prensas de hasta tres cilindros de impulsión. Se puede cambiar el número de los cilindros en servicio para cambiar la potencia de trabajo.

Estas prensas también constan de:

*Cilindros de retroceso* que impulsan la maza hacia arriba tras su descenso.

*Cilindros expulsores* que expulsan las piezas estampadas.

*Bombas* para la impulsión del agua o el aceite para el accionamiento de las prensas hidráulicas.

*Acumuladores* para mantener las presiones de trabajo necesarias, acumulan reserva de potencia.

*Compresores* de aire empleados para el accionamiento de los acumuladores hidroneumáticos.

Potencia generada por las prensas

La potencia total de la prensa está en función de la multiplicación de la sección del émbolo de trabajo por la presión, esto es

$P_0 \times S_0$	P: presión ejercida por la prensa
$P = \frac{\dots}{S}$	P <sub>0</sub> : presión de trabajo
	S <sub>0</sub> : sección del émbolo
	S: “ de la pieza

Deformaciones producidas por las prensas



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 - MARZO DE 2010

Las deformaciones que producen las prensas se calculan de la misma manera que las deformaciones producidas por los martinets:

$$e = \frac{\varphi \cdot P \cdot h}{\sigma_f \cdot S}, \text{ donde } F = \sigma_f \cdot S, \text{ por lo que } F = \frac{\varphi \cdot P \cdot h}{e}$$

#### 4. ESTAMPACIÓN EN CALIENTE

La estampación en caliente tiene especial importancia en la forja mecánica y consiste en someter a un esfuerzo de compresión a un metal entre dos moldes de acero denominados *estampas*.

La estampa superior se denomina martillo y la inferior yunque. La estampa superior se fija en la corredera de la prensa y la inferior en la mesa.

Cuando las estampas son de grandes dimensiones, van provistas de bulones-guías, que las centran y absorben los esfuerzos axiales que se presentan en la estampación.

##### Materiales utilizados para fabricar estampas

Las estampas para la estampación en caliente deben tener:

- 1) Resistencia a la compresión
- 2) Resistencia al choque
- 3) Resistencia al desgaste
- 4) Resistencia a la altas temperaturas
- 5) Resistencia a la cortadura (si se emplean estampas para corte)

Los únicos materiales que reúnen estas cualidades son los aceros con tratamientos térmicos, ya que las estampas de fundición sólo se utilizan para series inferiores a cien piezas y para estampar materiales blandos.

Normalmente se utilizan los aceros aleados, pues al tener más templabilidad que los aceros al carbono obtienen mayores resistencias en piezas de gran espesor y al templarlas en aceite se reducen las deformaciones y se evitan las grietas. Su construcción es muy costosa.

##### Fabricación de estampas

Se deben tener en cuenta:



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 - MARZO DE 2010

*La determinación de la preforma:* preforma es la cantidad de material que se coloca en la estampa, la cual, puede tener una forma definida. Cuanto más se aproxime a la forma final de la pieza más fácil será la estampación.

*Distribución de la preforma entre las estampas:* si la pieza a estampar tiene un plano de simetría longitudinal cada una de las estampas lleva la conformación de media pieza.

Cuando las piezas son asimétricas se procura distribuir el material de tal manera que se favorezca su flujo.

Cuando las partes de separación de ambas partes de la pieza son inclinadas, las estampas se compensan con planos de sentido contrario, para anular las fuerzas laterales.

*Previsión de salidas de la pieza:* para facilitar la salida de la pieza una vez estampada, las paredes de las estampas llevan unas inclinaciones de 5 a 10 grados, que además facilitan el flujo y el llenado.

*Previsión de rebabas:* se pueden dar dos casos,

- Que se ponga menos material del necesario, con lo cual no se llena todo el hueco de la estampa y la pieza sale defectuosa.
- Que se ponga material en exceso, en cuyo caso las estampas no se cerrarán y la pieza quedará sobredimensionada, y se correrá el riesgo de que se rompa la estampa o se dañe la máquina.

Para evitar los dos defectos señalados, las estampas disponen de un hueco de rebose del material, en el cual siempre se pone un ligero exceso. Por tanto, las piezas salen con rebabas, que se cortan posteriormente

*Conformación escalonada:* Se debe tener en cuenta, que los materiales a forjar están en estado plástico, y no líquido, por lo que su fluencia está limitada.

La conformación escalonada en una serie de estampas sucesivas va acercando la forma del material a su estado definitivo.

El acierto de la construcción de una estampa no sólo depende de que su proyecto sea correcto, sino también de que su ejecución se realice adecuadamente.

Generalmente se parte de bloques de acero cuyas dimensiones guardan relación con el tamaño de la pieza que se va a estampar:

- Altura del bloque de 3 a 6 veces la profundidad del hueco
- Anchura del bloque de 2 a 3 veces la anchura del hueco
- Longitud del bloque = longitud de la pieza más 1,5 veces la profundidad del rebajado sumado a cada extremo

La construcción de la estampa, en líneas generales sigue el siguiente proceso:

- 1) Preparación de los bloques rectangulares o cilíndricos en cepilladoras, limadoras o tornos, puliendo la cara superior



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 28 - MARZO DE 2010

- 2) Trazado del dibujo de la pieza sobre la cara superior
- 3) Tallado de los huecos según la forma de la pieza a estampar, mediante fresadora, electroerosión etc.
- 4) Acabado de los huecos a mano con lima y rasquetas o herramientas rotativas portátiles
- 5) Taladrado conjunto de las dos medias estampas y colocación de los bulones guías
- 6) Tratamiento térmico
- 7) Comprobación de cotas y rectificado a la muela

Es frecuente que requieran un mantenimiento considerable, para asegurar la tersura y precisión de la cavidad y de la línea de junta.

Respetando las siguientes reglas se lograrán mejores resultados y procesos más económicos:

- 1) La línea de junta de la matriz debe estar contenida en un sólo plano
- 2) La línea de junta debe pasar por el centro de la pieza, y no junto al borde superior o inferior
- 3) Debe poseer la salida conveniente : como mínimo 3 grados para aluminio y de 5 a 7 grados para los aceros
- 4) Los acuerdos y radios deben ser generosos
- 5) Las nervaduras deben ser bajas y anchas
- 6) Deben equilibrarse las distintas porciones en el sentido de evitar grandes diferencias en el flujo del metal
- 7) Deben aprovecharse al máximo las líneas de orientación de las fibras
- 8) Las tolerancias dimensionales no deben ser más estrechas de lo necesario

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Ares, J.A. (2007). *Forja*. Barcelona: Parramon Ediciones.

Ares, J.A. (2004). *El metal: Técnicas de conformado. Forja y soldadura: Las técnicas de trabajar los metales con oficio y arte explicadas con rigor y claridad*. Barcelona: Parramon Ediciones.

Autoría

---

- Nombre y Apellidos: Gorka Gardoqui Lamiquiz
- E-mail: a27032007@hotmail.com