



La importancia de la estructura cristalina de los metales en los procesos mecánicos industriales

The importance of the crystalline structure of metals in industrial mechanical processes

A importância da estrutura cristalina dos metais nos processos mecânicos industriais

Javier Milton Solís-Santamaria ^I
jsolis.istmnv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9291-1906>

Orlando Vladimir Miranda-Reyes ^{II}
omiranda.istg@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1413-1119>

Lisette Estefanía Carranza-Vargas ^{III}
liz.stefa@yahoo.es
<https://orcid.org/0000-0002-0838-2133>

Juan Gabriel Ballesteros-López ^{IV}
jballesteros.istmnv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1759-512X>

Correspondencia: jsolis.istmnv@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículos de investigación

***Recibido:** 16 de julio de 2021 ***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 * **Publicado:** 30 de septiembre de 2021

- I. Maestría en Ingeniería Mecánica Mención Sistemas de Transporte.
- II. Ingeniero Automotriz. Investigador Independiente.
- III. Ingeniera Electrónica en Control y Redes Industriales
- IV. Magíster en seguridad industrial mención prevención de riesgos y salud ocupacional

Resumen

La evolución del hombre esta entrelaza con los metales, debido a que la humanidad se desarrolló a través de eras reflejadas en la edad de piedra, edad de bronce, edad del acero y la edad de los superligeros. Es así que, la formación de nuevos materiales provenientes de la combinación de metales naturales ha permitido desarrollar nuevas tecnologías, que permiten la construcción de innumerables maquinarias y equipos. Esto es gracias a los diversos fenómenos que ocurren, producto del acomodamiento atómico dentro de las estructuras, lo que permite arrojar diferentes propiedades de los metales. En consecuencia, estas estructuras cristalinas permitirán variar los parámetros de muchos procesos de conformado de los metales. Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es analizar la importancia de la estructura cristalina de los metales en los procesos mecánicos industriales. La metodología empleada se basó en un diseño bibliográfico de tipo documental. En conclusión, los metales poseen diversas estructura cristalinas que condicionan los procesos de conformado, debido a que dichas estructuras tienen un acomodamiento atómico que pueden dar mayor resistencia, como la estructura BCC o HCP, lo que condiciona el trabajo en función de la temperatura; materiales de mayor resistencia deben ser calentados para que se pueda producir más fácilmente la deformación del metal, gracias a la condición alotrópica del mismo; los metales con estructura atómica FCC se trabaja en frío porque su acomodamiento atómico brinda una menor resistencia, es decir una mayor ductilidad del metal.

Palabras claves: Átomos; estructura; cristales; conformado; resistencia; ductilidad.

Abstract

The evolution of man is intertwined with metals, because humanity developed through eras reflected in the stone age, bronze age, age of steel and the age of superlight. Thus, the formation of new materials from the combination of natural metals has allowed the development of new technologies, which allow the construction of innumerable machinery and equipment. This is thanks to the various phenomena that occur, a product of the atomic accommodation within the structures, which allows different properties of metals to be cast. Consequently, these crystalline structures will allow the parameters of many metal shaping processes to be varied. Therefore, the general objective of this research is to analyze the importance of the crystalline structure of metals in industrial mechanical processes. The methodology used was based on a bibliographic design of the documentary type. In conclusion, metals have various crystalline structures that condition the

shaping processes, due to the fact that these structures have an atomic arrangement that can give greater resistance, such as the BCC or HCP structure, which conditions the work depending on the temperature; Materials of greater resistance must be heated so that the deformation of the metal can more easily occur, thanks to its allotropic condition; Metals with an atomic structure FCC are worked cold because their atomic accommodation provides less resistance, that is, greater ductility of the metal.

Keywords: Atoms; structure; crystals; conformed; endurance; ductility.

Resumo

A evolução do homem se confunde com os metais, pois a humanidade se desenvolveu através de eras refletidas na idade da pedra, idade do bronze, idade do aço e idade da superluz. Assim, a formação de novos materiais a partir da combinação de metais naturais tem permitido o desenvolvimento de novas tecnologias, que permitem a construção de inúmeras máquinas e equipamentos. Isso se deve aos diversos fenômenos que ocorrem, produto da acomodação atômica dentro das estruturas, que permite a fundição de diferentes propriedades dos metais. Consequentemente, essas estruturas cristalinas permitirão que os parâmetros de muitos processos de modelagem de metal sejam variados. Portanto, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a importância da estrutura cristalina dos metais nos processos mecânicos industriais. A metodologia utilizada baseou-se num desenho bibliográfico do tipo documental. Em conclusão, os metais possuem diferentes estruturas cristalinas que condicionam os processos de conformação, devido ao fato de essas estruturas possuírem uma acomodação atômica que pode dar maior resistência, como a estrutura BCC ou HCP, que condiciona o trabalho em função da temperatura; Materiais de maior resistência devem ser aquecidos para que a deformação do metal possa ocorrer mais facilmente, graças à sua condição alotrópica; Metais com estrutura atômica FCC são trabalhados a frio porque sua acomodação atômica proporciona menor resistência, ou seja, maior ductilidade do metal.

Palavras-chave: Atoms; estrutura; cristais; conformado; resistência; ductilidade.

Introducción

Los materiales, en especial los metales, han estado entrelazados con el desarrollo de la humanidad, tanto así que el hombre a evolucionado a través de eras reflejadas en la edad de piedra, edad de

bronce, edad del acero y la edad de las superaleaciones. En este sentido, la curiosidad permitió crear constantemente innovaciones en materiales, lo que permitió solventar las necesidades más básicas y complicadas de la sociedad. Según Callister (2005)

El hombre primitivo sólo tuvo acceso a un número muy limitado de materiales, que encontró en la naturaleza: piedras, madera, arcilla, cuero y pocos más. Con el transcurso del tiempo, el hombre descubrió técnicas para producir materiales con propiedades superiores a los de los naturales; entre estos nuevos materiales se encontraban la cerámica y algunos metales. Además, se descubrió que las propiedades de un material se podrían modificar por tratamiento térmico o por adición de otras sustancias. (pág. 2)

La formación de nuevos materiales provenientes de la combinación de metales naturales ha permitido desarrollar nuevas tecnologías. Esto proviene a consecuencia de la era de bronce, cuando el hombre paso de desarrollar sus actividades a través de la piedra y madera a convertir dos elementos naturales como el Cobre y el Estaño en materiales que utilizaba para la cocción de los alimentos, para el desarrollo de la agricultura y construcción, para la ampliación de herramientas para la pesca, caza y protección. Asimismo, llego la era del Acero en la revolución industrial, donde el hierro era combinado con el carbono más otros elementos para formar uno de los principales materiales que todavía en la actualidad tiene protagonismo. El acero es utilizado en grandes proporciones para la construcción de edificaciones, maquinaria pesada, automóviles, barcos y aeronaves. En estos tiempos que domina la globalización, son los materiales superlivianos que prevalecen por su bajo peso, resistencia eléctrica, térmica y mecánica, donde destacan el aluminio, las superaleaciones cromo-cobalto, los termoplásticos, entre otros.

Sin embargo, los metales siempre han sido los materiales por excelencia en los procesos de construcción de innumerables maquinarias y equipos. Es así que Askeland (1998) comenta que los metales, de manera general, tienen como características una buena conductividad eléctrica y térmica, una resistencia relativamente alta, una alta rigidez, ductilidad o conformabilidad y resistencia al impacto. Estas cualidades que resaltan entre los demas materiales porque provienen de las características de su estructura atómica.

Los átomos son una de las unidades más pequeñas que contiene la materia, la cual contiene partículas que le dan sentido a la formación de la misma y su respuesta ante variables que se ejecutan sobre estas. El átomo esta constituido por un núcleo, conformado por la misma cantidad de neutrones y protones, y electrones que giran alrededor de éste. En los ultimos años se ha

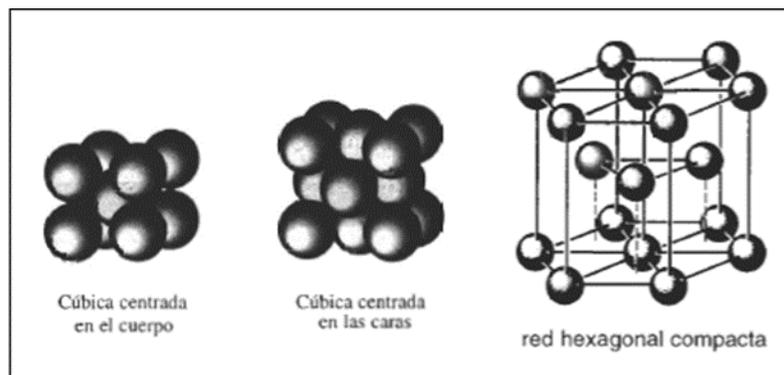
determinado la existencia de las partículas quarks que habitan dentro del protón y que dan sentido a la formación de la materia. Las características de la estructura atómica lo refleja Avner (1988) en su libro denominado Introducción a la Metalurgia Física:

Los electrones que dan vueltas sobre sus propios ejes conforme giran alrededor del núcleo, están arreglados en capas definidas. El máximo número de electrones que puede acomodar en cada capa es de $2n^2$, donde n es el número de capas. A su vez, cada capa es subdividida en niveles de energía. El número de niveles de energía aumenta con la distancia desde el núcleo y los electrones tienden a ocupar los niveles de energía más bajos. (pág. 79)

De igual forma, la estructura atómica es diferente para cada tipo de metal, por lo cual es uno de los tantos factores que brinda propiedades diferentes en los metales o aleaciones. Kalpakjian (2002) señala que la composición del metal, las impurezas y vacantes en la estructura atómica, el tamaño de grano, las fronteras del grano, el entorno, el tamaño y estado superficial del metal son unos de los elementos que modifican las propiedades del metal.

Para poder comprender estos factores es importante detallar la relevancia que tiene la estructura cristalina, la cual está conformada por una n cantidad de átomos del elemento químico principal unidos a través del efecto electromagnético de sus núcleos, permitiendo que se generen los electrones de valencia que brindan parte del porque de las propiedades de los metales. Estas estructuras cristalinas están conformadas por 14 redes, donde 3 de ellas predominarán la gran cantidad de elementos químicos. Estas estructuras son la centrada en el cuerpo (BCC), la centrada en las caras (FCC) y la hexagonal compacta (HCP), las cuales se observan en la Figura 1.

Figura 1. Estructura cristalina BCC, FCC y HCP.



Fuente: (Askeland, 1998)

El acomodamiento atómico dentro de estas estructuras y los espacios libres que puedan existir conforman las diferentes propiedades de los metales. En los espacios libres puede existir la posibilidad de que se añada otro elemento ajeno al elemento principal. Estos conceptos concuerdan con los términos solvente (el de mayor cantidad y es el elemento principal) y soluto (el de menor cantidad y es el que se agrega al solvente). Esto permitirá la formación de las diversas aleaciones metálicas que brindaran las soluciones a las múltiples necesidades de la humanidad.

En consecuencia, estas estructuras cristalinas permitirán variar los parámetros de muchos procesos de conformado de los metales. Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es analizar la importancia de la estructura cristalina de los metales en los procesos mecánicos industriales. La metodología empleada se basó en un diseño bibliográfico de tipo documental.

Metodología

La metodología utilizada se basó en un diseño bibliográfico de tipo documental. Este tipo de metodología tiene como principales herramientas los textos, documentos y artículos científicos publicados disponibles en la web. Por lo cual, la investigación documental se concreta exclusivamente en la recopilación de información de diversas fuentes, con el objeto de organizarla describirla e interpretarla de acuerdo con ciertos procedimientos que garanticen confiabilidad y objetividad en la presentación de los resultados (Palella & Martins, 2010).

Resultados y discusión

Solidificación de las estructuras cristalinas

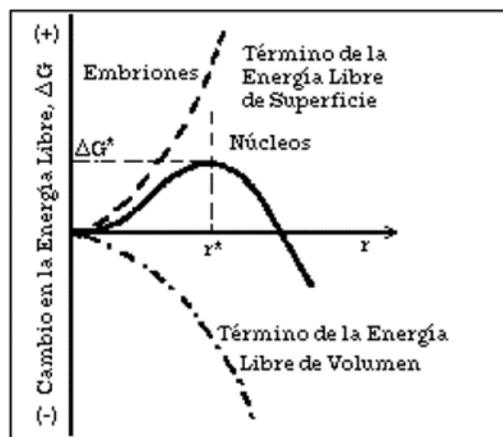
Cuando los materiales metálicos se encuentran en el estado líquido es porque han superado su temperatura de fusión. Los átomos se encuentran cargados energéticamente que se encuentran dispersos por todo el volumen del recipiente que los contiene, gracias a esa energía externa que se transformó en un aumento de la energía vibracional producto del movimiento de los electrones alrededor del núcleo, más una energía cinética gobernada por la velocidad con que se desplaza, así como también una energía potencial que depende de la distancia que recorre gracias a la alta temperatura que se manifiesta.

Al empezar a disminuir la temperatura externa, la energía interna también empieza a disminuir por lo que empieza la transformación de fase líquida a fase sólida. La solidificación empieza desde la parte en contacto con el medio de enfriamiento, es decir desde la superficie hacia el centro de la

pieza. El centro es lo último que se solidifica. Esta situación ocurre gracias al fenómeno de nucleación y crecimiento. Según el profesor Quintero (2003) la transformación líquido-sólido es un proceso discontinuo de primer orden, caracterizado por la existencia de racimos de la fase sólida dentro del líquido antes de que se produzca la solidificación; durante este proceso se produce el crecimiento de esos núcleos hasta conformar todo el volumen.

La solidificación está gobernada por la energía libre del sistema. La energía libre (ΔG) depende de la energía interna, llamada entalpía (ΔH), de la temperatura y de la energía externa, llamada entropía (ΔS). Esto queda de la siguiente manera $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$. La entropía es la clave para la transformación de líquido a sólido, debido que gobierna el desorden de los átomos, la cual aumenta cuando aumenta la temperatura. Al aumentar la entropía lo hace en menor grado la entalpía, por lo cual el ΔG es negativo. Si existe la solidificación, la temperatura disminuye, disminuye también el desorden de los átomos y por ende la energía interna también lo hace. Esto produce un ΔG positivo. Cuando ocurre la solidificación, lo primero que sucede es la nucleación de las primeras partículas en el estado sólido. La energía libre de la superficie es mayor a la energía libre de todo el volumen. Esto sucede porque es allí donde empieza a formarse los primeros cristales sólidos, debido a que esta en contacto con el medio de enfriamiento. Al comienzo de la solidificación, los núcleos se forman y desaparecen por las altas temperaturas. Estos núcleos que se desintegran son porque no superan el tamaño crítico que les permitirá crecer y formar la estructura cristalina en el estado sólido. En la Figura 2 se detalla la energía libre en función de radio de los núcleos.

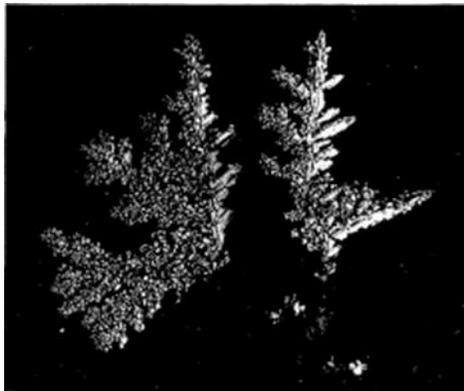
Figura 2. El radio crítico del núcleo depende de la energía libre.



Fuente: (Quintero, 2003)

Cuando los núcleos superan el radio crítico, empieza a gobernar el crecimiento de los mismos disminuyendo la posibilidad de formar nuevos núcleos. Esto va acompañado de la disminución de la energía libre, a consecuencia de la disminución de la temperatura producto de la solidificación, disminución de la entropía y entalpía. Con el crecimiento se forman los granos, los cuales están conformados por las diferentes estructuras cristalinas. Estas estructuras dependen del tipo de metal que se esté solidificando. El crecimiento se hace en las direcciones del enfriamiento, esto produce que la estructura se forme tipo árbol. Esta estructura se le denomina dendrita, tal como se detalla en la Figura 3.

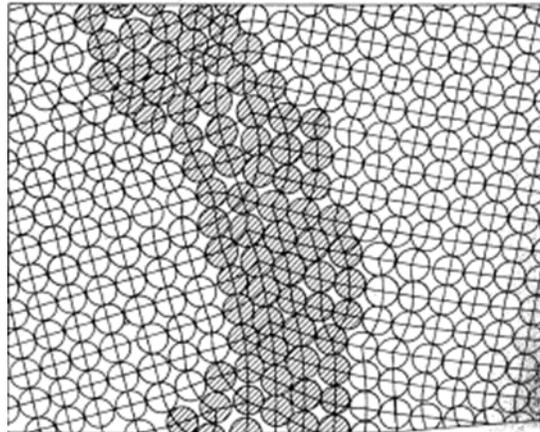
Figura 3. Dendrita de magnesio que crecen a partir de un líquido



Fuente: (Avner, 1988)

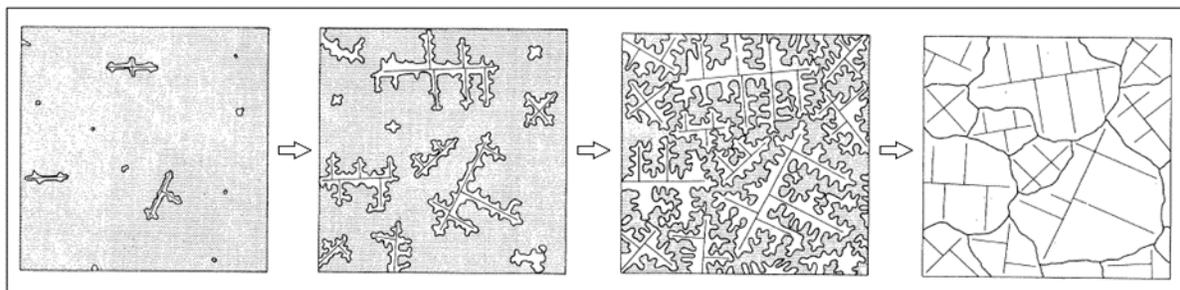
A medida que aumenta la solidificación las dendritas crecen formando los cristales que caracterizan a los metales. Estos cristales son denominados granos. El área a lo largo de la cual están unidos los cristales se conoce como frontera de grano, donde los átomos se encuentran espaciados irregularmente, debido a que son los últimos residuos del líquido que se solidifican y por lo cual tiene mayor probabilidad de concentración de impurezas atómicas en esa área. Los granos y límites de grano se detallan en la Figura 4. En la Figura 5 se muestra el proceso de solidificación, desde la nucleación y crecimiento de los granos.

Figura 4. Representación esquemática de un límite de grano entre dos granos



Fuente: (Avner, 1988)

Figura 5. Representación esquemática del proceso de cristalización por nucleación y crecimiento dendrítico.



Fuente: (Avner, 1988)

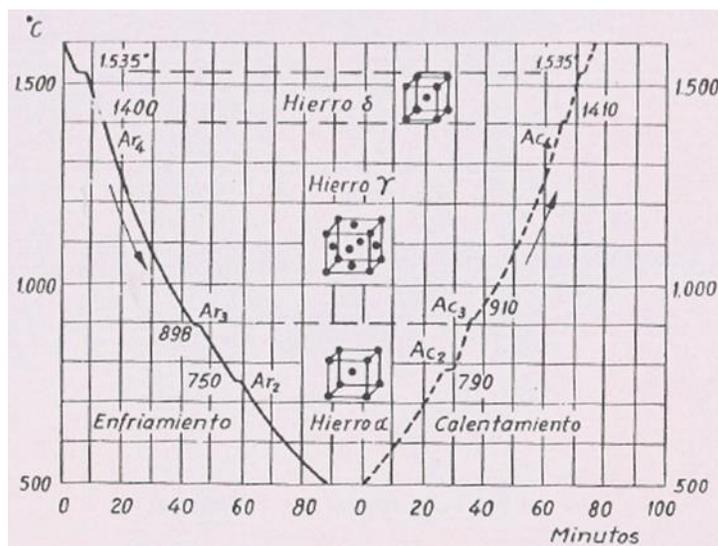
Estructura cristalina BCC

La estructura cristalina centrada en el cuerpo tiene como fundamento que la celda unitaria, mostrada en la Figura 1, tiene un átomo del solvente completo en el centro y fracciones de átomos en los vértices. Los átomos del centro y de los vértices se tocan mutuamente a lo largo de las diagonales del cubo y la longitud a de la arista de la celdilla y el radio atómico R (Callister, 2005). Los elementos químicos que presentan este tipo de estructura son cromo, tungsteno, hierro alfa (α), hierro delta (δ), molibdeno, vanadio y sodio (Avner, 1988). Una particularidad tiene el hierro y es que presenta el fenómeno alotrópico. El término alotropía por lo general se reserva para elementos que cambian su estructura cristalina en función del aumento de temperatura, como es el caso del hierro que a bajas temperaturas es BCC y a temperaturas más altas es FCC (Askeland, 1998). El efecto alotrópico del hierro se detalla en la Figura 6. Este fenómeno es interesante en una de los

principales materiales que se utilizan a nivel industrial como es el acero, debido a que su principal elemento es el hierro y por lo cual adopta estas mismas características del metal puro.

Asimismo, en temperaturas menos a 910°C el hierro se presenta bajo una estructura BCC. Esta estructura es resistente mecánicamente, debido a la presencia del átomo en el centro de la celda. Para poder comprender este fenómeno es necesario detallar que cuando un metal se le aplica una fuerza externa, sea en un proceso de conformado, los átomos empiezan a moverse gracias a los electrones de valencia que sirven de plano de deslizamiento. La presencia de ese átomo en el centro no permite un desplazamiento eficiente, caso contrario produce resistencia a dicha movilidad. Esto último se traduce en un incremento en la resistencia mecánica. En consecuencia la estructura cristalina BCC produce a la resistencia en los metales que poseen este acomodamiento.

Figura 6. Efecto alotrópico del hierro cuando varía la temperatura.



Fuente: (Apraiz Barreiro, 1984)

Por otra parte, una de las características más importantes de las estructuras cristalinas es el factor de empaquetamiento, que no es más que el espacio ocupado por los átomos del elemento. Esta situación es muy importante para el estudio del endurecimiento por solución, es decir agregar átomos de solutos en la estructura del solvente. Lo que realmente interesa es el espacio libre, en la cual radica la incursión de los átomos intersticiales de carbono para formar uno de las principales aleaciones como lo es el acero. Los átomos de carbono al poseer menor radio atómico de que los átomos de hierro se ubican dentro de esos espacios libres que genera esta estructura BCC. Esto aumenta aún más la resistencia del material porque lo vuelve más denso y menor probable que los

átomos se desplacen producto de la fuerza ejercidas externamente. El factor de empaquetamiento es de 68% (Callister, 2005). El espacio libre es del 32%.

Estructura cristalina FCC

Este tipo de estructura cristalina es la misma que se visualiza en la Figura 1, donde existen fracciones de átomos en los vértices y mitad de átomo en las caras de la celda. Cada átomo de las caras toca los átomos de las esquinas más próximas (Avner, 1988). Cristalizan en esta estructura el cobre, aluminio, plata, níquel y oro (Callister, 2005).

El factor de empaquetamiento de la estructura FCC es del 74% (Callister, 2005). Es decir, el espacio libre del 26%, lo que produce que estos metales tienen pocas aleaciones debido a que solo sucederá el endurecimiento por solución si los átomos de soluto son del mismo tamaño del átomo del solvente, claro está cumpliendo las reglas de Hume-Rothery. Esta situación es la que permite que los átomos de soluto sean de tipo sustitucional.

Este tipo de estructura se detalla en el fenómeno alotrópico del hierro, entre 911°C a 1400°C. Este tipo de estructura es mucho más accesible para que la movilidad de los átomos se desarrollen si hay presencia de una energía externa, especialmente presiones y fuerzas ejercidas en los distintos procesos de conformado. Al no existir un átomo en el centro sino fracciones del mismo en las caras de la celda permite que la movilización de los átomos aumenten. Esto permite que el metal sea más dúctil; es decir menos resistente.

Estructura cristalina HCP

Según Avner (1988) la figura usual muestra dos planos basales en forma de hexágonos regulares, con un átomo tanto en cada esquina del hexágono como en el centro; además, hay tres átomos en forma de triángulo a la mitad de la distancia entre los dos planos basales. El factor de empaquetamiento de este tipo de estructura es igual al de la estructura FCC, lo que corresponde a un 74% (Callister, 2005). Los metales que cristalizan en este tipo de estructura son el berilio, cadmio, cobalto, magnesio, titanio, zinc y circonio (Kalpakjian, 2002).

Diferentes procesos de conformado de metales

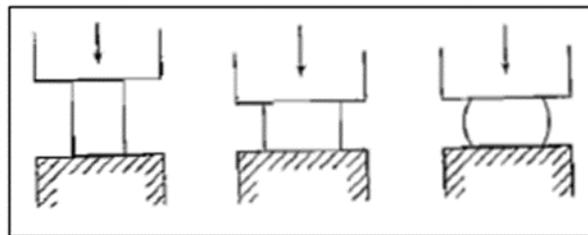
Para la obtención de maquinarias y equipos a nivel industrial es necesario que los metales pasen por una serie de procesos de conformados donde se involucren parámetros como presiones, temperaturas, fuerzas de roce, tamaño de la pieza, entre otras. Estas variables, en especial la temperatura y la presión, serán diferentes si la estructura cristalina es diferente. En tal sentido, se

debe conocer como es la descripción de cada proceso de conformado para así comprender la influencia de la estructura cristalina en estos desarrollos.

Forjado

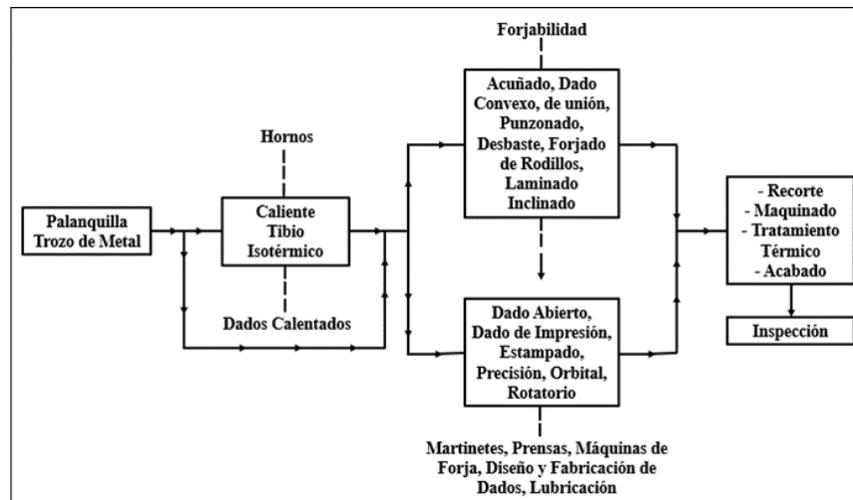
Uno de los principales procesos que realizó el hombre a comienzos de su evolución fue el forjado. Este proceso consiste en modificar la forma de una pieza a través del uso de presiones por medios de martillos o por equipos como el martinete o prensa hidráulica. El proceso de forjado se puede observar en la Figura 7. Según Dieter (1987) en su libro Metalurgia Mecánica señala que el forjado evolucionó en la revolución industrial, por lo que se sustituyó el brazo del herrero por las máquinas, donde en la actualidad hay una extraordinaria variedad de equipos de forja que permiten obtener piezas con tamaños que van desde un remache, a un rotor de turbina o un ala entera de aeroplano. En la Figura 8 se muestra la secuencia de pasos para realizar el forjado.

Figura 7. Proceso de forjado



Fuente: (Dieter, 1987)

Figura 7. Secuencias de pasos para realizar el forjado



Fuente: (Kalpakjian, 2002)

En general, el forjado se puede realizar variando la temperatura del metal o palanquilla que se desea conformar. Esto es lo que se denomina trabajo en frío y trabajo en caliente. Según Kalpakjian (2002) señalan que

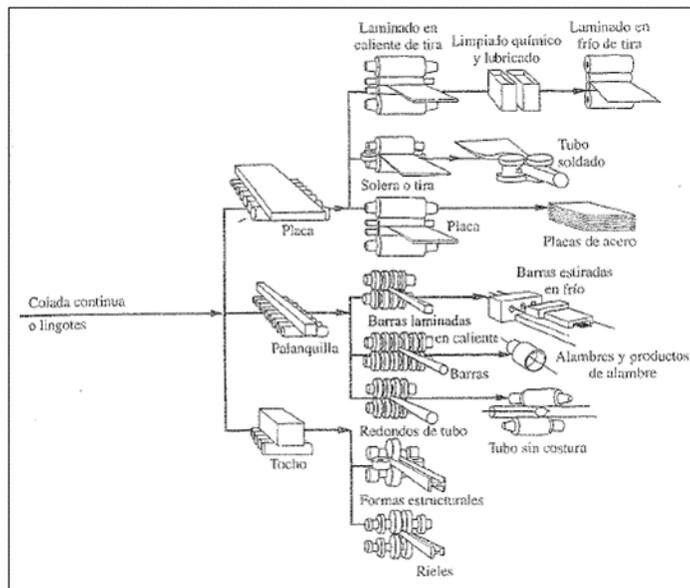
El forjado en frío requiere mayores fuerzas, por la alta resistencia del material, y los materiales de la pieza deben tener la ductilidad suficiente a temperatura ambiente. Las piezas forjadas en frío tiene buen acabado superficial y buena precisión dimensional. El forjado en caliente se requieren menores fuerzas, pero producen precisión dimensional y acabado superficial que no son tan buenos. (pág. 342)

Esta situación es característica de todos los procesos de conformado. El trabajo en caliente se hace realmente en materiales que poseen una estructura cristalina resistente como es el caso de la BCC. Del mismo modo, se eleva la temperatura de trabajo porque se juega con la condición alotrópica del acero, según sea el caso de que se este trabajando con este metal. Al aumentar la temperatura, la estructura cambia de BCC a FCC, pasando de un material resistente a un material dúctil.

Laminación

A nivel industrial es uno de los primeros procesos de conformado, el cual consiste en modificar las palanquillas provenientes del proceso de función. Esta materia prima se deforma a través de unos rodillos que ejercen la fuerza y van dando forma que se requiere en el producto final. Al deformar los metales pasándolos entre los rodillos se somete el material a intensas tensiones de compresión, por el efecto del aplastamiento de los rodillos y a tensiones superficiales de cizallamiento originadas por la fricción entre los rodillos y el metal (Dieter, 1987). El proceso de laminado plano y de forma se puede detallar en la Figura 8.

Figura 8. Proceso de laminado plano y de forma



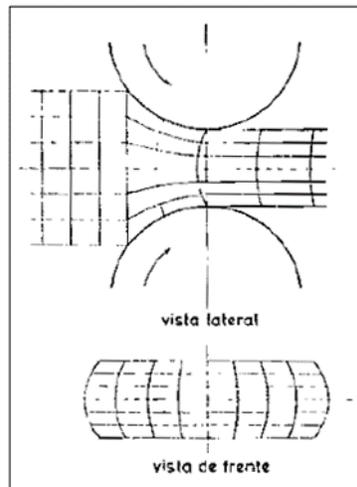
Fuente: (Kalpakjian, 2002)

Del mismo modo, como se desarrolla el proceso de forjado en función de la temperatura de trabajo, la laminación ocurre de la misma forma. Sin embargo, considera que primero se efectúa a temperaturas elevadas (laminado en caliente), durante esta fase, la estructura de grano basta, frágil y porosa del lingote o del metal continuamente colado se reduce a una estructura laminada (forjada) con un tamaño de grano más fino y mejores propiedades (Kalpakjian, 2002). En otras palabras, adquiere mayor resistencia.

En la laminación, en caliente o en frío, se pretende, fundamentalmente, disminuir el espesor del metal. Por lo general aumenta poco la anchura, por lo que la disminución del espesor se traduce en aumento de longitud. El perfilado de la chapa con rodillos, que a veces se llama perfilado por laminación, es una operación especial de trabajo en frío en la que la chapa o fleje se pliega progresivamente, para obtener perfiles estructurales de formas complejas, pasándolas a través de series de cilindros o rodillos accionados mecánicamente. (Dieter, 1987, pág. 521)

El aumento o distorsión del ancho, la disminución del espesor y el aumento de la longitud de la palanquilla se detalla en la Figura 9.

Figura 9. Distorsión de la palanquilla en el proceso de laminación.

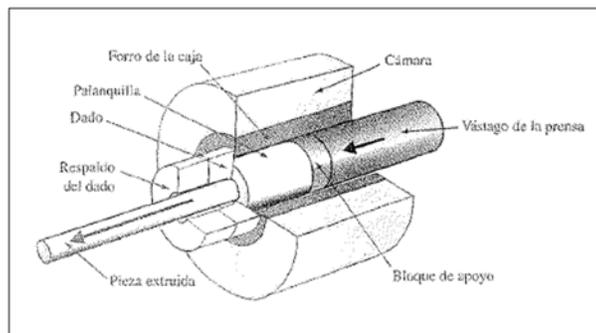


Fuente: (Dieter, 1987)

Extrusión

Este tipo de conformado se utiliza para obtener piezas de gran longitud y su forma va a depender de la forma del dado. Este proceso consiste en pasar la palanquilla por una matriz que contiene un dado con la forma que se requiere en la pieza. Según Dieter (1987) la extrusión se emplea, en general, para obtener barras o tubos, pero también se pueden obtener perfiles con secciones de formas complicadas, en el caso de metales más fáciles de extrudar, por ejemplo, el aluminio. El proceso de extrusión se ve reflejado en la Figura 10.

Figura 10. Esquema del proceso de extrusión directa.



Fuente: (Kalpakjian, 2002)

Existen diversos productos que son fabricados a través de este proceso de conformado. Estos productos son puertas corredizas, tubos de distintos perfiles transversales, perfiles estructurales y arquitectónicos y marcos para puertas y ventanas; los productos extrudidos se pueden cortar en

tramos, con lo que se transforman en piezas discretas como soportes, engranajes y perchas (Kalpakjian, 2002). Este tipo de conformado también se puede realizar en frío o en caliente, según sea el metal que se va a trabajar.

Se necesitan presiones elevadas y, por ello, la mayoría de los metales se extrusán en caliente, a fin de que sea menor la resistencia a la deformación. A pesar de ello, también se puede hacer la extrusión en frío en el caso de muchos metales, por lo que este proceso está alcanzando una importancia industrial considerable. La reacción de la palanquilla contra el cuerpo de extrusión y la matriz origina altas tensiones de comprensión, que son muy eficaces para evitar el agrietamiento del material en el desbaste primario de la palanquilla. Esta es una razón importante para la creciente utilización de la extrusión en el trabajo de los metales difíciles de conformar, tales como los aceros inoxidables, las aleaciones a base de níquel y el molibdeno. (Dieter, 1987, pág. 549)

Referencias

1. Apraiz Barreiro, J. (1984). Tratamiento térmico de los aceros, 8va Edición. Madrid, España: Editorial Dossat, S. A.
2. Askeland, D. (1998). Ciencia e Ingeniería de los materiales. México, D.F., México: International Thomson.
3. Avner, S. (1988). Introducción a la metalurgia física, 2da edición. México, D. F. : McGraw-Hill / Interamericana de México S. A de C. V. .
4. Callister, W. (2005). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Barcelona, España: Editorial Reverté, S. A.
5. Dieter, G. (1987). Metalurgia Mecánica. Madrid, España: Editorial Aguilar.
6. Kalpakjian, S. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. México, D.F.: Editorial Pearson.
7. Palella, S., & Martins, F. (2010). Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas, Venezuela: FEDUPEL, Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
8. Quintero, O. (2003). Solidificación. Caracas, Venezuela: Departamento de Ciencia de Materiales, Universidad Simón Bolívar.

© 2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)