



Características del proceso de conformado en láminas de aluminio de la serie 6000

Characteristics of the 6000 Series Aluminum Sheet Forming Process

Características do processo de formação de folha de alumínio da série 6000

Jorge Luís Lema-Loja ^I
jorgelema@uti.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1515-4526>

Pedro Andrés Moreno-Zulca ^{II}
pmoreno@istct.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7623-7117>

Edilberto Antonio Llanes-Cedeño ^{III}
<https://orcid.org/0000-0001-6739-7661>
antonio.llanes@uisek.edu.ec

Correspondencia: jorgelema@uti.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 05 de julio de 2020 ***Aceptado:** 20 de agosto 2020 * **Publicado:** 01 de septiembre de 2020

- I. Magíster en Sistemas Automotrices Msc, Ingeniero en Mecánica Automotriz, Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato, Ecuador.
- II. Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Ingeniero Automotriz, Universidad internacional SEK, Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.
- III. Máster en Eficiencia Energética, Doctor Dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería Rural, Ingeniero Mecánico Automotriz, Universidad internacional SEK, Ecuador.

Resumen

El aluminio se ha convertido en uno de los principales materiales utilizados a nivel industrial y en áreas arquitectónicas, debido a su gran versatilidad, bajo peso, gran maleabilidad y conformabilidad, resistencia a la corrosión y alta conductividad eléctrica. Existen una diversidad de aleaciones de aluminio, donde la serie 6000 destaca por su gran utilidad en los procesos de conformación metálica, en especial la extrusión. La influencia de sus propiedades metalúrgica es bastante significativa en la modificación de las propiedades mecánicas y esto es debido a la precipitación del compuesto Mg_2Si . Por lo cual, el objetivo general de la investigación es analizar las características de los procesos de conformado en láminas de aluminio de la serie 6000. La metodología empleada se basa en investigaciones de tipo documental y bibliográfica. Los resultados se basaron en los análisis de los tipos de procesos de conformado y las características de la aleación 6000 dentro de estos procesos. Como conclusión se obtuvo que el Mg_2Si , sumado a otros, permiten modificar las propiedades mecánicas del aluminio, como el 6061, 6063 o 6082, las cuales juegan un papel importante dentro de los procesos de conformado, debido a que ayuda a la deformabilidad de característica estable dentro de la matriz obteniendo productos, utilizados mayormente en el área automotriz, de gran variedad sin importar el diseño y dimensiones y con gran resistencia mecánica y a la corrosión.

Palabras Claves: aluminio; elementos aleantes; compuesto; conformado.

Abstract

Aluminum has become one of the main materials used at an industrial level and in architectural areas, due to its great versatility, low weight, great malleability and formability, resistance to corrosion and high electrical conductivity. There are a variety of aluminum alloys, where the 6000 series stands out for its great utility in metal forming processes, especially extrusion. The influence of its metallurgical properties is quite significant in the modification of the mechanical properties and this is due to the precipitation of the Mg_2Si compound. Therefore, the general objective of the research is to analyze the characteristics of the 6000 series aluminum sheet forming processes. The methodology used is based on documentary and bibliographic research. The results were based on the analysis of the types of forming processes and the characteristics of Alloy 6000 within these processes. As a conclusion, it was obtained that Mg_2Si , added to others, allow modifying the mechanical properties of aluminum, such as

6061, 6063 or 6082, which play an important role within the forming processes, because it helps the deformability of characteristic stable within the matrix obtaining products, used mainly in the automotive area, of great variety regardless of design and dimensions and with great mechanical and corrosion resistance.

Keywords: aluminum; alloying elements; compound; conformed.

Resumo

O alumínio tornou-se um dos principais materiais utilizados a nível industrial e em áreas arquitetônicas, devido à sua grande versatilidade, baixo peso, grande maleabilidade e conformabilidade, resistência à corrosão e alta condutividade elétrica. Existem diversas ligas de alumínio, onde a série 6000 se destaca pela grande utilidade nos processos de conformação de metais, principalmente extrusão. A influência de suas propriedades metalúrgicas é bastante significativa na modificação das propriedades mecânicas e isso se deve à precipitação do composto Mg_2Si . Portanto, o objetivo geral da pesquisa é analisar as características dos processos de conformação de chapas de alumínio da série 6000. A metodologia utilizada é baseada em pesquisa documental e bibliográfica. Os resultados foram baseados na análise dos tipos de processos de conformação e nas características do Alloy 6000 dentro desses processos. Como conclusão, obteve-se que o Mg_2Si , somado a outros, permite modificar as propriedades mecânicas do alumínio, como 6061, 6063 ou 6082, que desempenham um papel importante dentro dos processos de conformação, pois auxiliam na deformabilidade das características estáveis dentro da matriz obtendo produtos, utilizados principalmente na área automotiva, de grande variedade independente de design e dimensões e com grande resistência mecânica e à corrosão.

Palavras-chave: alumínio; elementos de liga; composto; conformado.

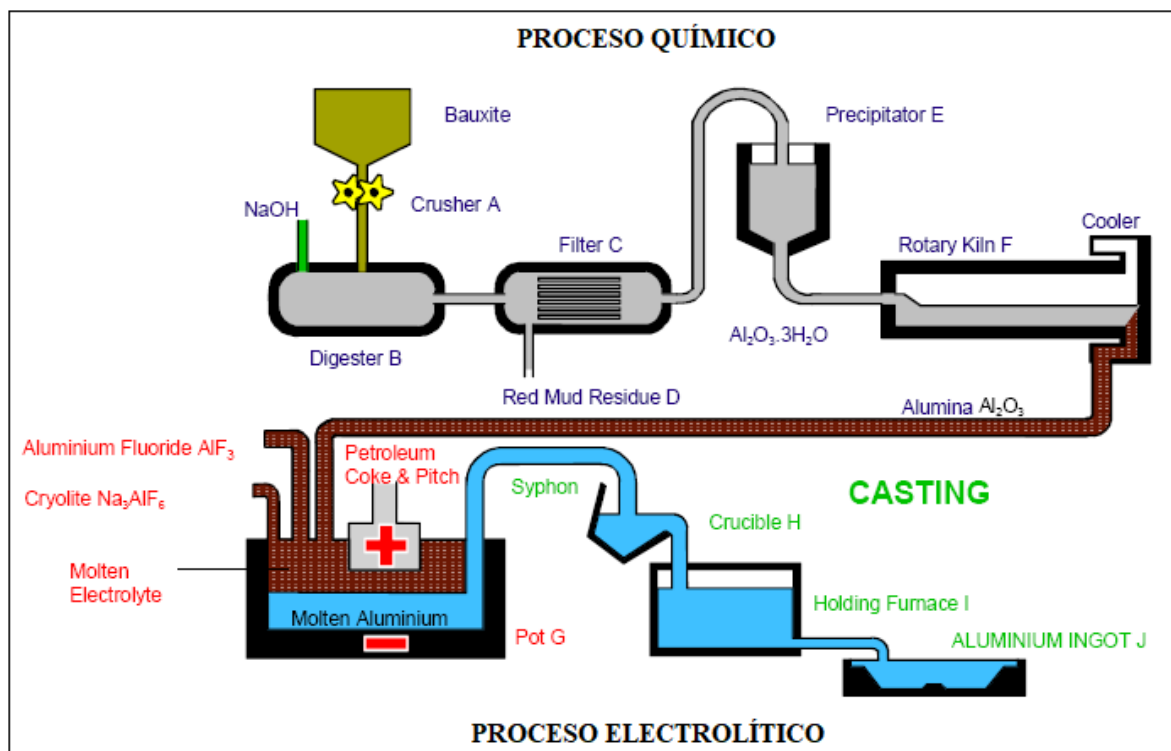
Introducción

Una de los materiales más utilizados en los diversos procesos industriales es el aluminio y debido a su gran versatilidad y bajo peso a diferencia del acero u otros materiales. Su aparición ha permitido un gran auge en el desarrollo de nuevas técnicas, procesos y aplicaciones. Es por ello, que resulta necesario poder comprender su proceso de extracción del mineral y la transformación en uno de los materiales más utilizados en la actualidad.

El proceso de extracción ocurre cuando se obtiene la bauxita de los yacimientos de aluminio. De aquí proviene la alúmina (Al_2O_3). El proceso se describe en la Figura 1.

Primero se obtiene la alúmina quitando las impurezas y el agua por medio de una mezcla con una solución de sosa cáustica a 240 °C seguido de una calcinación a 1200 °C. Segundo, se obtiene el aluminio a partir de la alúmina e impurezas, llevándose a cabo por electrólisis, disolviendo la alúmina en una criolita fundida (Na_2AlF_6), siendo las proporciones de 80 a 90 % de la criolita y alrededor de un 8 % de alúmina y algunos aditivos. Para esto se usan ánodos de grafito y cátodos de aluminio en donde se deposita el mismo metal. Este procedimiento es conocido como el Proceso Hall - Heroult. Son necesarias de 3.5 a 4 toneladas de bauxita para la obtención de 1.5 toneladas de aluminio. (Cavazos Garcia, 1998, págs. 7-8)

Figura 1. Proceso de producción del aluminio.



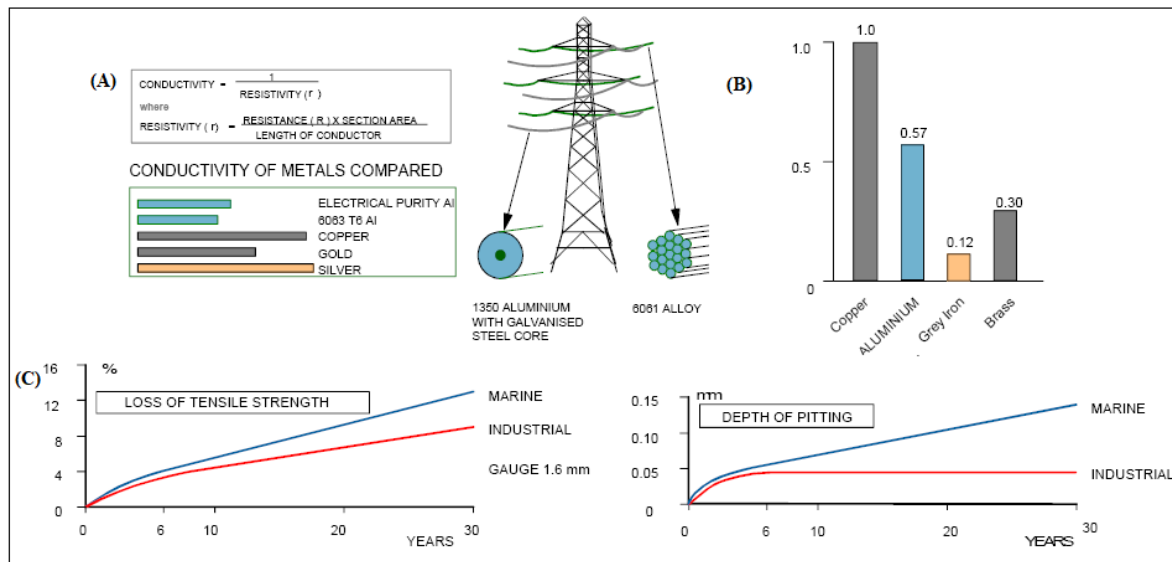
Fuente: (TALAT, 1994)

Después de este proceso, el aluminio se transforma en uno de los materiales más importantes debido a sus propiedades. Tiene una densidad de solo 2.7 g/cm³, aproximadamente un tercio del acero (7.83 g/cm³), el cobre (8.93 g/cm³), o el bronce (8.53 g/cm³), donde muestra una excelente resistencia a la corrosión en la mayoría de los entornos y sistemas químicos (ASM-Volumen2, 1990). Aunado a esto, el aluminio tiene buena maleabilidad y formabilidad, y alta conductividad eléctrica y térmica (Avner, 1988). En la Figura 2 se detalla las propiedades del

aluminio a través de características eléctricas, conductividad térmica y la corrosión por picaduras.

Las propiedades mecánicas se pueden determinar a través del comportamiento a esfuerzos de tracción. El aluminio puro tiene una resistencia tensil de unas 13000lb/pulg²; sin embargo, grandes incrementos en resistencia se obtienen mediante el trabajado en frío o por aleación (Avner, 1988). Esto último es debido al endurecimiento por deformación característico de los materiales trabajados. Al variar la composición química del aluminio, varían las propiedades mecánicas debido a la presencia de átomos de soluto. Esto se puede observar a través de la Tabla 1.

Figura 2. (A) Conductividad eléctrica, (B) conductividad térmica y (C) corrosión mostrando la pérdida del esfuerzo de tensión y la profundidad de la picadura en presencia de ambientes marinos o industriales.



Fuente: (TALAT, 1994)

Tabla 1. Propiedades mecánicas del aluminio puro a temperatura ambiente.

% de pureza	Esfuerzo de Tensión		% Elongación en 50mm (2pulg)
	MPas	Ksi	
99,99	45	6,5	50
99,8	60	8,7	45
99,6	70	10,2	43

Fuente: (Avner, 1988)

La versatilidad del aluminio también se diferencia a través de la diversidad en su composición química. La clasificación fue realizada por The Aluminum Association en 1954. Esta consta de

una numeración de cuatro dígitos, el cual se muestra en la Tabla 2. El primero indica el grupo de aleación, el segundo señala el cambio de la aleación original o límites de impureza; el cero se utiliza para la aleación original, y los enteros del 1 al 9 indican modificaciones de la aleación (Avner, 1988).

Tabla 2. Designación para los grupos de aleación del aluminio.

	Número de asociación de aluminio
Aluminio, 99% y mayor, principal elemento de aleación	1xxx
Cobre	2xxx
Manganeso	3xxx
Silicio	4xxx
Magnesio	5xxx
Magnesio y silicio	6xxx
Zinc	7xxx
Otro elemento	8xxx
Series no utilizadas	9xxx

Fuente: (Avner, 1988)

Después de esta agrupación, se produce una clasificación a través de la designación de temple la cual asigna una letra delante del numero de serie. Existen 4 temples básicos: F, condición de fabricado; O, recocido; H, endurecido por deformación y T, tratado térmicamente (Avner, 1988). En la Tabla 3 se describen cada uno de los grupos de designación de temple que tiene el aluminio.

Tabla 3. Descripción de los grupos de designación de temple que tiene el aluminio.

GRUPO	DENOMINACIÓN	SUBGRUPO	CARACTERÍSTICAS
F	Condición de fabricado	-----	Aplicado a productos que adquieren algún temple como resultado de las operaciones de manufactura. No hay garantía de propiedades mecánicas.
O	Recocido, recristalizado	-----	Es el temple más suave de los productos de aleación forjados.
H	Endurecido por deformación	-----	Se aplica a productos susceptibles de incrementar sus propiedades mecánicas mediante trabajado en frío solamente. La H siempre es seguida por dos o más dígitos,

			el primero indica la combinación específica de las operaciones básicas.
		H1	Endurecido por deformación solamente. El segundo dígito designa la cantidad de trabajo en frío realizada.
		H2	Templado por deformación y luego recocido parcialmente. Se aplica a productos trabajados en frío para obtener un temple más duro y luego, mediante recocido parcial se reduce la dureza a nivel deseado.
		H3	Endurecido por deformación y luego estabilizado. Se aplica solo a aleaciones que tienen magnesio a las cuales se da un calentamiento a baja temperaturas para estabilizar las propiedades.
W	Tratados térmicamente en solución	-----	Es un temple inestable que se aplica a aleaciones que envejecen espontáneamente a temperatura ambiente después del tratamiento térmico en solución. debido al envejecimiento natural, esta designación es específica sólo cuando se indica el período de envejecimiento.
		-----	Se les aplica a productos tratados térmicamente, con o sin endurecimiento por deformación suplementario, para producir temples estables. La T sigue de los números 2 al 10, designando una combinación específica de operaciones básicas.
		T2	Recocido (sólo productos fundidos)
		T3	Tratados térmicamente a solución y luego trabajada en frío.
		T4	Tratados térmicamente a solución envejecida en forma natural hasta condición sustancialmente estable.
T	Tratado térmicamente	T5	Solo envejecido artificial. Se aplica a productos envejecidos artificialmente después de un proceso de fabricación a alta temperatura seguido por enfriamiento rápido, tal como la función o extrusión.
		T6	Tratados térmicamente y en solución luego envejecida artificialmente.
		T7	Tratados térmicamente y en solución luego estabilizada: se aplica a productos en que las condiciones de temperatura y tiempo para estabilización son tales que la aleación se lleva más allá del punto de dureza máxima, proporcionando control de crecimiento y/o esfuerzos residuales.
		T8	Tratados térmicamente, en solución trabajo en frío y luego envejecida en forma artificial.

T9	Tratados térmicamente en solución, envejecida artificialmente y luego trabajo en frío.
T10	Envejecida artificialmente y luego trabajada en frío, lo mismo que en T5, pero seguida por trabajado en frío a fin de mejorar la resistencia.

Fuente: (Avner, 1988)

Estas aleaciones de aluminio pueden deformarse en innumerables aplicaciones a nivel industrial. Tiene la capacidad de fundirse mediante cualquier método conocido, laminado a cualquier espesor deseado, estampado, estirado, enrolado, forjado y extruido a cualquier temperatura imaginable (Avner, 1988).

Por otra parte, una de las series de aluminio más utilizadas para los procesos de conformado, y en especial la extrusión, es la serie 6000. El resultado es un conjunto de materiales que varían en fuerza de 150MPas a 350MPas, todos con buena dureza y formabilidad (ASM-Volumen2, 1990).

Por lo tanto, el objetivo general de la investigación es analizar las características de los procesos de conformado en láminas de aluminio de la serie 6000. La metodología empleada se basa en investigaciones de tipo documental y bibliográfica.

Método

La metodología utilizada es de tipo investigación documental y bibliográfica apoyada por la utilización de instrumentos como textos, normas internacionales, revistas científicas y documentos web. La aplicación metodológica esta basada a través del desarrollo de los objetivos específicos tales como conceptualizar la importancia del aluminio dentro de las sociedades, identificar la utilidad del aluminio a nivel industrial, describir los tipos de procesos de conformado utilizados a nivel industrial y establecer el comportamiento de las aleaciones de aluminio serie 6000 dentro de los procesos de conformado de láminas metálicas.

Resultados

Tipos de procesos de conformado

Existen diversos procesos de conformados los cuales están regidos por las características y propiedades de los materiales que modificaran. Una de ellas es la capacidad para la deformación plástica. Estas condiciones entrelazadas con las propiedades metalúrgicas como composición química, tipos de fases presentes y morfología de las fases. Tanto las propiedades metalúrgicas

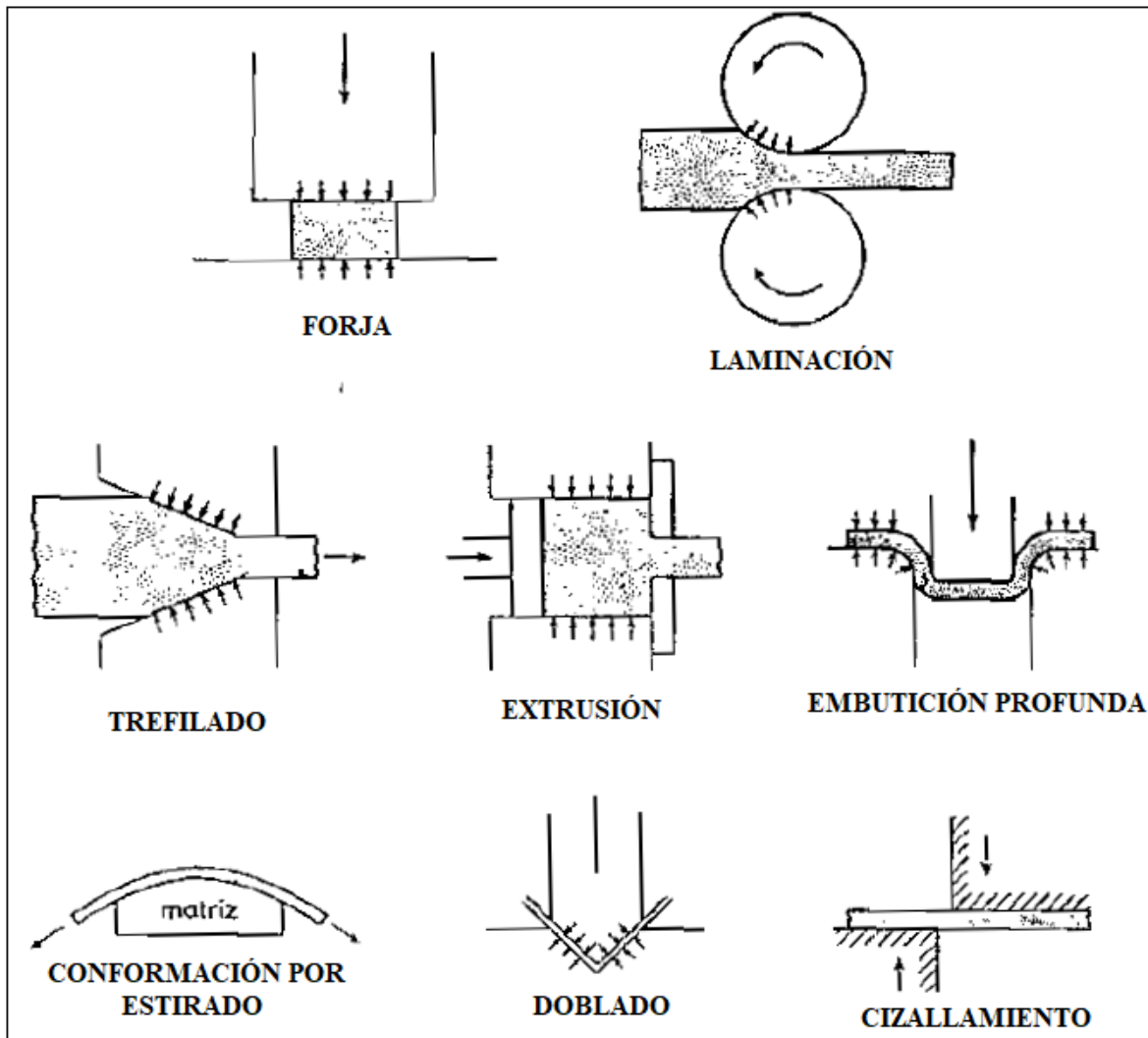
como mecánicas se completan y dan como resultados las diferentes formas de piezas metálicas, en especial aquellas de aleación de aluminio.

Los materiales metálicos tienen la ventaja, a diferencia de otros, de poder amoldarse a las presiones y sistemas que le ejercen, produciendo una calidad superficial y resistencia a la deformación aceptable en diversos ambientes de trabajo. La deformación resulta del uso de una herramienta para deformar metales, el cual aplica esfuerzos que exceden la resistencia a la fluencia del metal (Groover, 1997).

Dentro de los procesos de conformado existe una clasificación bajado en la forma de la aplicación de la presión. Pueden estar sometidos a esfuerzos de compresión tracción, cizallamiento y flexión o plegado. En los procesos de compresión la fuerza se aplica a la superficie de la pieza y el metal fluye en la dirección de compresión, y en los procesos de tracción el metal se adapta al contorno de una matriz por aplicación de fuerzas de tracción (Dieter, 1987).

De la misma forma, el proceso de plegado supone la aplicación de momentos de flexión a la chapa; y el proceso de cizallamiento implica fuerzas cizallantes lo suficientemente grandes para provocar el corte del metal en el plano de cizalla (Dieter, 1987). Estos procesos se pueden observar a través de la Figura 3.

Figura 2. Operaciones típicas de conformación. Fuente: (Dieter, 1987)



Una de las condiciones que puedan afectar el desempeño del material dentro de las herramientas y equipos de conformados es la temperatura en la cual se esta realizando el trabajo. Se toma en consideración dos aspectos claves, el trabajo en frío (a temperatura ambiente) y trabajo en caliente. El trabajo en caliente implica la deformación a temperaturas por encima de la temperatura de recristalización, la cual es aproximadamente la mitad de su punto de fusión en la escala absoluta (Groover, 1997).

Otros de los factores es la velocidad de deformación y la fricción. La primera depende de la forma geométrica de la pieza, así como también existe una relación inversamente proporcional entre el aumento de temperatura y el aumento de la velocidad de deformación (Dieter, 1987). La fricción en el formado de metales surge debido al estrecho contacto entre las superficies de la herramienta y el material de trabajo, y a las altas presiones que soportan a la superficie en estas operaciones (Groover, 1997).

Estas características permiten poder determinar la importancia de cada uno de los procesos de conformado que se utilizan para el desarrollo de los metales en la fabricación de productos útiles a la industria y sociedad. En la Tabla 4 se describe los principales procesos de conformado de metales las cuales destacan las características y variables del proceso.

Características de la serie 6000 utilizados en procesos de conformado

Las aleaciones de aluminio son altamente deformables por lo que se pueden utilizar cualquier proceso de conformado para poder establecer un producto en el mercado y a nivel industrial. Una de las aleaciones más importantes dentro de las diversas encontradas en el aluminio es la serie 6000.

Estas aleaciones son utilizadas para procesos de conformado, en especial los procesos de extrusión. La facilidad con la que las aleaciones de aluminio se pueden extruir a formas complejas debido a la flexibilidad permite que el diseño pueda variar en grandes proporciones por lo que contrarresta el alto costo del mismo (TALAT 1302, 1994). En la Figura 3 se visualiza algunos de los productos de aluminio de la serie 6000 realizados por extrusión.

Tabla 4. Principales procesos de conformado de metales.

TIPO	CARACTERÍSTICA	VARIABLES	ESQUEMA
LAMINADO	Es un proceso de deformación por compresión en el cual el espesor de una plancha se reduce por medio de herramientas cilíndricas opuestas llamadas rodillos. Los rodillos giran para estampar la placa y realizar el trabajo dentro de la abertura entre ellos y comprimirla.	<p>Fricción: $(h_o - h_f) = \mu^2 R$</p> <p>Fuerza de los Rodillos: $F = LWY_{avg}$</p> <p>Donde; (h_o-h_f)=Espesor inicial y final μ=Coeficiente de fricción R=Radio del rodillo L=Longitud de contacto w=Ancho de la tira Y_{avg}=Esfuerzo promedio real de la tira en el espacio de laminación.</p>	
FORJADO	En el forjado se comprime una pieza de trabajo entre dos dados opuestos, de manera que la forma del dado se imprima para obtener el trabajo requerido. El forjado es un proceso tradicional de trabajo en caliente, pero muchos tipos de forjado también se hacen en frío.	<p>Energía cinética de la maza: $W = \frac{Mv^2}{2g}$</p> <p>Presión a dado abierto: $p = \frac{4ph}{\pi D_o h_o}$</p> <p>Donde; W=Energía cinética de la maza M=Masa de la maza en kilogramos v=Velocidad de la maza en m/seg g=Aceleración de gravedad p=presión P=Fuerza uniaxial H=Altura de la muestra cilíndrica a cualquier instante de la compresión h_o=Altura inicial del cilindro D_o=Diámetro inicial del cilindro.</p>	

EXTRUSIÓN

Es un proceso de compresión en el cual se fuerza el metal de trabajo a fluir a través de la abertura de un dado para que tome la forma de la abertura de éste en su sección transversal.

Fuerza de extrusión:

$$F = A_o k \ln \left(\frac{A_o}{A_f} \right)$$

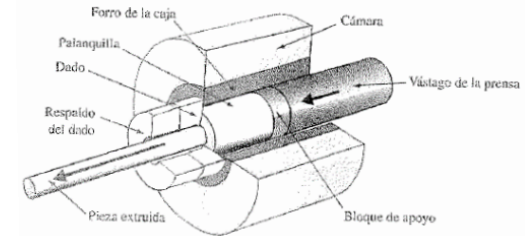
Donde:

F=Fuerza de extrusión

k=Constante de extrusión

A_o=Área transversal de la palanquilla

A_f=Área transversal del producto.



Extrusión Directa

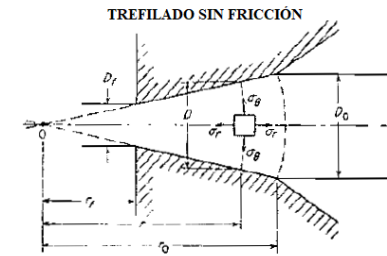
TREFILADO

En este proceso de formado, el diámetro de un alambre o barra se reduce cuando se tira del alambre a través de la abertura del dado.

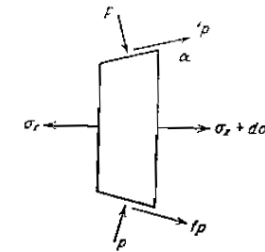
Trefilado sin fricción:

$$\sigma_r = \sigma_o \ln \left(\frac{r_o^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_o = \sigma_o \left(\ln \frac{r_o^2}{r^2} - 1 \right)$$



TREFILADO CON FRICCIÓN



Trefilado con fricción:

$$\sigma_f = \sigma_o \frac{1-B}{B} \left[1 - \left(\frac{D_f^2}{D_o^2} \right)^2 + \sigma_{xb} \left(\frac{D_f^2}{D_o^2} \right)^2 \right]$$

DOBLADO

El doblado implica la deformación de una lámina metálica o placa para que adopte un ángulo con respecto a un eje recto, en la mayoría de los casos.

Fuerza de doblado:

$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D}$$

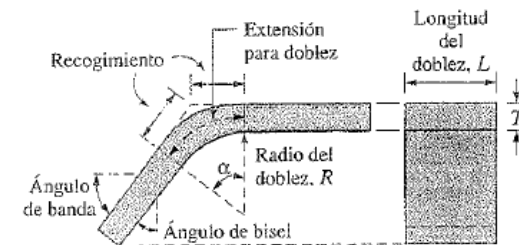
Donde;

F=Fuerza de doblado

TS=Resistencia a la tensión del metal en lámina

w=Ancho de la parte de la dirección del eje de doblar

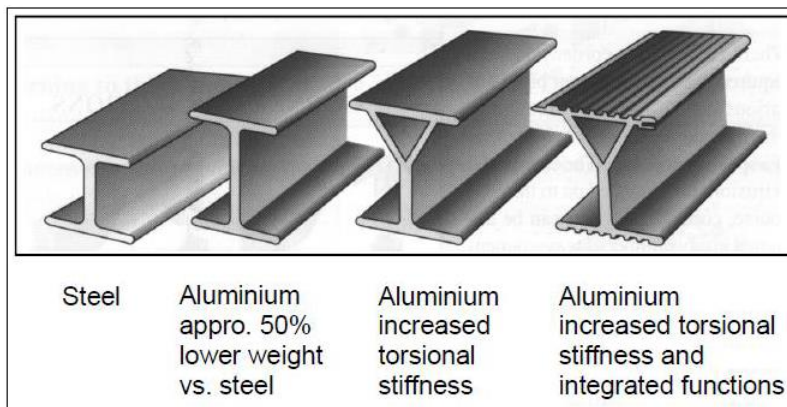
t=Espesor del material



	<p>D=Dimensión del dado abierto K_{bf}=Constante del proceso de doblado</p>	
<p>EMBUTIDO</p> <p>En el trabajo de láminas metálicas, el embutido se refiere a la transformación de una lámina plana de metal en una forma hueca o cóncava, como una copa, mediante el estirado del metal. Se usa un sujetador para mantener fija la plantilla, mientras el punzón empuja la lámina de metal.</p>	<p>Fuerza de embutido:</p> $F = \pi D_p t (TS) \left(\frac{D_b}{D_p} - 0,7 \right)$ <p>Donde; F=Fuerza de embutido t=espesor original de la forma TS=Resistencia a la tensión D_b y D_p=Diámetros del disco inicial y del punzón 0,7= Factor de corrección de la fricción</p>	<p>Diagrama que ilustra el proceso de embutido. Se muestra un punzón que empuja una lámina de metal hacia un dado (anillo de embutido). Se indican las fuerzas de empuje (F), las fuerzas de sujeción de la lámina bruta, el espesor de la lámina (t), el radio del punzón (R_p), el radio del dado (R_d), y los diámetros D_b y D_p.</p>

Fuente: (Dieter, 1987; Groover, 1997; Kalpakjian, 2002)

Figura 3. Productos de extrusión de aluminio.



Fuente: (TALAT 1302, 1994)

Dentro de las aleaciones de aluminio de la serie 6000 se pueden describir las más utilizadas en los procesos de conformado, en especial los procesos de extrusión. De estas destaca las aleaciones 6061, 6063 y 6082. En la Tabla 5 se detalla la composición y propiedades mecánicas de cada una de estas.

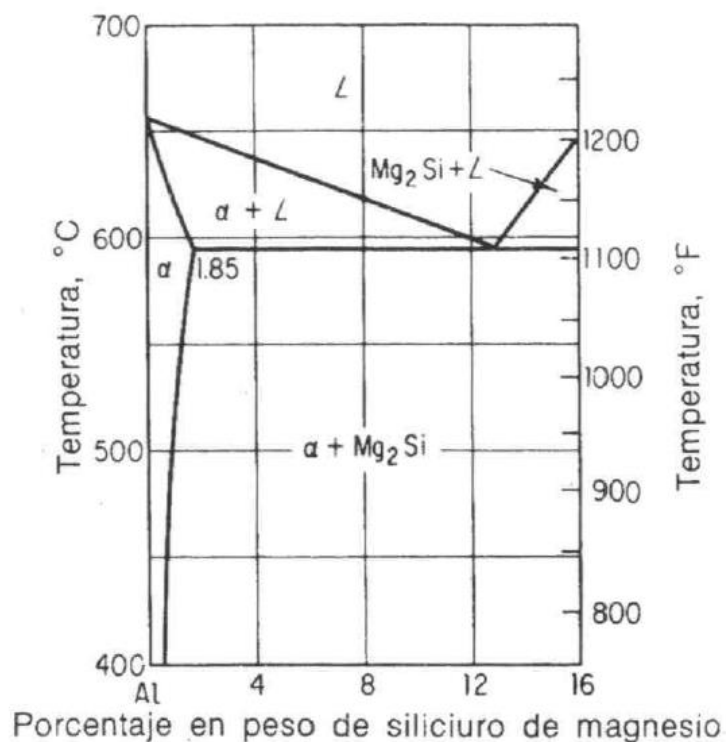
Tabla 5. Composición química y propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio de la serie 6000 más utilizadas en los procesos de conformado.

TIPO	COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)									PROPIEDADES MECÁNICAS									
	Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Otros	Temple	Esfuerzo de Tensión		Esfuerzo de Cedencia		Elongación (%)		Esfuerzo de Corte		
											MPa	Ksi	MPa	Ksi	1/16pulg espesor	1/2pulg diámetro	MPa	Ksi	
6061	0,4-0,8	0,8-1,2	0,7 máx.	0,15-0,4	0,15 máx.	0,04-0,35	0,25 máx.	0,15 máx.	0,15 máx.	O	124	18	55	8	25	30	83	12	
										T4	241	35	145	21	22	25	165	24	
										T6	310	45	276	40	12	17	207	40	
6063	0,20-0,6	0,45-0,9	0,35 máx.	0,10 máx.	0,10 máx.	0,10 máx.	0,10 máx.	0,10 máx.	0,15 máx.	O	90	13	48	7	-----	-----	69	10	
										T1	152	22	90	13	20	-----	97	14	
										T4	172	25	90	13	22	-----	-----	---	---
										T5	186	27	145	21	12	-----	117	17	
										T6	241	35	214	31	12	-----	152	22	
6082	0,7-1,3	0,6-1,2	0,5	0,10	0,1-0,4	0,25	0,20	0,10	-----	F	110 N/mm ²	-----	-----	-----	-----	-----	---	---	
										T4	190 N/mm ²	120 N/mm ²	-----	-----	-----	---	---		
										T5	270 N/mm ²	230 N/mm ²	-----	-----	-----	---	---		
										T6	295 N/mm ²	255 N/mm ²	-----	-----	-----	---	---		

Fuente: (ASM-Volumen2, 1990; TALAT 1302, 1994)

Una de las características de estas aleaciones es que forman un compuesto llamado siliciuro de magnesio (Mg_2Si) que forma parte importante dentro de las características y propiedades de esta serie. En la Figura 4 se puede observar la porción rica en aluminio del diagrama de fase de la aleación Al-Mg-Si, donde destaca la formación del Mg_2Si en el punto eutéctico. La precipitación del compuesto Mg_2Si después del envejecido (temple T6), permite que las aleaciones alcancen una resistencia total, aunado a que mejoran la resistencia a la corrosión (Avner, 1988). Las características de este compuesto se pueden detallar en la Tabla 6, además de otros compuestos que pueden aparecer dentro de la serie 6000.

Figura 4. Porción rica en aluminio del diagrama de fase Al-Mg-Si.



Fuente: (Avner, 1988)

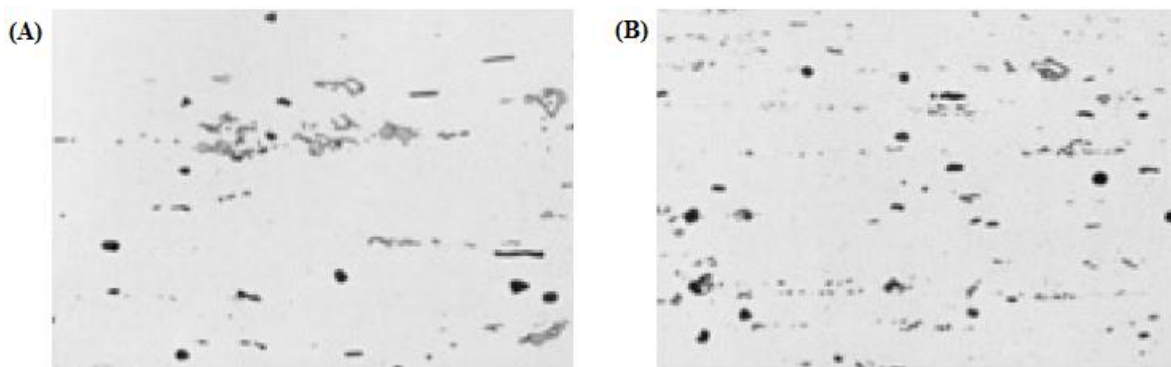
Del mismo modo, las características físicas y morfológicas de los compuestos presentes en esta serie permiten una identificación segura con el fin de poder explicar las propiedades de las aleaciones. El color natural de algunas fases proporciona un medio confiable de identificación, como el Mg_2Si , pero cuando no es clara la identificación exacta, las diferencias de color se pueden utilizar para determinar si es probable la presencia de más de una fase (ASM-Volumen9, 1985). Esto se puede detallar a través de la Figura 5.

Tabla 6. Características de los compuestos presentes en las aleaciones 6061 y 6063.

Designaciones de fase básica y alternativa	Forma externa	Aspecto antes del ataque
Mg ₂ Si	Hábito cúbico; formas eutécticas que se funden fácilmente en el calentamiento.	El color natural es más gris azulado oscuro que el silicio, pero generalmente empaña a azul brillante o negro.
Fe ₃ SiAl ₁₂ o Fe ₃ Si ₂ Al ₁₂	Por lo general, bien definido cuando forma eutéctico, especialmente cuando el silicio no es bajo. También puede formar poliedros o formas irregulares, o precipitar como Tipo Widmanstätten	Gris metálico brillante, más ligero que FeAl ₃ o Fe ₂ Si ₂ Al ₉ ; a menudo pulimentos.
Fe ₂ Si ₂ Al ₉ o FeSiAl ₅	Bladelike cuando se forma eutécticamente; conserva la forma plana en aleaciones forjadas	Gris metálico brillante, intermedio Entre Fe ₃ SiAl ₁₂ y Si

Fuente: (ASM-Volumen9, 1985)

Figura 5. Aleación 6061 de 1,5. Placa de aleación 6061-F, 38 mm (1.5 in) de espesor, laminada en caliente (reducción del 91%). Atacadas con 0.5% HF. 250x. Las partículas son Fe₃SiAl₁₂ (gris) y Mg₂Si (negro). (A) Sección longitudinal desde el centro del espesor de la placa. (B) Sección longitudinal desde la superficie de la placa cercana. Las partículas de Fe₃SiAl₁₂ y Mg₂Si están más rotas y distribuidas uniformemente que en la parte (A). Fuente: (ASM-Volumen9, 1985)



La aplicabilidad de las aleaciones de la serie 6000 es variada donde su mayor desarrollo esta en el área automotriz. En las aplicaciones típicas se incluyen mallas de refuerzo en pistas de aterrizaje para aviones, canoas, muebles, tubería para aspiradora, pasamanos para puentes y aplicaciones arquitectónicas (Avner, 1988).

Discusión y conclusiones

Uno de los materiales más importantes que se encuentra en la actualidad es el aluminio debido a su gran bondad como material liviano, su resistencia a la corrosión, su alta conductividad eléctrica y su alta confortabilidad. Se destaca entre los aceros y los polímeros. El aluminio también es uno de los minerales más abundantes de la tierra. Por su producción, características y propiedades tiene un gran costo en el mercado mundial.

Una de las utilidades que tiene el aluminio es la aplicación en innumerables áreas industriales. Esto es debido a su alta confortabilidad la cual puede ser utilizada como materia prima en diversos procesos. Sus productos finales permiten dar garantía a las necesidades de las sociedades. Dentro de estos procesos de conformado esta la laminación, forjado, extrusión trefilado, embutido y doblado. Dentro de las variables establecidas se encuentra la presión de la herramienta, la fuerza de roce del material y la herramienta, la velocidad de deformación, composición química del material y la temperatura.

Los parámetros son fundamentales en el desarrollo de la deformación del aluminio. La temperatura juega un papel importante porque establece una mayor deformación plástica, aunque en el aluminio la gran mayoría del trabajo se realiza a temperatura ambiente debido a las características del mismo. Estas mismas propiedades acuerdan con la presión ejercida por la herramienta, la cual es mucho menor a diferencia de otros materiales metálicos de gran resistencia. La fuerza de roce está relacionada a la calidad superficial de la materia prima la cual puede estar ayudada por el efecto del lubricante en la zona de contacto. La velocidad de deformación esta influencia por la temperatura y la composición química del aluminio. Los elementos aleantes le dan las características mecánicas de la pieza por lo que establece la potencia requerida de los equipos de conformado.

Dentro del aluminio hay una diversidad de aleaciones producto de la combinación de elementos aleantes. Estos modifican las propiedades. Dentro de estas aleaciones están la serie 6000, la cual tiene como principales elementos que son el magnesio y silicio. El primero se caracteriza por aumentar ciertas características de mecánicas y el segundo aporta la resistencia térmica. En esta serie se presenta la particularidad de que precipita un compuesto Mg_2Si que proviene del tratamiento térmico del aluminio

Este compuesto, sumado a otros, permite modificar las propiedades mecánicas del aluminio serie 6000, como el 6061, 6063 o 6082. Estas aleaciones juegan un papel importante dentro de los procesos de conformado, en especial la extrusión. Lo cual permiten que el Mg_2Si ayude a

la deformabilidad de característica estable dentro de la matriz. Es por ello que sus productos, utilizados mayormente en el área automotriz, sean de gran variedad sin importar el diseño y dimensiones y con gran resistencia mecánica y a la corrosión.

Referencias

1. ASM-Volumen2. (1990). Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. Estados Unidos: Edition ASM Metals Handbook.
2. ASM-Volumen9. (1985). Metallography and Microstructures. Estados Unidos: ASM Metal Hand Books.
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. Cavazos Garcia, J. L. (1998). Tratamiento térmico de una aleación de aluminio 6063. SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L, MÉXICO: Trabajo presentado para optar al título de Doctor en Ingeniería de Materiales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
5. Dieter, G. (1987). Metalurgia Mecánica. Madrid, España: Editorial Aguilar.
6. Groover, M. P. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, procesos y sistemas. México, D. F.: Prentice -Hall Hispanoamericana S. A.
7. Kalpakjian, S. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. México, D.F.: Editorial Pearson.
8. TALAT 1302, H. (1994). Aluminium Extrusion: Alloys, Shapes and Properties. Birmingham, Inglaterra: Aluminium Federation.
9. TALAT. (1994). Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys. EAA - European Aluminium Association.