



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

PROCESO DE MANUFACTURA DE UNA RUEDA PARA VENTILADOR CENTRÍFUGO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

PRESENTA:

JOSÉ ADRIÁN CABRERA GARCÍA

ASESOR: DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Papá:

Por ser el mejor maestro que nadie puede tener, por haberme enseñado y demostrado la importancia del conocimiento, una de mis influencias para ser ingeniero y las más poderosa de mis armas para llegar a serlo, este título también es tuyo papá!!

Mamá:

Por darme todo el apoyo cuando fue necesario, el no dejarme caer a pesar de merecerlo, por no quitar la rodilla de mi espalda y haberme llegar hasta esto, sin ti en este mundo esto no podría haber sido realidad, gracias ma!!

Al güero:

Por ser la mayor de mis influencias al enseñarme como debe de ser un hombre con sus acciones y responder por ellas, el ser inteligente al momento de ser necesario, el ser una persona honorable y siempre ir por el camino recto a pesar de los contratiempos que esto lleve, al final es mejor. Por mostrarme los beneficios de terminar esto y darme así la ambición de ser alguien que sobresale.

Karina:

Por enseñarme el orgullo que lleva el Ing. Antes de mi nombre al enfrentar a personas que traten de hacer menos el esfuerzo que se lleva por no solo los años de la carrera, por estar conmigo en los tiempos difíciles y apoyarme en el momento de las decisiones más difíciles, gracias Pollo.

Gnomos:

Por ser mis amigos de toda la vida y por no ser una mala influencia ya que pude haberme encontrado cualquier porquería de personas, en vez de eso, ustedes fueron los que se toparon conmigo, ninguno de ustedes es malo y soy afortunado al poder contar a mis amigos con las dos manos, no solo con una como en la mayoría de los casos, por ser mis cómplices de travesuras y compañeros de aventuras y por que pase lo que pase... seguiremos adelante.

Mi alma máter:

Mis dos guardianes que son la base de mi enseñanza y mis guías, que de aquí en adelante serán mi bandera para la cual seré embajador y tendré como base la ética y razón por la cual hare las cosas de la mejor manera, ayudando a mi raza y hablando con el espíritu de mi corazón, levantando aún más el nombre de mi facultad.

Gracias a todos.

Agradezco al Dr. Curiel que fue mi asesor en esta tesis, la cual no existiría si no fuese por su asesoría ya que me persuadió de titularme por tesis, una mejor manera de la cual tenía pensado.

Agradezco también a los profesores que forman parte del jurado que son el Ingeniero Jorge de la Cruz Trejo, el Maestro en Ingeniería Ramón Osorio Galicia, el Ingeniero Guillermo Santos Olmos y al Maestro en Ingeniería Humberto Neri Mondragón, que también fue mi profesor en algunas materias a lo largo de la carrera, por haberse tomado el tiempo de revisar mi tesis y haberla aceptado para así poder tener mi grado de ingeniero.

Agradezco a mi querida facultad y a la universidad, que me dieron la oportunidad de realizarme como profesionista y que me permitirán cargar su valioso cóndor y poderosa águila como escudo para así poder ser un Ingeniero Mecánico Eléctrico de excelencia, representando y demostrando porque es y seguirá siendo la mejor universidad latinoamericana.



ÍNDICE

Objetivo e Hipótesis.....	3
Introducción.....	4
Capítulo I	
Aceros.....	6
Diagrama Fierro – Carbono.....	10
Micro – constituyentes.....	10
Transformación de la austenita.....	11
Materiales aleantes.....	13
Soldadura.....	15
Procesos de soldadura.....	16
Soldadura a gas.....	19
Soldadura por resistencia.....	20
Soldadura por rayo de energía.....	21
Soldadura de estado sólido.....	22
Zona afectada por el calor.....	22
Procesos de corte.....	24
Corte con chorro de agua.....	24
Corte con arco de plasma.....	25
Corte con rayo de energía.....	26
Capítulo II	
Ventiladores.....	29
Ventiladores industriales.....	30



Usos y aplicaciones..... 33

Ruedas y tipos de álabes..... 34

Capítulo III

Proceso de manufactura..... 38

Preparación, cortado y formado de piezas..... 38

Plato de respaldo..... 38

Álabes..... 39

Tapa..... 40

Cubo..... 42

Proceso de armado de la rueda..... 43

Proceso de balanceo..... 51

Pintura ensamble y embarque..... 52

Discusión..... 54

Capítulo IV

Sugerencias para el proceso..... 56

Cortadora de placas..... 56

Ventajas del corte de chorro de agua sobre otros procesos de corte..... 56

Proceso de soldadura automatizado..... 59

Ventajas del proceso de soldadura con robots..... 59

Tabletas electrónicas vs planos de papel..... 60

Conclusiones..... 62

Bibliografía..... 63



Objetivo: Desarrollar y registrar un análisis del proceso aplicado para la manufactura de la rueda de un ventilador centrifugo y posteriormente poder realizar algunas sugerencias de mejora al proceso.

Hipótesis: Al desarrollar el análisis se podrán detectar áreas de oportunidad en el proceso, por lo tanto se podrá mejorar el proceso de manufactura de la rueda centrifuga de un ventilador industrial.



Introducción

Como en muchos países, México es uno donde la tecnología de última generación no llega de manera rápida, es por eso que muchos procesos utilizados en la manufactura son de una naturaleza “artesanal”. Esto es, ocasionado a su vez por personas que se resisten al cambio de las maneras de hacer el trabajo, debido a que, por la misma falta de información de los avances tecnológicos, se han hecho de la misma manera por generaciones.

El objetivo de la tecnología en sí, es facilitar el proceso, sea cual sea, facilitando la vida y mejorando la calidad de trabajo, es por eso que siempre se debe de conocer lo que esta en la punta de la tecnología, con ello mejorando nuestros procesos de manufactura y así obtener inversiones a largo plazo y mejorando de manera significativa en todos los aspectos las condiciones de vida, tanto de la empresa como del trabajador.

En esta tesis se dará una pequeña descripción de un proceso de manufactura, así como sus conceptos principales y en algunas partes del proceso se podrá ver la carencia de la tecnología, que es donde trataremos de hacer algunas sugerencias para mejorar el proceso, que en este caso será de una rueda (o impeler) de un ventilador.

Debido a la naturaleza del proceso, es difícil y costoso poder adquirir nuevas formas de elaboración de la misma, por eso este trabajo va enfocado a grandes empresas con el capital suficiente para la mejora del proceso.



Capítulo I



Aceros.

Comúnmente se denomina acero a una aleación de Hierro y Carbono, donde el Carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2,0% de Carbono dan lugar a las fundiciones, que a diferencia de los aceros, son quebradizas y no se pueden forjar, sino que se moldean.

La ingeniería metalúrgica trata como acero a una familia muy numerosa de aleaciones metálicas, teniendo como base la aleación Hierro-Carbono. El Hierro es un metal, relativamente duro y tenaz, con diámetro atómico $d_A = 2,48 \text{ \AA}$ (1 angstrom $\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$), con temperatura de fusión de $1.535 \text{ }^\circ\text{C}$ y punto de ebullición $2.740 \text{ }^\circ\text{C}$. Mientras el Carbono es un no metal, con diámetro mucho más pequeño ($d_A = 1,54 \text{ \AA}$), blando y frágil en la mayoría de sus formas alotrópicas (excepto en la forma de diamante en que su estructura cristalográfica lo hace el más duro de los materiales conocidos). Es la diferencia en diámetros atómicos lo que va a permitir al elemento de átomo más pequeño difundir a través de la celda del otro elemento de mayor diámetro.

El acero es el más popular de las aleaciones, es la combinación entre un metal (Hierro) y un no metal (Carbono), que conserva las características metálicas del primero, pero con propiedades notablemente mejoradas gracias a la adición del segundo y de otros elementos metálicos y no metálicos. De tal forma no se debe confundir el Hierro con el acero, dado que el Hierro es un metal en estado puro al que se le mejoran sus propiedades fisicoquímicas con la adición de Carbono y demás elementos.

La definición anterior, se circunscribe a los aceros al Carbono en los que este último es el único aleante o los demás presentes lo están en cantidades muy pequeñas. De hecho existen multitud de tipos de acero con composiciones muy diversas que reciben denominaciones específicas en virtud, ya sea de los



elementos que predominan en su composición (aceros al Silicio), de su susceptibilidad a ciertos tratamientos (aceros de cementación), de alguna característica potenciada (aceros inoxidable) e incluso en función de su uso (aceros estructurales). Usualmente estas aleaciones de Hierro se engloban bajo la denominación genérica de aceros especiales, razón por la que aquí se ha adoptado la definición de los comunes o "al Carbono" que además de ser los primeros fabricados y los más empleados, sirvieron de base para los demás. Esta gran variedad de aceros llevó a Siemens a definir el acero como un compuesto de Hierro y otra sustancia que incrementa su resistencia.

Por la variedad ya apuntada y por su disponibilidad —sus dos elementos primordiales abundan en la naturaleza facilitando su producción en cantidades industriales— los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, habiendo contribuido al alto nivel de desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas. Sin embargo, en ciertos sectores, como la construcción aeronáutica, el acero apenas se utiliza debido a que es un material muy denso, casi tres veces más denso que el Aluminio (7.850 kg/m^3 de densidad frente a los 2.700 kg/m^3 del Aluminio).

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m^3 .
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el Hierro es de alrededor de $1.510 \text{ }^\circ\text{C}$ en estado puro, sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de $1.375 \text{ }^\circ\text{C}$, y en general la temperatura necesaria para la fusión aumenta a medida que se



aumenta el porcentaje de Carbono y de otros aleantes. (excepto las aleaciones eutécticas que funden de golpe). Por otra parte el acero rápido funde a 1.650 °C.

- Su punto de ebullición es de alrededor de 3.000 °C.
- Es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.
- Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lámina de acero, de entre 0,5 y 0,12 mm de espesor, recubierta, generalmente de forma electrolítica, por estaño.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- Algunas composiciones y formas del acero mantienen mayor memoria, y se deforman al sobrepasar su límite elástico.
- La dureza de los aceros varía entre la del Fierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido sea el templado del acero, aplicable a aceros con alto contenido en Carbono, que permite, cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles. Aceros típicos con un alto grado de dureza superficial son los que se emplean en las herramientas de mecanizado, denominados aceros rápidos que contienen cantidades significativas de cromo, wolframio, molibdeno y vanadio. Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell, entre otros.
- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el Fierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo. Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos. Si bien existen aleaciones con resistencia a la corrosión mejorada como los aceros de



construcción aptos para intemperie (en ciertos ambientes) o los aceros inoxidable.

- Posee una alta conductividad eléctrica. Aunque depende de su composición es aproximadamente de $3 \cdot 10^6$ S/m. En las líneas aéreas de alta tensión se utilizan con frecuencia conductores de Aluminio con alma de acero proporcionando éste último la resistencia mecánica necesaria para incrementar los vanos entre la torres y optimizar el coste de la instalación.
- Se utiliza para la fabricación de imanes permanentes artificiales, ya que una pieza de acero imantada no pierde su imantación si no se la calienta hasta cierta temperatura. La magnetización artificial se hace por contacto, inducción o mediante procedimientos eléctricos. En lo que respecta al acero inoxidable, al acero inoxidable ferrítico sí se le pega el imán, pero al acero inoxidable austenítico no se le pega el imán ya que la fase del Hierro conocida como austenita no es atraída por los imanes. Los aceros inoxidables contienen principalmente Níquel y Cromo en porcentajes del orden del 10% además de algunos aleantes en menor proporción.
- Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión: $\delta L = \alpha \delta t^\circ L$, siendo α el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente 1.2×10^{-5} (es decir $\alpha = 0,000012$). Si existe libertad de dilatación no se plantean grandes problemas subsidiarios, pero si esta dilatación está impedida en mayor o menor grado por el resto de los componentes de la estructura, aparecen esfuerzos complementarios que hay que tener en cuenta. El acero se dilata y se contrae según un coeficiente de dilatación similar al coeficiente de dilatación del hormigón, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción, formando un material compuesto que se denomina hormigón armado. El acero da una falsa sensación de seguridad al ser incombustible, pero sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas por las altas temperaturas que pueden alcanzar los perfiles en el transcurso de un incendio.



Diagrama Fierro-Carbono.

En el diagrama de equilibrio, o de fases, Fe-C se representan las transformaciones que sufren los aceros al Carbono con la temperatura, admitiendo que el calentamiento (o enfriamiento) de la mezcla se realiza muy lentamente de modo que los procesos de difusión (homogeneización) tienen tiempo para completarse. Dicho diagrama se obtiene experimentalmente identificando los puntos críticos (temperaturas a las que se producen las sucesivas transformaciones) por métodos diversos.

Micro - constituyentes.

El Fierro puro presenta tres estados alotrópicos a medida que se incrementa la temperatura desde la ambiente:

- Hasta los 911°C, el Fierro ordinario, cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo (BCC) y recibe la denominación de Fierro α o ferrita. Es un material dúctil y maleable responsable de la buena forjabilidad de las aleaciones con bajo contenido en Carbono y es ferromagnético hasta los 770°C (temperatura de Curie a la que pierde dicha cualidad). La ferrita puede disolver muy pequeñas cantidades de Carbono.
- Entre 911 y 1400°C cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras (FCC) y recibe la denominación de Fierro γ o austenita. Dada su mayor compacidad la austenita se deforma con mayor facilidad y es paramagnética.
- Entre 1400 y 1538°C cristaliza de nuevo en el sistema cúbico centrado en el cuerpo y recibe la denominación de Fierro δ que es en esencia el mismo Fierro alfa pero con parámetro de red mayor por efecto de la temperatura.

A mayor temperatura el Fierro se encuentra en estado líquido.



Si se añade Carbono al Fierro, sus átomos podrían situarse simplemente en los intersticios de la red cristalina de éste último; sin embargo en los aceros aparece combinado formando carburo de Fierro (Fe_3C), es decir, un compuesto químico definido y que recibe la denominación de cementita de modo que los aceros al Carbono están constituidos realmente por ferrita y cementita.

Transformación de la austenita.

El diagrama de fases Fe-C muestra dos composiciones singulares:

- Un eutéctico (composición para la cual el punto de fusión es mínimo) que se denomina ledeburita y contiene un 4,3% de Carbono (64,5 % de cementita). La ledeburita aparece entre los constituyentes de la aleación cuando el contenido en Carbono supera el 2% (región del diagrama no mostrada) y es la responsable de la mala forjabilidad de la aleación marcando la frontera entre los aceros con menos del 2% de C (forjables) y las fundiciones con porcentajes de Carbono superiores (no forjables y fabricadas por moldeo). De este modo se observa que por encima de la temperatura crítica A_3 los aceros están constituidos sólo por austenita, una solución sólida de Carbono en Fierro y su microestructura en condiciones de enfriamiento lento dependerá por tanto de las transformaciones que sufra ésta.
- Un eutectoide en la zona de los aceros, equivalente al eutéctico pero en estado sólido, donde la temperatura de transformación de la austenita es mínima. El eutectoide contiene un 0,77 %C (13,5% de cementita) y se denomina perlita. Está constituido por capas alternas de ferrita y cementita, siendo sus propiedades mecánicas intermedias entre las de la ferrita y la cementita.

La existencia del eutectoide permite distinguir dos tipos de aleaciones de acero:



- Aceros hipoeutectoides ($< 0,77\% \text{ C}$). Al enfriarse por debajo de la temperatura crítica A_3 comienza a precipitar la ferrita entre los granos (cristales) de austenita y al alcanzar la temperatura crítica A_1 la austenita restante se transforma en perlita. Se obtiene por tanto a temperatura ambiente una estructura de cristales de perlita embebidos en una matriz de ferrita.
- Aceros hipereutectoides ($>0,77\% \text{ C}$). Al enfriarse por debajo de la temperatura crítica se precipita el carburo de Fierro resultando a temperatura ambiente cristales de perlita embebidos en una matriz de cementita.

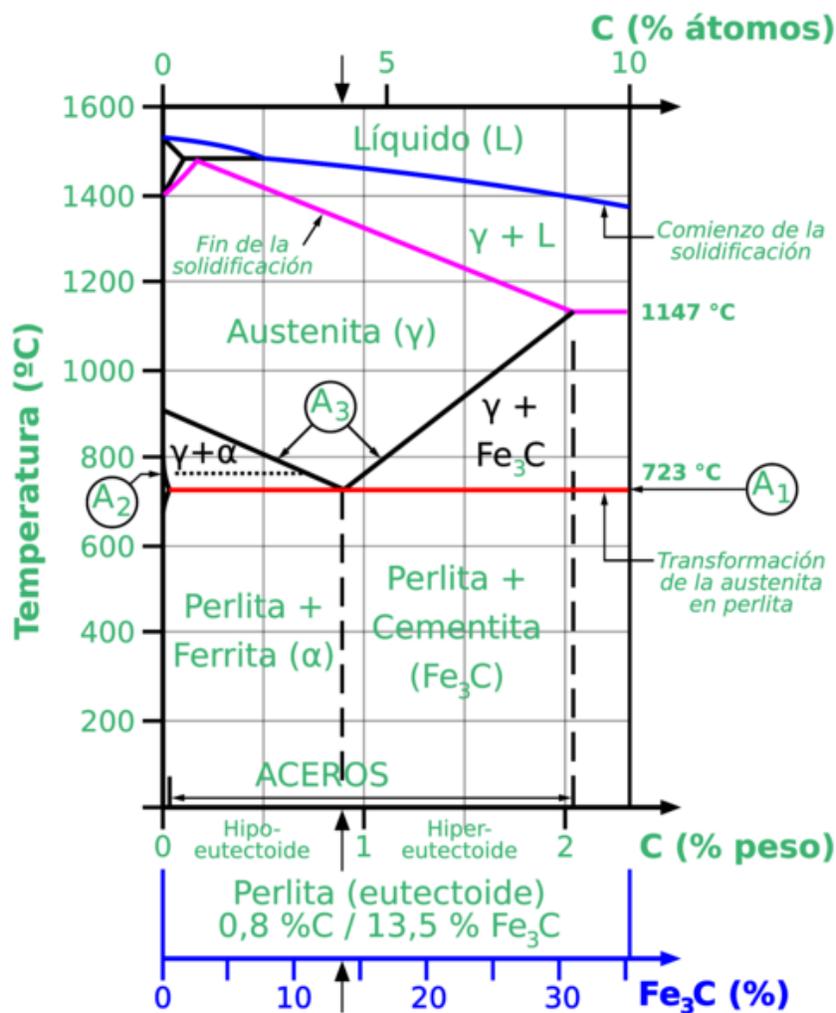


Fig. 1. Diagrama Fierro-Carbono.



Materiales aleantes.

Las clasificaciones normalizadas de aceros como la AISI, ASTM y UNS, establecen valores mínimos o máximos para cada tipo de elemento. Estos elementos se agregan para obtener unas características determinadas como templabilidad, resistencia mecánica, dureza, tenacidad, resistencia al desgaste, soldabilidad o maquinabilidad. A continuación se listan algunos de los efectos de los elementos aleantes en el acero:

- Aluminio: se usa en algunos aceros de nitruración al Cr-Al-Mo de alta dureza en concentraciones cercanas al 1% y en porcentajes inferiores al 0,008% como desoxidante en aceros de alta aleación.
- Boro: en muy pequeñas cantidades (del 0,001 al 0,006%) aumenta la templabilidad sin reducir la maquinabilidad, pues se combina con el Carbono para formar carburos proporcionando un revestimiento duro. Es usado en aceros de baja aleación en aplicaciones como cuchillas de arado y alambres de alta ductilidad y dureza superficial. Utilizado también como trampa de nitrógeno, especialmente en aceros para trefilación, para obtener valores de N menores a 80 ppm.
- Cobalto: muy endurecedor. Disminuye la templabilidad. Mejora la resistencia y la dureza en caliente. Es un elemento poco habitual en los aceros. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros. Se usa en los aceros rápidos para herramientas y en aceros refractarios.
- Cromo: Forma carburos muy duros y comunica al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, mejora la resistencia a la corrosión. Aumenta la profundidad de penetración del endurecimiento por tratamiento termoquímico como la carburación o la nitruración. Se usa en aceros inoxidable, aceros para herramientas y refractarios. También se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, etc.



- Molibdeno: es un elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad. Los aceros inoxidable austeníticos contienen molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión.
- Nitrógeno: se agrega a algunos aceros para promover la formación de austenita.
- Níquel: Es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto. El níquel se utiliza mucho para producir acero inoxidable, porque aumenta la resistencia a la corrosión.
- Plomo: el plomo no se combina con el acero, se encuentra en él en forma de pequeñísimos glóbulos, como si estuviese emulsionado, lo que favorece la fácil mecanización por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado, etc.) ya que el plomo es un buen lubricante de corte, el porcentaje oscila entre 0,15% y 0,30% debiendo limitarse el contenido de Carbono a valores inferiores al 0,5% debido a que dificulta el templado y disminuye la tenacidad en caliente. Se añade a algunos aceros para mejorar mucho la maquinabilidad.
- Silicio: aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como elemento desoxidante. Aumenta la resistencia de los aceros bajos en Carbono.
- Titanio: se usa para estabilizar y desoxidar el acero, mantiene estables las propiedades del acero a alta temperatura.
- Tungsteno: también conocido como Wolframio. Forma con el Hierro carburos muy complejos estables y durísimos, soportando bien altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al Carbono para herramientas.
- Vanadio: posee una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el Hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.



Soldadura.

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y pudiendo agregar un material de relleno fundido (metal o plástico), para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al enfriarse, se convierte en una unión fija. A veces la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda (en inglés soldering) y la soldadura fuerte (en inglés brazing), que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo.

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente.

Mientras que con frecuencia es un proceso industrial, la soldadura puede ser hecha en muchos ambientes diferentes, incluyendo al aire libre, debajo del agua y en el espacio. Sin importar la localización, sin embargo, la soldadura sigue siendo peligrosa, y se deben tomar precauciones para evitar quemaduras, descarga eléctrica, humos venenosos, y la sobreexposición a la luz ultravioleta.

Hasta el final del siglo XIX, el único proceso de soldadura era la soldadura de fragua, que los herreros han usado por siglos para juntar metales calentándolos y golpeándolos. La soldadura por arco y la soldadura a gas estaban entre los primeros procesos en desarrollarse tardíamente en el siglo, siguiendo poco después la soldadura por resistencia. La tecnología de la soldadura avanzó rápidamente durante el principio del siglo XX mientras que la Primera Guerra Mundial y la Segunda Guerra Mundial condujeron la demanda de métodos de



junta confiables y baratos. Después de las guerras, fueron desarrolladas varias técnicas modernas de soldadura, incluyendo métodos manuales como la Soldadura manual de metal por arco, ahora uno de los más populares métodos de soldadura, así como procesos semiautomáticos y automáticos tales como Soldadura GMAW, soldadura de arco sumergido, soldadura de arco con núcleo de fundente y soldadura por electro escoria. Los progresos continuaron con la invención de la soldadura por rayo láser y la soldadura con rayo de electrones a mediados del siglo XX. Hoy en día, la ciencia continúa avanzando. La soldadura robotizada está llegando a ser más corriente en las instalaciones industriales, y los investigadores continúan desarrollando nuevos métodos de soldadura y ganando mayor comprensión de la calidad y las propiedades de la soldadura.

Se dice que es un sistema porque intervienen los elementos propios de este, es decir, las 5 M: mano de obra, materiales, máquinas, medio ambiente y medios escritos (procedimientos). La unión satisfactoria implica que debe pasar las pruebas mecánicas (tensión y doblez). Las técnicas son los diferentes procesos (SMAW, SAW, GTAW, etc.) utilizados para la situación más conveniente y favorable, lo que hace que sea lo más económico, sin dejar de lado la seguridad.

Procesos de soldadura.

Uno de los tipos más comunes de soldadura de arco es la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW, Shielded Metal Arc Welding), que también es conocida como soldadura manual de arco metálico (MMA) o soldadura de electrodo. La corriente eléctrica se usa para crear un arco entre el material base y la varilla de electrodo consumible, que es de acero y está cubierto con un fundente que protege el área de la soldadura contra la oxidación y la contaminación por medio de la producción del gas CO₂ durante el proceso de la soldadura. El núcleo en sí mismo del electrodo actúa como material de relleno, haciendo innecesario un material de relleno adicional.

El proceso es versátil y puede realizarse con un equipo relativamente barato, haciéndolo adecuado para trabajos de taller y trabajo de campo. Un operador



puede hacerse razonablemente competente con una modesta cantidad de entrenamiento y puede alcanzar la maestría con experiencia. Los tiempos de soldadura son algo lentos, puesto que los electrodos consumibles deben ser sustituidos con frecuencia y porque la escoria, el residuo del fundente, debe ser retirada después de soldar. Además, el proceso es generalmente limitado a materiales de soldadura ferrosos, aunque electrodos especializados han hecho posible la soldadura del Fierro fundido, Níquel, Aluminio, Cobre, Acero inoxidable y de otros metales.

La soldadura de arco metálico con gas (GMAW), también conocida como soldadura de metal y gas inerte o por su sigla en inglés MIG (Metal inert gas) , es un proceso semiautomático o automático que usa una alimentación continua de alambre como electrodo y una mezcla de gas inerte o semi-inerte para proteger la soldadura contra la contaminación. Como con la SMAW, la habilidad razonable del operador puede ser alcanzada con entrenamiento modesto. Puesto que el electrodo es continuo, las velocidades de soldado son mayores para la GMAW que para la SMAW. También, el tamaño más pequeño del arco, comparado a los procesos de soldadura de arco metálico protegido, hace más fácil hacer las soldaduras fuera de posición (ej, empalmes en lo alto, como sería soldando por debajo de una estructura).

El equipo requerido para realizar el proceso de GMAW es más complejo y costoso que el requerido para la SMAW, y requiere un procedimiento más complejo de disposición. Por lo tanto, la GMAW es menos portable y versátil, y debido al uso de un gas de blindaje separado, no es particularmente adecuado para el trabajo al aire libre. Sin embargo, debido a la velocidad media más alta en la que las soldaduras pueden ser terminadas, la GMAW es adecuada para la soldadura de producción. El proceso puede ser aplicado a una amplia variedad de metales, tanto ferrosos como no ferrosos.

Un proceso relacionado, la soldadura de arco de núcleo fundente (FCAW), usa un equipo similar pero utiliza un alambre que consiste en un electrodo de acero



rodeando un material de relleno en polvo. Este alambre es más costoso que el alambre sólido estándar y puede generar humos y/o escoria, pero permite incluso una velocidad más alta de soldadura y mayor penetración del metal.

La soldadura de arco, tungsteno y gas (GTAW), o la soldadura de tungsteno y gas inerte (TIG) (también a veces designada erróneamente como soldadura heliarc), es un proceso manual de soldadura que usa un electrodo de tungsteno no consumible, una mezcla de gas inerte o semi-inerte, y un material de relleno separado. Especialmente útil para soldar materiales finos, este método es caracterizado por un arco estable y una soldadura de alta calidad, pero requiere una significativa habilidad del operador y solamente puede ser lograda en velocidades relativamente bajas.

La GTAW puede ser usada en casi todos los metales soldables, aunque es aplicada más a menudo a metales de acero inoxidable y livianos. Con frecuencia es usada cuando son extremadamente importantes las soldaduras de calidad, por ejemplo en bicicletas, aviones y aplicaciones navales. Un proceso relacionado, la soldadura de arco de plasma, también usa un electrodo de tungsteno pero utiliza un gas de plasma para hacer el arco. El arco es más concentrado que el arco de la GTAW, haciendo el control transversal más crítico y así generalmente restringiendo la técnica a un proceso mecanizado. Debido a su corriente estable, el método de la soldadura de arco de plasma puede ser usado en una gama más amplia de materiales gruesos que el proceso GTAW, y además, es mucho más rápido. Puede ser aplicado a los mismos materiales que la GTAW excepto al magnesio, y la soldadura automatizada del acero inoxidable es una aplicación importante del proceso. Una variación del proceso es el corte por plasma, un eficiente proceso de corte de acero.

La soldadura de arco sumergido (SAW) es un método de soldadura de alta productividad en el cual el arco se pulsa bajo una capa de cubierta de flujo. Esto aumenta la calidad del arco, puesto que los contaminantes en la atmósfera son bloqueados por el flujo. La escoria que forma la soldadura generalmente sale por



sí misma, y combinada con el uso de una alimentación de alambre continua, la velocidad de deposición de la soldadura es alta. Las condiciones de trabajo están muy mejoradas sobre otros procesos de soldadura de arco, puesto que el flujo oculta el arco y casi no se produce ningún humo. El proceso es usado comúnmente en la industria, especialmente para productos grandes y en la fabricación de los recipientes de presión soldados. Otros procesos de soldadura de arco incluyen la soldadura de hidrógeno atómico, la soldadura de arco de Carbono, la soldadura de electro escoria, la soldadura por electro gas, y la soldadura de arco de perno.

Soldadura por resistencia La soldadura por puntos es un popular método de soldadura por resistencia usado para juntar hojas de metal solapadas de hasta 3 mm de grueso. Dos electrodos son usados simultáneamente para sujetar las hojas de metal juntas y para pasar corriente a través de las hojas. Las ventajas del método incluyen el uso eficiente de la energía, limitada deformación de la pieza de trabajo, altas velocidades de producción, fácil automatización, y el no requerimiento de materiales de relleno. La fuerza de la soldadura es perceptiblemente más baja que con otros métodos de soldadura, haciendo el proceso solamente conveniente para ciertas aplicaciones. Es usada extensivamente en la industria de automóviles (los carros ordinarios puede tener varios miles de puntos soldados hechos por robots industriales. Un proceso especializado, llamado soldadura de choque, puede ser usado para los puntos de soldadura del acero inoxidable.

Soldadura a gas

El proceso más común de soldadura a gas es la soldadura oxiacetilénica, también conocida como soldadura autógena o soldadura oxi-combustible. Es uno de los más viejos y más versátiles procesos de soldadura, pero en años recientes ha llegado a ser menos popular en aplicaciones industriales. Todavía es usada extensamente para soldar tuberías y tubos, como también para trabajo de reparación. El equipo es relativamente barato y simple, generalmente empleando



la combustión del acetileno en oxígeno para producir una temperatura de la llama de soldadura de cerca de 3100°C. Puesto que la llama es menos concentrada que un arco eléctrico, causa un enfriamiento más lento de la soldadura, que puede conducir a mayores tensiones residuales y distorsión de soldadura, aunque facilita la soldadura de aceros de alta aleación. Un proceso similar, generalmente llamado corte de oxi-combustible, es usado para cortar los metales. Otros métodos de la soldadura a gas, tales como soldadura de acetileno y aire, soldadura de hidrógeno y oxígeno, y soldadura de gas a presión son muy similares, generalmente diferenciándose solamente en el tipo de gases usados. Una antorcha de agua a veces es usada para la soldadura de precisión de artículos como joyería. La soldadura a gas también es usada en la soldadura de plástico, aunque la sustancia calentada es el aire, y las temperaturas son mucho más bajas.

Soldadura por resistencia

La soldadura por resistencia implica la generación de calor pasando corriente a través de la resistencia causada por el contacto entre dos o más superficies de metal. Se forman pequeños charcos de metal fundido en el área de soldadura a medida que la elevada corriente (1.000 a 100.000 A) pasa a través del metal. En general, los métodos de la soldadura por resistencia son eficientes y causan poca contaminación, pero sus aplicaciones son algo limitadas y el costo del equipo puede ser alto.

La soldadura por puntos es un popular método de soldadura por resistencia usado para juntar hojas de metal solapadas de hasta 3 mm de grueso. Dos electrodos son usados simultáneamente para sujetar las hojas de metal juntas y para pasar corriente a través de las hojas. Las ventajas del método incluyen el uso eficiente de la energía, limitada deformación de la pieza de trabajo, altas velocidades de producción, fácil automatización, y el no requerimiento de materiales de relleno. La fuerza de la soldadura es perceptiblemente más baja que con otros métodos de soldadura, haciendo el proceso solamente conveniente para ciertas aplicaciones. Es usada extensivamente en la industria de automóviles. Los carros ordinarios



pueden tener varios miles de puntos soldados hechos por robots industriales. Un proceso especializado, llamado soldadura de choque, puede ser usado para los puntos de soldadura del acero inoxidable.

Como la soldadura de punto, la soldadura de costura confía en dos electrodos para aplicar la presión y la corriente para juntar hojas de metal. Sin embargo, en vez de electrodos de punto, los electrodos con forma de rueda, ruedan a lo largo y a menudo alimentan la pieza de trabajo, haciendo posible las soldaduras continuas largas. En el pasado, este proceso fue usado en la fabricación de latas de bebidas, pero ahora sus usos son más limitados. Otros métodos de soldadura por resistencia incluyen la soldadura de destello, la soldadura de proyección, y la soldadura de volcado.

Soldadura por rayo de energía

Los métodos de soldadura por rayo de energía, llamados soldadura por rayo láser y soldadura con rayo de electrones, son procesos relativamente nuevos que han llegado a ser absolutamente populares en aplicaciones de alta producción. Los dos procesos son muy similares, diferenciándose más notablemente en su fuente de energía. La soldadura de rayo láser emplea un rayo láser altamente enfocado, mientras que la soldadura de rayo de electrones es hecha en un vacío y usa un haz de electrones. Ambas tienen una muy alta densidad de energía, haciendo posible la penetración de soldadura profunda y minimizando el tamaño del área de la soldadura. Ambos procesos son extremadamente rápidos, y son fáciles de automatizar, haciéndolos altamente productivos. Las desventajas primarias son sus muy altos costos de equipo (aunque éstos están disminuyendo) y una susceptibilidad al agrietamiento. Los desarrollos en esta área incluyen la soldadura de láser híbrido, que usa los principios de la soldadura de rayo láser y de la soldadura de arco para incluso mejores propiedades de soldadura.



Soldadura de estado sólido

Como el primer proceso de soldadura, la soldadura de fragua, algunos métodos modernos de soldadura no implican derretimiento de los materiales que son juntados. Uno de los más populares, la soldadura ultrasónica, es usada para conectar hojas o alambres finos hechos de metal o termoplásticos, haciéndolos vibrar en alta frecuencia y bajo alta presión. El equipo y los métodos implicados son similares a los de la soldadura por resistencia, pero en vez de corriente eléctrica, la vibración proporciona la fuente de energía. Soldar metales con este proceso no implica el derretimiento de los materiales; en su lugar, la soldadura se forma introduciendo vibraciones mecánicas horizontalmente bajo presión. Cuando se están soldando plásticos, los materiales deben tener similares temperaturas de fusión, y las vibraciones son introducidas verticalmente. La soldadura ultrasónica se usa comúnmente para hacer conexiones eléctricas de aluminio o cobre, y también es un muy común proceso de soldadura de polímeros.

Otro proceso común, la soldadura explosiva, implica juntar materiales empujándolos juntos bajo una presión extremadamente alta. La energía del impacto plastifica los materiales, formando una soldadura, aunque solamente una limitada cantidad de calor sea generada. El proceso es usado comúnmente para materiales disímiles de soldadura, tales como la soldadura del aluminio con acero en cascos de naves o placas compuestas. Otros procesos de soldadura de estado sólido incluyen la soldadura de co extrusión, la soldadura en frío, la soldadura de difusión, la soldadura por fricción (incluyendo la soldadura por fricción-agitación en inglés Friction Stir Welding), la soldadura por alta frecuencia, la soldadura por presión caliente, la soldadura por inducción, y la soldadura de rodillo.

Zona afectada por el Calor.

Los efectos de soldar pueden ser perjudiciales en el material rodeando la soldadura. Dependiendo de los materiales usados y la entrada de calor del proceso de soldadura usado, la zona afectada por el calor (ZAC) puede variar en tamaño y fortaleza. La difusividad térmica del material base es muy importante si



la difusividad es alta, la velocidad de enfriamiento del material es alta y la ZAC es relativamente pequeña. Inversamente, una difusividad baja conduce a un enfriamiento más lento y a una ZAC más grande. La cantidad de calor inyectada por el proceso de soldadura también desempeña un papel importante, pues los procesos como la soldadura oxiacetilénica tienen una entrada de calor no concentrado y aumentan el tamaño de la zona afectada. Los procesos como la soldadura por rayo láser tienen una cantidad altamente concentrada y limitada de calor, resultando una ZAC pequeña. La soldadura de arco cae entre estos dos extremos, con los procesos individuales variando algo en entrada de calor. Para calcular el calor para los procedimientos de soldadura de arco, puede ser usada la siguiente fórmula:

$$Q = \left(\frac{V \times I \times 60}{S \times 1000} \right) \times \text{Rendimiento}$$

en donde

- Q = entrada de calor (kJ/mm),
- V = voltaje (V),
- I = corriente (A), y
- S = velocidad de avance (mm/min)

El rendimiento depende del proceso de soldadura usado, con la soldadura de arco de metal revestido teniendo un valor de 0,75, la soldadura por arco metálico con gas y la soldadura de arco sumergido, 0,9, y la soldadura de arco de gas tungsteno, 0,8.

Procesos de corte.



Corte con chorro de agua.

El corte con chorro de agua usa una corriente fina de agua a alta presión y velocidad dirigida hacia la superficie de trabajo para producir un corte. Para éste proceso también se utiliza el nombre Maquinado Hidrodinámico.

Para obtener un chorro fino de agua se utiliza una pequeña abertura de boquilla con diámetro de 0.1 a 0.4 mm. Para proporcionar al chorro una energía suficiente para poder cortar, se usan presiones hasta de 400 MPa y el chorro alcanza velocidades hasta de 900 m/s. Una bomba hidráulica presuriza el fluido al nivel deseado. La unidad de boquilla consiste en un soporte hecho de acero inoxidable y una boquilla de zafiro, rubí o diamante. El diamante dura más, pero es el más costoso

La distancia de separación es entre la boquilla y superficie de trabajo. En general, se prefiere que está distancia sea mínima para reducir la dispersión de la corriente del fluido antes de que golpee la superficie. Una distancia de separación normal es de 1/8 de ln. (3.2 mm). El tamaño del orificio de la boquilla afecta la precisión del corte; las aberturas más pequeñas se usan para cortes más finos sobre materiales más delgados. Para cortar materia prima más gruesa se requieren corrientes de chorro más densas y mayores presiones.

La velocidad de avance del corte se refiere a la velocidad a la que se mueve la boquilla a lo largo de la trayectoria de corte. La velocidad de avance típica varía desde 12 in/min (5mm/seg) hasta 1200 in/min (500mm/seg), dependiendo del material de trabajo y su grosor. Por lo general, el WJC se hace en forma automática usando un control numérico computarizado o robots industriales para manipulación de la unidad de boquilla a lo largo de la trayectoria deseada.

Corte con arco de plasma.



Un plasma se define como un gas súper calentado e ionizado eléctricamente. El corte con arco de plasma (PAC, por sus siglas en inglés) usa una corriente de plasma que opera a altas temperaturas en el rango de 10.000 a 14.000 °C (18.000 a 25.000 °F) para cortar metal por fusión.

En la acción de corte, se dirige la corriente del plasma a alta velocidad hacia el trabajo; esta misma acción funde e impulsa el metal fundido por la ranura. El arco de plasma se genera entre un electrodo dentro del soplete y la pieza de trabajo (ánodo). El plasma fluye a través de una boquilla enfriada con agua, que controla y dirige la corriente a la posición deseada del trabajo. El chorro de plasma resultante es una corriente de alta velocidad bien alineada con temperaturas extremadamente altas en su centro, y con el calor suficiente para cortar a través de un metal, que en algunos casos tiene un espesor de 150 mm.

Los gases usados para crear el plasma incluyen el nitrógeno, el argón, el hidrógeno o una mezcla de éstos. Tales fluidos se denominan los gases primarios en el proceso. Con frecuencia se dirigen gases secundarios o agua para rodear el chorro de plasma, a fin de ayudar a confinar el arco y limpiar la ranura de metal que se forma.

La mayoría de las aplicaciones del PAC implican el corte de láminas de metal y placas planas. Las operaciones incluyen el barrenado y el corte a lo largo de una trayectoria definida.

El corte con arco de plasma puede utilizarse para cortar casi cualquier metal eléctricamente conductivo. Con frecuencia los metales cortado en el PAC incluyen aceros al carbono simple, el acero inoxidable y el aluminio.

Corte con rayo de energía.



El Maquinado con haz de electrones (EBM, por sus siglas en inglés) es uno de los varios procesos industriales que usan haces de electrones. Además del maquinado, otras aplicaciones de ésta tecnología incluyen el tratamiento térmico y la micro soldadura.

El maquinado con haz de electrones utiliza una corriente de electrones a alta velocidad enfocada hacia la superficie de la pieza de trabajo para remover material mediante fusión y vaporización.

Un cañón de haz de electrones genera una corriente continua de electrones que se aceleran aproximadamente a 75% de la velocidad de la luz y se enfocan a través de un lente magnético sobre la superficie de trabajo. El lente es capaz de reducir el área del haz a un diámetro tan pequeño como 0.025 mm. Al chocar contra la superficie, la energía cinética de los electrones se convierte en energía térmica de una densidad muy alta, la cual funde o vaporiza el material en un área localizada.

El maquinado con haz de electrones se usa para diversas aplicaciones de corte de alta precisión sobre cualquier material conocido, las cuales incluyen el taladrado y el corte de ranuras.

El maquinado por haz de láser (LBM, por sus siglas en inglés) usa la energía luminosa para remover un material mediante vaporización y desgaste.

Los tipos de láser utilizados para éste proceso son de gas de dióxido de Carbono y de estado sólido.

En el maquinado por haz de láser, la energía del haz de luz coherente se concentra no sólo en forma óptica, sino también en términos de tiempo. El haz de luz se dirige para que la energía liberada produzca un impulso contra la superficie de trabajo, lo que a su vez produce una combinación de evaporación y fusión, con la salida de material fundido desde la superficie de trabajo a alta velocidad.



El LBM se usa para ejecutar diferentes tipos de operaciones de taladrado, corte en tiras, ranurado, grabado y marcado.

El rango de materiales de trabajo que se pueden maquinar mediante éste proceso es virtualmente ilimitado. Las propiedades ideales, incluyen una alta absorción de energía luminosa, baja reflectividad, buena conductividad térmica, bajo calor específico, bajo calor de fusión y bajo calor de evaporación.



Capítulo II

Ventiladores.

Un ventilador es una máquina de fluido gaseoso concebida para producir una corriente de aire mediante un rodete con aspas que giran produciendo una diferencia de presiones. Entre sus aplicaciones, destacan las de hacer circular y



renovar el aire en un lugar cerrado para proporcionar oxígeno suficiente a los ocupantes y eliminar olores, principalmente en lugares cerrados; así como la de disminuir la resistencia de transmisión de calor por convección. Fue inventado en 1882 por el estadounidense Schuyler S. Wheeler.

Se utiliza para desplazar aire o gas de un lugar a otro, dentro de o entre espacios, para motivos industriales o uso residencial, para ventilación o para aumentar la circulación de aire en un espacio habitado, básicamente para refrescar. Por esta razón, es un elemento indispensable en climas cálidos.

Un ventilador también es la turbo máquina que absorbe energía mecánica y la transfiere a un gas, proporcionándole un incremento de presión no mayor de 1.000 mmH₂O aproximadamente, por lo que da lugar a una variación muy pequeña del volumen específico y suele ser considerada una máquina hidráulica.

En energía, los ventiladores se usan principalmente para producir flujo de gases de un punto a otro; es posible que la conducción del propio gas sea lo esencial, pero también en muchos casos, el gas actúa sólo como medio de transporte de calor, humedad, etc.; o de material sólido, como cenizas, polvos, etc.

Entre los ventiladores y compresores existen diferencias. El objeto fundamental de los primeros es mover un flujo de gas, a menudo en grandes cantidades, pero a bajas presiones; mientras que los segundos están diseñados principalmente para producir grandes presiones y flujos de gas relativamente pequeños. En el caso de los ventiladores, el aumento de presión es generalmente tan insignificante comparado con la presión absoluta del gas, que la densidad de éste puede considerarse inalterada durante el proceso de la operación; de este modo, el gas se considera incompresible como si fuera un líquido. Por consiguiente en principio no hay diferencia entre la forma de operación de un ventilador y de una bomba de construcción similar, lo que significa que matemáticamente se pueden tratar en forma análoga.

Ventiladores industriales.



Los ventiladores centrífugos constituyen uno de los muchos tipos de turbo maquinarias, estos son utilizados para transferir energía a un fluido. Estos son muy similares a las bombas y compresores centrífugos.

Existen principalmente dos tipos de ventiladores para la industria, que son los axiales y los centrífugos, los cuales son utilizados para distintos usos, uno de ellos, y el mas común es la extracción de diferentes tipos de gases o el enfriamiento del aire que pasa por su rodete, dependiendo del lugar donde se utilice este.

En los ventiladores centrífugos la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Si el aire a la salida se recoge perimetralmente en una voluta, entonces se dice que el ventilador es de voluta.

Estos ventiladores tienen tres tipos básicos de rodetes:

1. Álabes curvados hacia adelante,
2. Álabes rectos,
3. Curvados hacia atrás.

Los ventiladores de álabes curvados hacia adelante (también se llaman de jaula de ardilla) tienen una hélice o rodete con las álabes curvadas en el mismo sentido que la dirección de giro. Estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y son silenciosos. Se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja a media, tal como la que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire, etc. No es recomendable utilizar este tipo de ventilador con aire polvoriento, ya que las partículas se adhieren a los pequeños álabes curvados y pueden provocar el desequilibrado del rodete.



Estos ventiladores tienen un rendimiento bajo fuera del punto de proyecto. Además, como su característica de potencia absorbida crece rápidamente con el caudal, ha de tenerse mucho cuidado con el cálculo de la presión necesaria en la instalación para no sobrecargarlo. En general son bastante inestables funcionando en paralelo vista su característica caudal-presión.

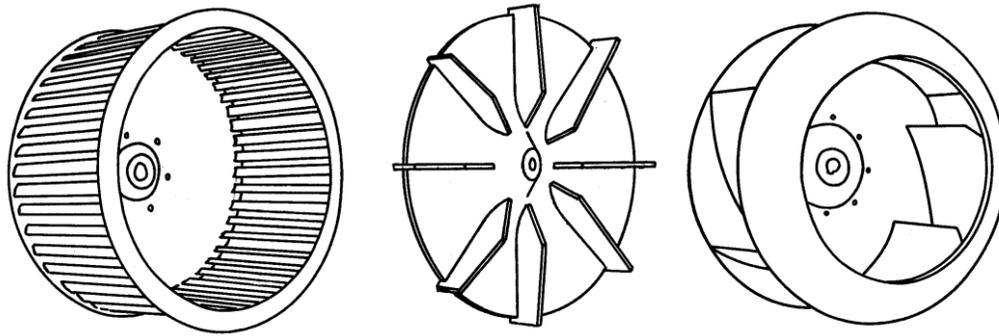


Fig. 2. Ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia delante, radiales y atrás.

Los ventiladores centrífugos radiales tienen el rodete con los álabes dispuestas en forma radial. La carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcanzan velocidades de transporte de materiales. Existen una gran variedad de diseños de rodetes que van desde los de "alta eficacia con poco material" hasta los de "alta resistencia a impacto". La disposición radial de los álabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas. Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador. En este tipo de ventiladores la velocidad periférica es media y se utilizan en muchos sistemas de extracción localizada que vehiculan aire sucio o limpio.

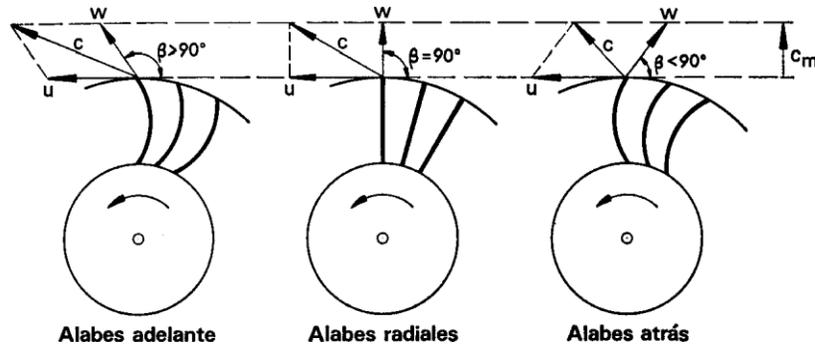


Fig. 3. Triángulos de velocidades a la salida para los distintos rodetes centrífugos

Los ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás tienen un rodete con las álabes inclinados en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía del tipo "no sobre cargable". En un ventilador "no sobre cargable", el consumo máximo de energía se produce en un punto próximo al de rendimiento óptimo de forma que cualquier cambio a partir de este punto debido a cambios de la resistencia del sistema resultará en un consumo de energía menor. La forma de los álabes condiciona la acumulación de materiales sobre ellas, de forma que el uso de estos ventiladores debe limitarse como se indica a continuación:

- **Álabes de espesor uniforme:** Los álabes macizos permiten el trabajo con aire ligeramente sucio o húmedo. No debe emplearse con aire conteniendo materiales sólidos ya que tienen tendencia a acumularse en la parte posterior de los álabes.
- **Álabes de ala portante:** Las álabes de ala portante permiten mayores rendimientos y una operación más silenciosa. Los álabes huecos se erosionan rápidamente y se pueden llenar de líquido si la humedad es alta, por ello su uso queda limitado a aplicaciones en las que se manipule aire



limpio.

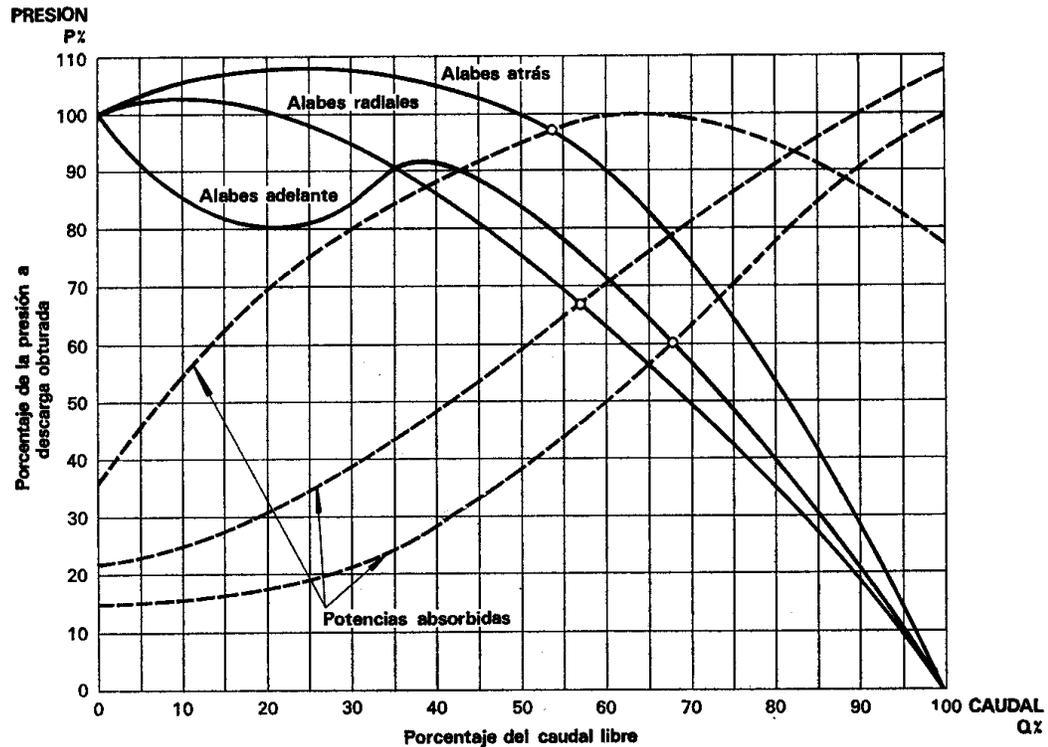


Fig. 4. Curvas características relativas para ventiladores centrífugos. No se observa en la figura, pero las características de “álabes adelante” pasan por encima de las otras dos en valor absoluto.

Usos y aplicaciones.

El propósito general de cualquier sistema de ventilación es promover la salud, confort y bien estar de los ocupantes del espacio servido. Esto es logrado mediante el control de las condiciones térmicas, las cantidades de contaminantes, o ambas, en el ambiente atmosférico.

La ventilación es una parte de acondicionamiento de aire, y los principios dieron aplicación a otros sistemas que pueden ser descritos con otro nombre. Similarmente, el término ventilación industrial es usado muy ampliamente, tanto para cubrir los sistemas que expulsan e insertan aire a un espacio o también



puede utilizarse para la refrigeración de cierto tipo de máquinas con el fin de enfriarlo desplazando aire frío hacia la máquina, como un ejemplo, el motor de un automóvil.

Ruedas y tipos de álabes.

Las ruedas son uno de los elementos más importantes del ventilador, ya que sin ella el flujo no tendría movimiento que es generado por las aspas de la rueda y estos varían de forma dependiendo del flujo, la cantidad y la velocidad a la cual se va a mover.

Son aquellos en los cuales el flujo de aire cambia su dirección, en un ángulo de 90°, entre la entrada y salida. Se suelen sub clasificar, según la forma de las palas o álabes del rotor, de la siguiente manera:

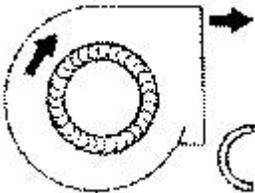
VENTILADOR	DESCRIPCION	APLICACIÓN
 <p>CURVADAS HACIA ADELANTE</p>	<p>Rotor con palas curvadas hacia adelante, apto para caudales altos y bajas presiones. No es autolimitante de potencia. Para un mismo caudal y un mismo diámetro de rotor gira a menos vueltas con menor nivel sonoro.</p>	<p>Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión.</p>

fig.5 Descripción de álabes curvados hacia adelante.



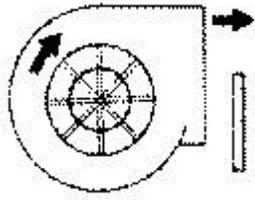
 <p>PALAS RADIALES</p>	<p>Rotor de palas radiales. Es el diseño más sencillo y de menor rendimiento. Es muy resistente mecánicamente, y el rodete puede ser reparado con facilidad. El diseño le permite ser autolimpiante. La potencia aumenta de forma continua al aumentar el caudal.</p>	<p>Empleado básicamente para instalaciones industriales de manipulación de materiales. Se le puede aplicar recubrimientos especiales anti-desgaste. También se emplea en aplicaciones industriales de alta presión.</p>
---	---	---

Fig.6 Descripción de alabes radiales.

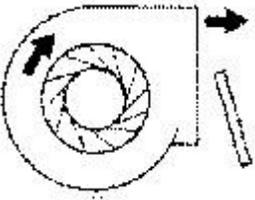
 <p>INCLINADAS HACIA ATRAS</p>	<p>Rotor de palas planas o curvadas inclinadas hacia atrás. Es de alto rendimiento y autolimitador de potencia. Puede girar a velocidades altas.</p>	<p>Se emplea para ventilación, calefacción y aire acondicionado. También puede ser usado en aplicaciones industriales, con ambientes corrosivos y/o bajos contenidos de polvo.</p>
---	--	--

fig.7 Descripción de álabes inclinados hacia atrás.



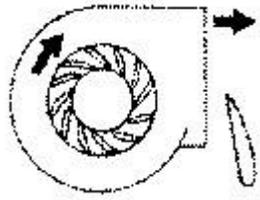
 <p>AIRFOIL</p>	<p>Similar al anterior pero con palas de perfil aerodinámico. Es el de mayor rendimiento dentro de los ventiladores centrífugos. Es autolimitante de potencia.</p>	<p>Es utilizado generalmente para aplicaciones en sistemas de HVAC y aplicaciones industriales con aire limpio. Con construcciones especiales puede ser utilizado en aplicaciones con aire sucio.</p>
--	--	---

Fig.8 Descripción de álabes airfoil.

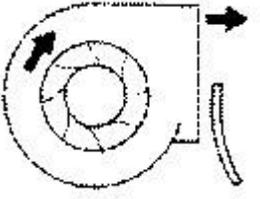
 <p>RADIAL TIP</p>	<p>Rotores de palas curvadas hacia delante con salida radial. Son una variación de los ventiladores radiales pero con mayor rendimiento. Aptos para trabajar con palas antidesgaste. Son auto limpiantes. La potencia aumenta de forma continua al aumento del caudal.</p>	<p>Como los radiales estos ventiladores son aptos para trabajar en aplicaciones industriales con movimiento de materiales abrasivos, pero con un mayor rendimiento</p>
---	--	--

Fig.9 Descripción de álabes curvados hacia adelante con salida radial.



Capítulo III

Proceso de manufactura.

Preparación, cortado y formado de las piezas.



En esta parte del proceso se habilitan las piezas de la rueda, es decir, se toma la materia prima necesaria para la construcción del mismo, y es cortada a las dimensiones asignadas por el diseño.

Para cortar cada una de las piezas que serán utilizadas en el armado del rotor, se utiliza una cortadora de plasma, controlada por un software llamado Columbus, el cual transforma el diseño realizado en inventor en control numérico para poder realizar el corte.

En esta misma parte del proceso se marcan las piezas. El proceso de marcado consiste en realizar algunas líneas de posición para que no se tenga problemas al montar las piezas, como por ejemplo, la posición de las aspas en el respaldo de la rueda.

Plato de respaldo.

El respaldo es la parte trasera de la rueda, tiene una forma circular y es donde se montan las aspas.

La preparación de esta depende de un diámetro, el cual es trazado y cortado en una placa de metal con ayuda de una maquina de corte de plasma.

Se marca la posición de las aspas para que no se tenga ningún problema al montarlas y no tener que realizar algún ajuste considerable de último momento. Esto se hace con la finalidad de hacer más rápido el proceso de soldadura.



fig.10 Respaldo de una rueda ya habilitado y trazado con el lugar de las aspas.

Álabes.

Las aspas son una de las partes más importantes de la rueda, son las que generarán el movimiento del fluido dentro del ventilador, estas son una de las partes que reciben mayor desgaste dentro de la rueda, ya que se genera una fricción al momento de impulsar el fluido.

La elaboración de un aspa comienza con el trazo y corte de esta en una lamina de metal, después esta es llevada a una roladora o a una dobladora para darle la curvatura que necesita dependiendo del diseño del ventilador.

Después de esto, en algunos casos, se le suelda una protección a cada aspa en la parte donde se tiene más contacto con el fluido, para evitar que el desgaste sea tan rápido y tenga una larga vida de uso.

El cálculo del diseño de las aspas se puede realizar de diferentes maneras, eso depende de la empresa y la información suele ser confidencial.

Lo que se suele tomar en cuenta para el cálculo de las aspas son:

- La velocidad en la cual va a trabajar (m/seg).



- Esfuerzo del aspa (N/mm^2).
- El ancho del aspa (mm).
- El diámetro de la rueda (m)
- El ángulo de descarga del aspa (grados), etc.



fig.11 Aspa ya cortada y lista para el preparado para el ensamble.

Tapa.

La tapa esta situada encima de las aspas y esta es utilizada para sostener las aspas y generar más firmeza a la rueda.

Esta es realizada mediante un proceso de rechazado que consiste en poner un aro de metal en unos dados y mediante estos generarle la forma que se necesita para la rueda a realizar. Generalmente se le deja un excedente de material debido a que si se da el material exacto puede que se tengan perdidas y esto genere una tapa con dimensiones inexactas y no funcionales, lo que significaría un desperdicio de material más considerable que si se le da un extra de material.



fig.12 Aro de metal siendo rechazado para la formación de la tapa.



fig.13 Cortando el excedente de material.



Fig.14 Tapa ya formada y cortada lista para el ensamble.

Cubo.

El cubo y la cuña son unas partes críticas de la rueda, ya que estas son las que tienen contacto directo con la flecha, gracias a ellas la rueda girará.

El habilitado del cubo consiste en un maquinado de acuerdo a las dimensiones necesarias y un barrenado para el contacto con la flecha.

Generalmente estos se realizan en un lugar donde el maquinado sea de manera más precisa, es decir, empresas o talleres especializados en dicho proceso ya que esta pieza necesita de medidas con una tolerancia muy cerrada.



fig.15 Cubo maquinado y listo para su ensamble en la rueda.



Proceso de armado de la rueda.

El proceso de armado comienza montando el respaldo de la rueda sobre una mesa de trabajo y fijándola a la misma mediante sujetadores.

Esto se hace debido a que, como son piezas pesadas, el subirlas a la mesa de trabajo facilita su manipulación y por lo tanto el armado se puede hacer de manera más eficiente.

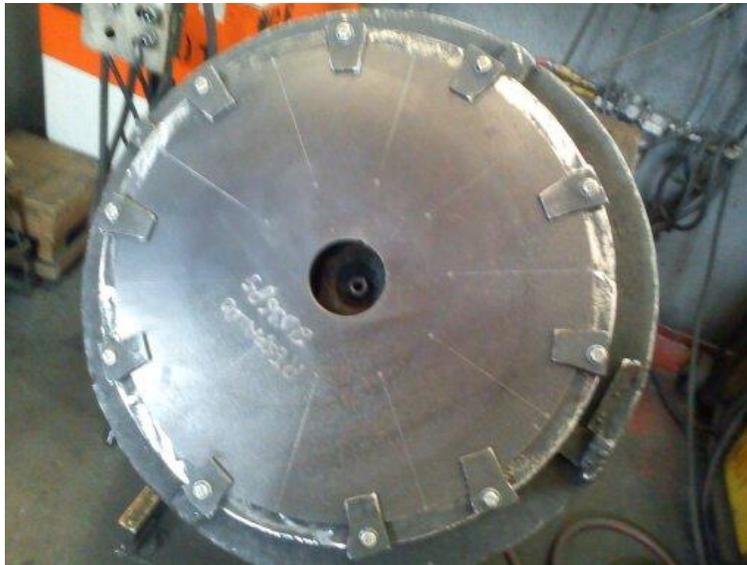


fig.16 Respaldo y mesa de trabajo.

Se esmerila la tapa en las zonas donde serán montadas las aspas y también las mismas aspas tienen que ser esmeriladas en la zona donde se aplicara soldadura.



fig.17 Proceso de esmerilado del respaldo.



fig18. Aspas esmeriladas en zonas a soldar.

El esmerilado de las piezas, a pesar de no ser tomado muchas veces en cuenta, es muy importante ya que si las piezas a soldar no se encuentran libres de impurezas, se puede generar oxido o un proceso de soldadura de calidad no apta para lo que será utilizada la rueda.



Por otro lado, como el cubo también va soldado al respaldo, se esmerila el área en la cual el cubo tendrá contacto con el respaldo.



fig.19 Respaldo totalmente esmerilado.

El área a soldar con el cubo es esmerilada una vez mas pero con una fresa pequeña para que sea un trabajo más preciso, con el fin de que el cubo haga contacto a la perfección con las paredes del respaldo.



fig.20 Esmerilado de la zona del cubo con fresa.



Desde el habilitado de la pieza, el agujero donde será soldado el cubo viene con dimensiones pequeñas, es decir, el cubo no entrara en ese primer orificio debido a que se dejó un exceso de material, para que al esmerilar no se produzca un orificio más grande que el cubo, por eso, en los últimos instantes del esmerilado se utiliza una fresa de afine para que no se sobrepase el limite de las dimensiones del agujero.



fig.21 Proceso de soldado del cubo al respaldo.

Una vez asegurado que el diámetro del agujero del respaldo coincide con el diámetro del cubo se procede a soldarlos.



fig.22 Cubo y respaldo ya soldados.



fig.23 Detalle de soldado del cubo y respaldo.

Después de que es posicionado el cubo en su lugar y soldado, se procede a colocar las aspas en el respaldo de la rueda.

Primero se colocan con dos puntos en los extremos de las aspas, alineando con el trazo que se le hizo para evitar en este momento del proceso retraso en el cálculo o trazado de la posición a mano, así evitando errores en la colocación de estas.



fig.24 Aspas colocadas con dos puntos en los extremos.

Una vez colocadas adecuadamente, se procede a soldarlas mediante un cordón de soldadura continuo fijándolas perfectamente al respaldo de la rueda.



fig.25 Cordón de soldadura en las aspas.

El cordón de soldadura debe ser puesto de manera continua debido a que en el aspa se generará uno de los mayores esfuerzos al momento de ser puesta en funcionamiento.



En dado caso de que el cordón tenga grumos o exceso de material en algún lado, es esmerilado con el fin de tener una continuidad en la cantidad del material de soldadura.



fig.26 Esmerilado de los cordones de soldadura de las aspas.

Por último es puesta la tapa del rotor encima de las aspas y es soldada a las mismas para poder dar una mejor resistencia y hacer más sólido el rotor al momento de ponerlo en funcionamiento.

Se debe aclarar que existen ruedas de esta índole cuyo uso de tapa no es necesario, debido a que no son utilizadas para fuertes presiones, como esta rueda llega a soportar grandes presiones es necesario darle un refuerzo extra como lo es la tapa.

Otro accesorio que se puede utilizar como refuerzo es el “Anillo de Refuerzo”, que al igual que la tapa, es utilizado cuando la rueda será expuesta a altas presiones provocadas por las altas revoluciones a las cuales estas trabajan los ventiladores.



fig.27 Tapa puesta en posición lista para ser soldada.



Proceso de Balanceo.

En este proceso se utiliza una balanceadora a la cual se monta la rueda terminada.



fig.28 Rueda montada en la balanceadora.

La rueda comienza a girar a las revoluciones indicadas en el diseño, en este caso son 500rpm.

La balanceadora nos indicara en que parte de la rueda existe algún exceso de masa y con lo cual se decide la mejor opción, agregar o quitar material de la rueda, ya sea esmerilando un poco la pieza o agregando tornillos con roldanas, y el peso a agregar o disminuir nos es indicado por la misma balanceadora, también el punto donde debe ser agregado.



fig.29 Pantalla de la balaceadora mostrando el exceso de masa con el punto rojo.

El proceso se repite hasta que el balanceo de la rueda se encuentre dentro del rango aceptable.

Pintura, ensamble y embarque.

Cuando la rueda es inspeccionada totalmente, y esta balanceada y ha aprobado todas las normas de calidad es pintada, la pintura es utilizada como aislante para evitar su oxidación y así agregándole un extra de protección a la misma a la corrosión que será provocada por el aire que será puesto en movimiento por las aspas.



fig.30 Rueda pintada y terminada.

Una vez pintada, es sometida a una última inspección y si resulta liberada, es montada a la carcasa, junto con el motor y sus demás componentes y es empacada para mandarla al cliente lista para ser montada y usada.



fig.31 Ventilador terminado.



Discusión.

El proceso utilizado en este tipo de manufactura es muy “clásico” por lo tanto este debe de mejorarse y mantenerse al día debido a que si se permite que pase mucho tiempo, otras empresas crecerán y mejorarán su proceso invirtiendo en mejores maquinas y en capacitaciones, haciendo que este método de fabricación quede en el pasado, al igual que a la empresa que lo maneje, por eso es sumamente necesario que el proceso se mejore, analizándolo más a fondo, y aplicarle un proceso de mejora continua a este, es decir, que a pesar de que se hagan los cambios sugeridos, se sigan haciendo cambios en lo más mínimo hasta perfeccionar el proceso obteniendo una calidad del 100%, así como eficiencia y productividad, y un desperdicio del 0% tanto humano como de materia prima, entregando el producto “just in time” y de esta manera, lo más importante del negocio, tener un cliente satisfecho y feliz, porque este, al igual que un cliente disgustado, se multiplica a la enésima exponencial.

Para poder lograr esto, además de invertir en la maquinaria, también es necesario hacer crecer la mente del trabajador, quitándole de su cabeza los estigmas que genera la tecnología. Al invertir en una maquina cortadora de placa, el trabajador piensa que esta sustituirá a diez de ellos cuando no es del todo cierto, una maquina es utilizada para facilitar el trabajo, es una ayuda para el trabajador que ahora se convertirá en operador, el cual podrá tener una mejor oportunidad de crecimiento siempre y cuando acepte a la máquina de su lado.



Capítulo IV

Sugerencias para el proceso.



Cortadora de placas.

En el proceso actualmente se utiliza una cortadora de plasma, del cual uno de sus mayores problemas y en el cual nos enfocaremos es el exceso de material que destruye al hacer su corte, como ejemplo. Al cortar una placa de acero de 5 mm (3/16") se obtiene una amplitud de corte de 3 mm (1/8") obteniendo un desperdicio muy grande y este crece junto con el grosor de la placa llegando en ocasiones tener una amplitud de corte de casi 13mm (1/2") cuando la tolerancia requerida en algunas piezas del proceso en cuestión a medidas es de 1.5 mm (1/16").

Además este es un corte que se hace en caliente, lo cual significa que existe una alta temperatura y esta puede distorsionar las características de nuestro acero modificando su estructura molecular. También este proceso libera gases tóxicos al momento de realizar el trabajo, afectando al operador y al medio ambiente de una manera considerable.

Ventajas del corte de chorro de agua sobre otros procesos de corte.

- Implementación sumamente rápida – de la mesa de delineado al corte
- Tiempos cortos de preparación – las fuerzas tangenciales que sólo se presentan en pequeña medida hacen superflua una complicada fijación de la pieza
- Elevada precisión – hace innecesario un costoso procesamiento posterior
- Elevadas velocidades de corte
- Ningún afilado de herramientas necesario
- Más seguro para el operador y el medio ambiente – no se generan ni vapores, ni polvo de material; no se necesitan agentes refrigerantes caros
- Procedimiento de corte en frío – no provoca ningún cambio de estructura en el material
- Producto final limpio – elimina la necesidad de procedimientos de mecanizado posterior



- Cantos de corte libres de rebarbas – en la mayoría de las aplicaciones no es necesario un mecanizado de cantos de corte
- Reducido ancho de junta de corte
- Ideal para la rápida creación de prototipos, la producción flexible. Acreditado en la producción de grandes series
- Óptimo aprovechamiento de material con software CAD/CAM
- Soluciones de sistema específicas para el cliente.

La gran ventaja de esta tecnología en comparación a otros procedimientos de seccionado, es que se trata de un procedimiento de corte en frío. Se aplica preferentemente este procedimiento tecnológico, donde el corte, el mecanizado por arranque de viruta o procedimientos térmicos no conducen a resultados de corte cualitativamente suficientes. En contrapartida a los procedimientos térmicos de corte, los materiales cortados mediante chorro de agua no están sujetos a ninguna tensión térmica durante el corte, de manera que no se provocan ni endurecimientos de material ni torsiones y tampoco se genera ninguna gota de material fundido ni emisiones gaseosas.

En el corte láser de materiales sintéticos se generan gases tóxicos, que a su vez son costosos de aspirar, tratar y eliminar. Para metales recubiertos de material sintético, el corte por chorro de agua representa frecuentemente el único procedimiento conveniente de corte, debido a que no conduce a ninguna alteración negativa de la superficie. No vale siquiera la pena, querer seccionar determinados materiales en grandes mayores con los procedimientos térmicos habituales. Así por ejemplo titanio, acero inoxidable, cobre y aluminio con el corte láser provocan los mayores problemas. Un láser es asimismo inapropiado para cortar determinados materiales minerales o reforzados con fibras.

Para crear formas de cortes complejas. Con este proceso de corte en frío, los materiales pueden ser llevados a casi cualquier forma. Los fabricantes que modifican permanentemente contornos de corte y materiales, están sorprendidos de la flexibilidad del corte por chorro de agua. El corte por chorro de agua puede



ser aplicado con el empleo de diferentes técnicas de corte. Cantos vivos o fases, radios mínimos todo es posible. La posibilidad de comenzar un corte en el centro del material, hacen del corte por chorro de agua una herramienta de aplicación universal para cada tipo de material.

Al cortar por chorro de agua. El proceso completo es de sobremanera limpio; no se genera ni polvo ni valores dañinos para la salud. No se necesitan aceites o emulsiones de corte. Con los precios actuales de materias primas y los recursos disponibles sólo de manera limitada, el aprovechamiento óptimo de material, representan ventajas de competencia sobresalientes que tornan fácil una decisión para el corte por chorro de agua.



fig.32 Proceso de corte con chorro de agua.

Proceso de soldadura automatizado.



El proceso de soldadura utilizado en la manufactura de la rueda es 100% manual, es decir, todo es manejado, soldado y revisado por personal, lo que significa una gran oportunidad de errores en cualquier parte del proceso. Para la parte del soldado de las piezas se sugiere automatizarlo, debido a que con eso se generara un proceso totalmente homogéneo, reduciendo costos en inspección de las ruedas, debido a que el proceso de soldadura sería exactamente igual en todas, solo sería necesario inspeccionar una sola rueda por ciclo y reduciendo significativamente el error humano que es factor mas preocupante en el proceso.

Ventajas del proceso de soldadura con robots.

Un proceso de soldadura que contiene tareas repetitivas de piezas similares podría ser adecuado para la automatización. El número de elementos de cualquier tipo a soldar determina si la automatización es viable en un proceso o no. Si hay partes que normalmente necesitan ajuste para encajar correctamente, o si las uniones a soldar son demasiado grandes o en posiciones diferentes de pieza a pieza, la automatización del procedimiento será difícil o imposible. Los robots funcionan bien para las tareas repetitivas o piezas similares que involucran a las soldaduras en más de un eje o donde el acceso a las piezas es difícil.

Las ventajas más destacadas de la soldadura automatizada son la precisión y la productividad. Un Robot de soldadura autógena mejora la capacidad de repetición. Una vez programado correctamente, los robots pueden soldar precisamente los objetos de las mismas dimensiones y especificaciones.

Automatizando los movimientos se disminuye el potencial de error que significa la disminución de los desechos y re-trabajos. Con el robot de soldadura también se puede obtener un aumento de la producción. No sólo funciona un robot más rápido, el hecho de que una célula esté totalmente equipada y optimizada significa que un robot puede funcionar durante 24 horas al día, 365 días al año sin



interrupciones y esto hace que una célula sea más eficiente que una célula de soldadura manejada manualmente.

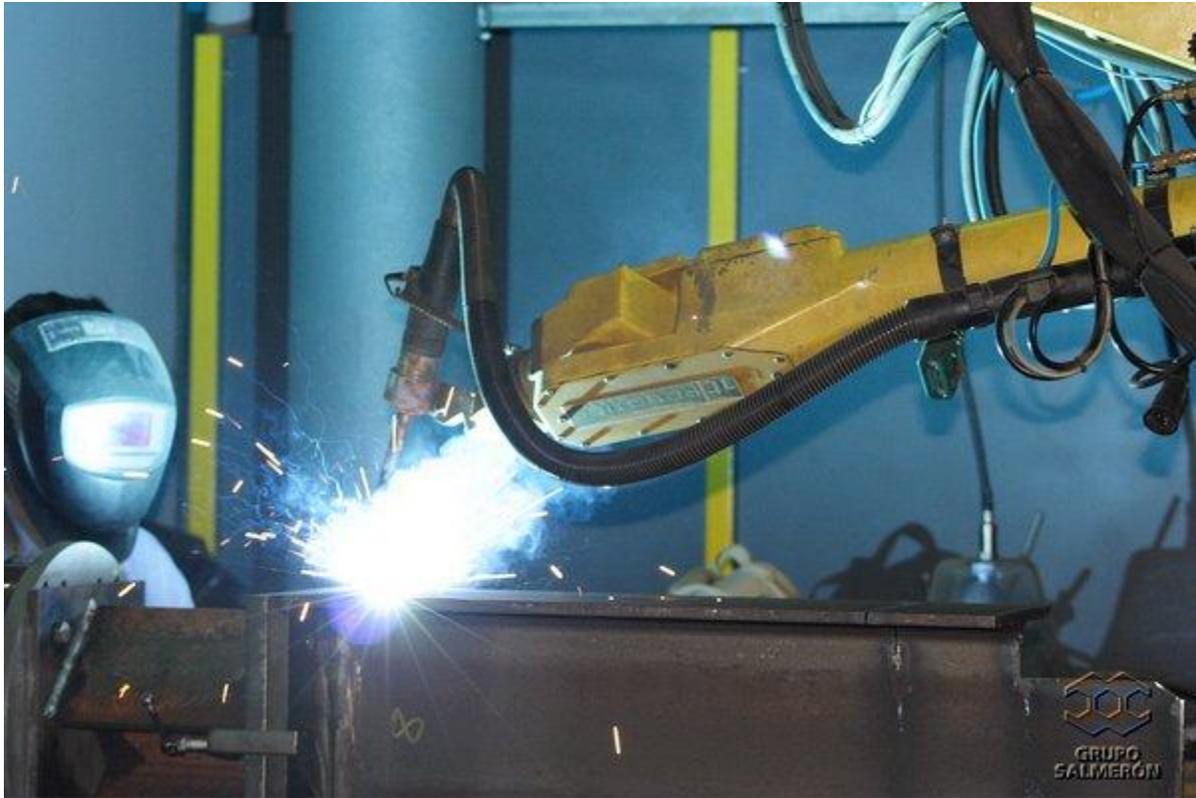


fig.33 Proceso de soldadura automatizado.

Tabletas electrónicas vs planos de papel.

Para todo el proceso de manufactura son requeridos los dibujos de diseño por el personal de producción, con ellos se apoyan para poder realizar el proceso de la mejor manera posible, como en todo dibujo de diseño, en él vienen especificadas las dimensiones del material y la forma de aplicar la soldadura a la rueda y de qué manera en cada parte, también se pueden ver las tolerancias especificadas en cada parte. En otras palabras, el personal se basa totalmente en el diseño para construir la rueda y necesitan consultar el dibujo de manera continua.

Por eso para el proceso son impresos una cantidad considerable de planos, que con el paso del tiempo estos, debido a causas naturales del proceso, llegan a



terminar sucios, rotor, quemados o perdidos, además de que en algunos casos el dibujo llega a ser tan cargado de información que quedan detalles muy pequeños, a pesar de que es impreso en un tamaño grande, y son difíciles de visualizar y es necesario realizar otra impresión del detalle deseado, pero perdiendo el resto del dibujo lo que puede causar problemas debido a que se pierde el resto de la información o se tiene que consultar otro dibujo, lo que llega a ser difícil, complicado y sobre todo, llega a tomar demasiado tiempo lo cual reduce la productividad considerablemente.

Con las tabletas electrónicas puede reducirse ese tiempo de consulta a más de la mitad, debido a que no son como las computadoras, una tableta electrónica enciende al instante, y su forma de interactuar con ellas es de familiar y muy intuitiva, es decir, deslizando los dedos sobre la pantalla se puede obtener la información deseada con tan solo tocar el icono que se necesita consultar.

Como los dibujos son realizados en CAD pueden ser exportados a archivos PDF, tipos de archivos que pueden ser abiertos por Adobe, programa que puede ser instalado en casi cualquier dispositivo electrónico (smart phones, computadoras, tabletas electrónicas) lo cual permite visualizar el diseño estés donde estés.

Al ser archivos podemos controlarlos de una mejor manera, debido a que estos al ponerles un poco de seguridad son imposibles de editar, lo cual el control sobre el diseño es total y no puede ser alterado por personal no autorizado, evitando así el mal uso de los diseños.

De la misma manera, como son archivos, y como las tabletas tienen conexión wi-fi, podemos crear un servidor para ellas, en donde se pueden ver los dibujos, y el cual al momento de realizar una actualización solo se haga una vez por dibujo, en vez de imprimir docenas de ellos para cada área que necesita la información, o si no se desea utilizar un servidor para estas, simplemente se actualizan las tabletas



lo cual sigue siendo una reducción del tiempo que se utiliza para la impresión de cada uno de los dibujos.

Cabe también mencionar que con la implementación del uso de tabletas, se reduce considerablemente el uso del papel en la industria, así dándole un gran respiro al medio ambiente, en este caso, debido a que no se imprimirían los dibujos, y así evitando un promedio de 70 hojas de papel del tamaño de 8 cartas por proyecto sin considerar alguna actualización (revisión del dibujo), de esta manera desechando impresoras y plotter generando nuevo espacio productivo y sobre todo, evitando el desperdicio y el mal uso del papel.



fig.34 Tableta electrónica.

Conclusiones.

Al analizar el proceso de manufactura de la rueda centrifuga de un ventilador industrial se pudieron encontrar áreas de oportunidad, por lo tanto el proceso de manufactura se puede mejorar.



Bibliografía:

- Material selection in mechanical design, Pergamon Press. 1ª ed. 1992
- Engineering Design, The design council. 1ª 1984
- Ingeniería Mecánica y diseño 1 y 2, Mc Graw Hill 1ª 1994
- Manual del ingeniero Mecanico, Mc Graw Hill 3ª ed. En español 1995
- Fan engineering, Howden Buffalo 9ª ed. 1999
- Mecánica de materiales, Mc Graw Hill 1ª 1970
- La ciencia e ingeniería de los materiales, Grupo editorial Iberoamérica. 1ª 1985
- Mecánica de fluidos, Mc Graw Hill 1ª 1993
- Howden Academy Course 1, Howden Buffalo 1ª ed. 2010
- Industrial fans, handbook of modern fan technology. 1ª ed. 1987