

ÍNDICE MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA.....	1
RESUM.....	3
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
OBJETO.....	7
Capítulo 1: Introducción.....	9
1.1. Mejora del acabado superficial de superficies complejas	9
1.2. Deformación plástica	10
1.3. Mejora del acabado superficial a través del bruñido con bola	11
1.3.1. Evolución de análisis y conclusiones obtenidos por diferentes autores.....	11
1.3.2. Comparativa de los resultados obtenidos en los trabajos anteriores.....	18
Capítulo 2: proceso y herramienta.....	21
2.1. Descripción del proceso y características de la herramienta desarrollada	21
2.1.1. Proceso de Bruñido.....	21
2.1.2. Ventajas e inconvenientes.....	22
2.1.3. Prototipos de herramientas de bruñido.....	24
2.1.4. Descripción de los elementos mecánicos que componen la herramienta.....	25
Capítulo 3: propuestas de diseño.....	27
3.1. Soluciones de diseño.....	27
3.2. Soluciones de procesos de fabricación	28
Capítulo 4: presupuestos	29
Capítulo 5: conclusiones	31
Capítulo 6: Bibliografía.....	33
Annexes a la memòria	

RESUM

Aquest projecte està basat en la investigació experimental sobre un prototip d'eina del procés de brunyit. En aquest, es planteja el disseny d'alguns elements que formen el conjunt de l'eina. Els elements a dissenyar són: el cos principal de l'eina, el casquet de fricció per bola de 10mm i el guidor, havent tingut accés a uns ja existents i fabricats.

A banda d'aquests, també es pretén dissenyar un nou casquet de fricció per a boles de diàmetre 3 i 5mm. Donat que no es té cap antecedent de casquets per a boles d'aquestes dimensions, es produeix el disseny i s'estudia si es efectiu i si pot ser portat a fabricar. Aquests nous casquets tindran les mateixes característiques al casquet per a bola de 10mm, l'única diferència seria la seva geometria.

S'estudiarà el procés de fabricació de tots i cadascun d'aquests elements de l'eina, optimitzant el procés de la forma més econòmica, efectiva, i ràpida possible.

Un cop aconseguit aquests punts, en cas d'aconseguir bons resultats, es fabricarien les peces que no es tenen, com ara: els casquet de 3 i 5mm. I es dissenyarien experiments per efectuar les pertinents proves en MINITAB. I finalment, es farien les proves experimentals i s'analitzaria l'evolució en funció del diàmetre de la bola, del material d'aquesta, i del nombre de passades. El material treballat és Al 96351.

Per concloure, es comprovaran els resultats obtinguts després del procés. I es contrastaran propietats del material com: rugositat superficial (R_a, R_t) tant en sentit paral·lel com en sentit ortogonal al avanç, duresa i microduresa (HRC/HV) i anàlisi de la microestructura. Amb tot això, es produirà un dictamen general del procés i dels resultats obtinguts.

RESUMEN

Este proyecto está basado en la investigación experimental sobre un prototipo de herramienta del proceso de bruñido. En él, se plantea el diseño de algunos elementos que forman el conjunto de la herramienta. Los elementos a diseñar

son: el cuerpo principal de la herramienta, el casquillo de fricción para bola de 10mm y el vástago o guiador, habiendo tenido acceso a unos ya existentes y fabricados.

A parte de éstos, también se pretende diseñar un nuevo casquillo de fricción para bolas de diámetro 3 y 5mm. Dado que no se tiene ningún antecedente de casquillos para bolas de dichas dimensiones, se efectúa el diseño y se estudia si es efectivo y puede ser llevado a fabricar. Estos nuevos casquillos tendrán las mismas características que el casquillo para la bola de 10mm, sólo con la diferencia de la geometría.

Se estudiará el proceso de fabricación de todos y cada uno de estos elementos de la herramienta, optimizando el proceso de forma que resulte más económico, efectivo rápido posible.

Una vez alcanzado estos puntos, en caso de obtener buenos resultados, se fabricarían las piezas que no se posee como: el casquillo para 3 y 5mm. Y se diseñarían experimentos para efectuar las pertinentes pruebas en MINITAB. Y finalmente, se efectuaría las pruebas experimentales y se analizaría la evolución en función del diámetro de la bola, del material de ésta, y del número de pasadas. El material con el que se trabaja es Al 96351.

Para concluir, se comprobarán los resultados obtenidos después del proceso. Y se contrastarán propiedades del material como: rugosidad superficial (Ra, Rt) tanto en sentido paralelo como ortogonal al avance, dureza o microdureza (HRV, HV) y análisis de la micro-estructura. Con todo ello, se efectuará un dictamen general del proceso y de los resultados obtenidos.

ABSTRACT

This project is based on the experimental investigation about a burnishing process tool's prototype. In it, it is arisen some elements' design which take part of the entire tool.

The elements to design are: the principal body, the ball case of 10 mm diameter and the shoot, and their design and dimensions have been shown because they are already manufactured.

Apart from those, it is supposed to design a new ball case for 3 and 5mm diameter's balls. As we do not know anything about these ball cases, we have to make our own design and then it will be studied, if it is effective or not and the possibility of being manufactured. These news ball cases will have the

same properties like ball case of 10 mm diameter, although they will have different geometry.

Every tool's element manufacture process will be studied making the optimized process referring to velocity, efficiency and economy.

Once these points are achieved, in case of good results, the new pieces would be manufactured, as: 3 and 5mm diameter ball cases. Then, experiments would be design for making those tests in MINITAB. Finally, experimental tests will be made. Afterwards, the evolution will be analyzed considering the ball's dimension, its material, and the number of repetitions of the process. Al 96351 is the material worked.

To conclude, the results obtained after the process will be checked. The properties will be also checked, like: superficial roughness (R_a , R_t) in parallel and perpendicular directions of the advance, hardness and micro-hardness (HRV, HV) and micro-structure checking. A general evaluation will be given about all the results obtained during and after the process.

OBJETO

El objeto de este proyecto es pues alcanzar todos los puntos explicados anteriormente.

Dado que el proceso de bruñido no es un proceso muy experimentado, lo que se pretende con este proyecto es conseguir diseñar los elementos de la herramienta y diseñar un óptimo proceso de fabricación de éstas para después poderlas someter a un trabajo experimental.

En este trabajo experimental se evaluará el comportamiento del bruñido sobre la pieza trabajada durante y después del proceso. Se estudiará la evolución de las propiedades y características mecánicas del material trabajado.

En él, se examinará concretamente cómo ha influido en él el diámetro de la bola, el material de ésta y cómo influye a su vez el número de pasadas.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Al paso de los años la tecnología ha ido avanzando para poder cubrir nuestras necesidades en todos los ámbitos. De ahí que no baste con continuar con métodos convencionales aunque sean efectivos, pues hace falta mejorar aquello que ya se consiguió e ir innovando.

En el ámbito de procesos de fabricación industriales también se ha visto afectado, es por este motivo la investigación de este proyecto.

1.1. Mejora del acabado superficial de superficies complejas

Debido a la necesidad de conseguir mejoras en el acabado superficial de las diferentes piezas fabricadas, se prosigue a experimentar diferentes procesos para conseguir dicho fin.

Las piezas de superficies planas o en revolución no presentan una gran complejidad para ser tratadas con procesos mediante arranque de virutas o deformación plástica, como: rectificado, lapeado, pulido, pulido láser, laminado... La dificultad aparece cuando estas piezas se caracterizan por tener una superficie compleja y se pretende mejorar su rugosidad superficial.

Por esta razón, una solución que se adoptó fue pulir manualmente, lo cual a parte de necesitar un personal específico para ello, resultó ser un proceso lento y caro; y por consiguiente, poco efectivo. Para mejorarlo, algunas empresas optaron por automatizar el proceso aunque no se obtuvieron resultados óptimos aplicables en procesos reales.



Imagen 1. Pulido automatizado (IDEKO)

El pulido láser fue otro proceso con el cual se intentó sustituir el pulido manual de superficies complejas. Este proceso se aplica a elementos no metálicos y en la actualidad se está investigando sobre superficies metálicas cuyos resultados obtenidos son de reducciones de la rugosidad en un orden del 85% y unos valores finales por debajo de $Ra = 1$ micra. A pesar de ello, es un proceso con limitaciones en el ámbito industrial.

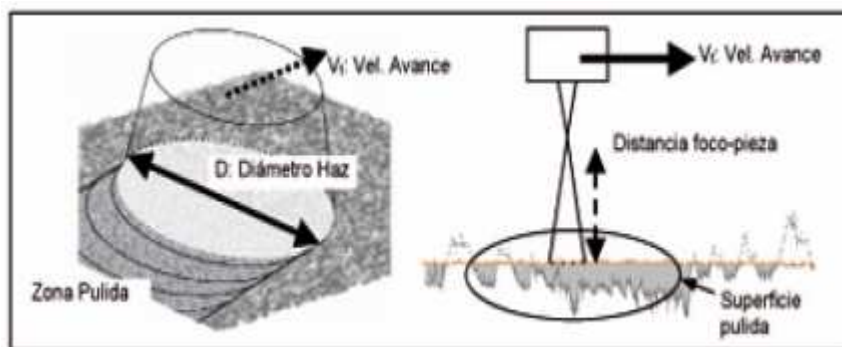


Imagen 2. Pulido láser (www.interempresas.net)

1.2. Deformación plástica

Para que una pieza sea deformada, es necesario conocer previamente el valor de la fuerza que se ha de aplicar al material. Es un dato importante en un proceso, aunque también lo son otros: coeficiente de fricción de la interfase pieza-elemento aplicador de la pieza, temperatura...

1.3. Mejora del acabado superficial a través del bruñido con bola

El bruñido es una operación que se basa en deformar plásticamente las irregularidades de una superficie con el fin de conseguir una mejora en el acabado superficial de la pieza tratada. Dicha operación se consigue mediante la acción de la fuerza ejercida por un cilindro o una bola.

Es posible instalar fácilmente la herramienta para este proceso en una máquina de CNC. Las dimensiones de la bola pueden ser de 3 a 12mm de diámetro y ésta posee valores de fricción muy pequeños en contacto con la superficie, lo cual le permite rodar libremente sobre si misma. El procedimiento consiste en ejercer una fuerza normal necesaria sobre la superficie de forma que consigue deformar los picos del perfil.

1.3.1. Evolución de análisis y conclusiones obtenidos por diferentes autores

Según Adel Mahmood Hassan & Sulieman Z.S. Al-Dhi en "Improvement in the wear resistance of brass components by the ball burnishing process" (1999) llegan a la conclusión de que independientemente de la fuerza aplicada se obtienen los mismos resultados, esta fuerza es la principal que presenta resistencia al desgaste de la capa superficial de tal forma que no hay una fuerza óptimo para el proceso.

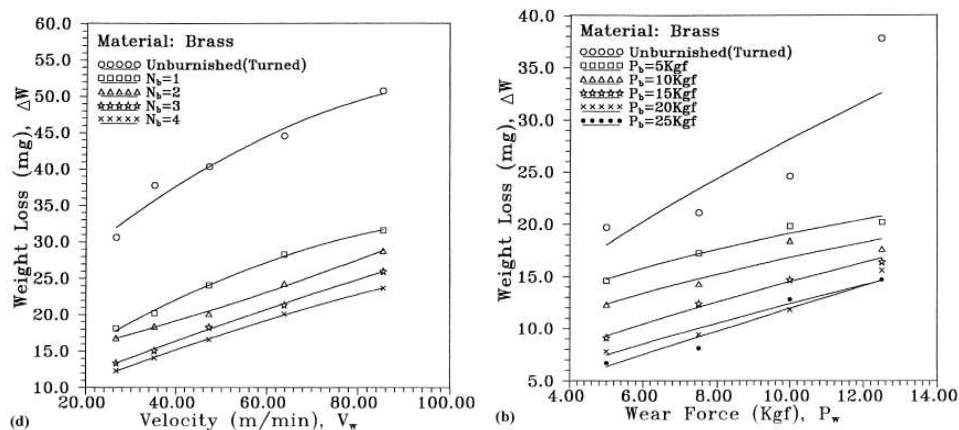


Imagen 3. Influencia de la velocidad de rotación y la fuerza de contacto sobre la resistencia al desgaste de la pieza bruñido

(Adel Mahmood Hassan & Sulieman Z.S. Al-Dhi, 1999)

También extrajeron conclusiones como:

- Mediante el bruñido se consigue mejoras en el acabado y dureza superficial en materiales no ferrosos de forma limitada. De forma que se mejora la resistencia al desgaste.

- En función de los parámetros se puede conseguir una pérdida de peso del metal.
- Si se sobrepasa unos límites sobre el aumento de la fuerza de bruñido o número de pasadas aumenta la resistencia al desgaste de las piezas.

En sus diversos ensayos sobre la rugosidad superficial, tanto Rajasekariah and Vaidyanathan (1975) como Murthy and Kotiveerachari (1981) como Adel Mahmood Hassan & Ayman Mohammad Maqableh (2000) llegaron a una misma conclusión:

- A mayor rugosidad superficial mayor superficie bruñida. Y a mayor fuerza de bruñido menor rugosidad del bruñido.

Adel Mahmood Hassan & Ayman Mohammad Maqableh (2000) también extrajeron otras conclusiones experimentales como:

- El aumento de la rugosidad de la superficie inicial no afecta sobre la dureza de la superficie de las piezas metálicas.
- La disminución en reducción de la rugosidad de la superficie y el aumento de la dureza de la superficie se debe a un aumento en la dureza de la superficie inicial.
- A mayor diámetro de la bola, menor rugosidad en la superficie final, menor dureza y menor resistencia al desgaste.
- La reducción de rugosidad superficial se debe al uso de lubricante.

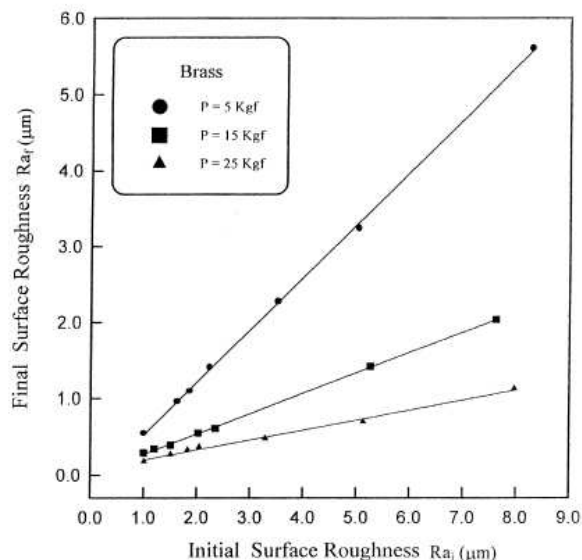


Imagen 4. Relación rugosidad inicial- rugosidad final, en superficie en piezas bruñidas de Bronce (*Adel Mahmood Hassan & Ayman Mohammad Maqableh, 2000*)

Según Liu Luca en "Investugations into the use of Ball-Burnishing of Hardened Steel Components as a finishing Process" las coclusiones que obtiene son:

- Las ventajas de la herramienta tipo bola bajo presión hidrostática son: pequeño puntos de contacto entre la herramienta y la pieza, libertad de rotación de la herramienta, fuerza constante en el proceso, correcta lubricación del proceso, posibilidad de funcionamiento de la herramienta en una máquina de CNC.
- Eficacia del proceso, aumenta la resistencia a fatiga entre un 31 a 50% y una mejora de las propiedades de los materiales.

Con lo cual se consigue demostrar la viabilidad del bruñido sustitutorio al grinding y otros procesos de rectificado.

Fang-Jung Shiou & Chien-Hua Chen en "Freeform surface finish of plastic injection mold by using ball-burnishing process"(2003) experimentan los parámetros óptimos de bruñido mediante experimentos.

Para el proceso de bruñido se deben considerar los siguientes parámetros:

- Material de la bola o rodillo
- Fuerza de bruñido
- Velocidad
- Lubricación
- Número de pasadas

Con este proceso se consigue mejorar la rugosidad superficial en entre un 40 y 90%.

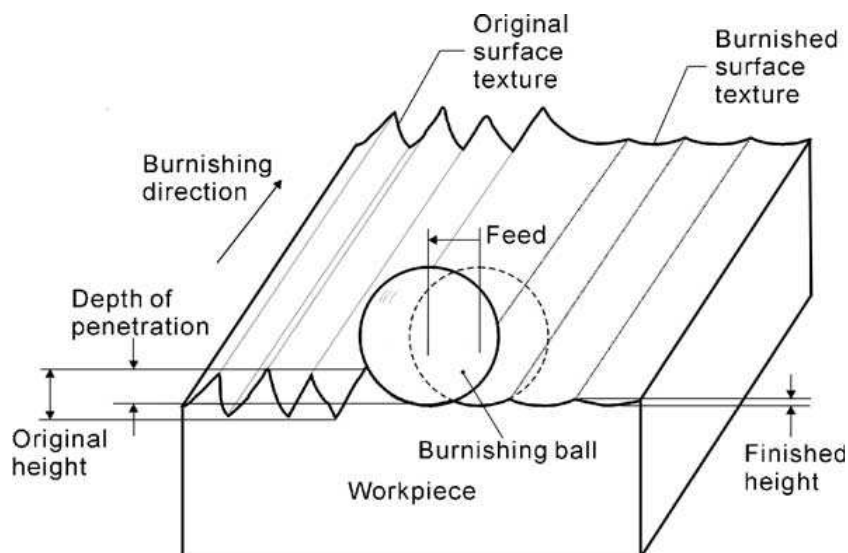


Imagen 5. Diagrama esquemático sobre proceso de Bruñido con bola
(Fang-Jung Shiou & Chien-Hua Chen, 2003)

Consideraciones:

- La no deformación de la bola durante el proceso.
- Suposición de interfase constantemente lubricada por lo tanto la fricción entre bola y muestra es despreciable.
- La bola no rodará durante el proceso de bruñido.
- La fuerza necesitada es máxima.

$$F \approx \sigma \cdot A \quad (1) \rightarrow A = \Pi \cdot r_B^2 (-\cos \alpha + 1) \quad (2) \rightarrow \alpha = \cos^{-1} \left(\frac{r_B - t}{r_B} \right) \quad (3)$$

Donde:

- F = fuerza
- σ = esfuerzo de fluencia
- A = área de contacto durante el proceso de bruñido
- r_B = radio de la bola
- α = ángulo del arco de circunferencia del contacto con la superficie
- t = profundidad de penetración

Se considera que la profundidad óptima está entre 2 y 10 μm

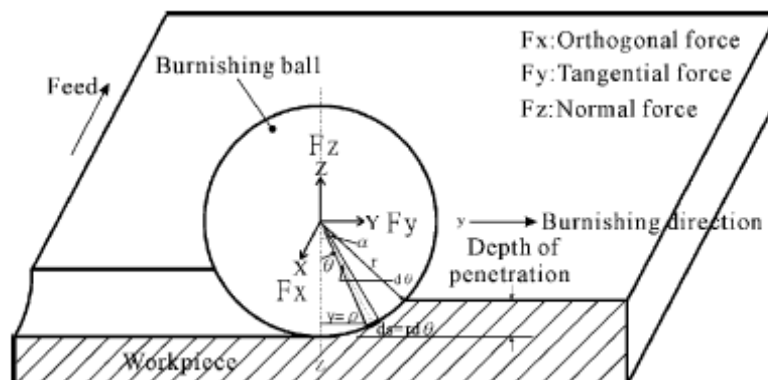


Imagen 6. Fuerzas en proceso de bruñido
(Fang-Jung Shiou & Chien-Hua Chen, 2003)

Conclusiones:

- Éxito en el proceso de bruñido con bola de una superficie de un molde de inyección de plástico en un centro de mecanizado.
- Se puede utilizar herramienta de bruñido con bola tanto para superficies planas como con forma libre.

- Se puede disminuir de 1 a 0,007 μm de Ra, con parámetros óptimos.
- Se endurecen las piezas.
- La capa endurecida se encuentra a 30 μm , y mejora su rugosidad superficial.

Yung- Chan Yen (2004) estudia el proceso en torno y acabado con bruñido mediante elementos finitos y métodos experimentales. Los resultados de las tensiones residuales no fueron significativos. Por lo tanto, se considera un proceso efectivo.

Yen, Y.C & ALTAN, T., (2005) en "Finite Element Modelling of Soller Burnishing Process"

Concluyen con la efectividad del proceso obteniendo un incremento en la vida útil a fatiga del material además de una mejora de la calidad superficial. Estos resultados se deben a que una bola cerámica gira sobre una superficie mecanizada bajo una alta presión con lo que consigue aplanar los picos de las asperezas, aumentar la dureza en superficies funcionales y crear tensiones residuales a compresión las cuales favorecen la vida útil.

N. López de la Calle et al. , (2005) desarrollaron una herramienta para el bruñido con bola colocada en un centro de mecanizado la cual consigue obtener mejoras del acabado de moldes y matrices con diferentes aplicaciones.

Al efectuar ensayos de rugosidad superficial en varias probetas para diferentes valores de presión sobre la herramienta y parámetros de corte de la misma. Obtienen resultados positivos sobre las hipótesis inicialmente planteadas sobre el uso del proceso de bruñido con bola:

- Con la máxima presión de bruñido y en dirección ortogonal a la del copiado se consigue la mejora más considerable de la rugosidad.
- Se necesita elevadas presiones de bruñido para materiales más duros como materiales templados.
- Las tolerancias dimensionales de la pieza no resultan afectadas debido al bruñido debido a que sólo aplasta las crestas sin deformar el material.

H. Hamadache et al, (2006) en "Characteristics of Rb40 steel superficial layer under ball and Soller burnishing" demuestran que el incremento de dureza disminuye incrementando el avance del bruñido y la frecuencia de rotación. Sin embargo, el incremento en la fuerza de bruñido y el número de pasadas hace incrementar la dureza.

Experimentalmente demostraron que los mejores valores para una bola de 10 mm se obtienen cuando la velocidad de avance es de 0,1 mm/min y la velocidad 24 m/min.

Obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El bruñido con rodillo y con bola son procesos de tratamiento por deformación plástica de las capas superficiales en frío. Para el acero RB40, el rodillo de bruñido genera resultados óptimos, especialmente para calidad superficial de 3 μm . Por otro lado, el bruñido con bola presenta resultados interesantes sobre la dureza. En ambos procesos, los resultados óptimos se obtienen para parámetros específicos de los que la fuerza aplicada y el número de pasada tienen un peso de mayor importancia sobre el resto.
- Recomiendan limitar el número de pasadas a 2, y 3 pasadas para el incremento de dureza y que la fuerza aplicada sea de 150N aproximadamente. No consideran efectivo el aumento de del número de revoluciones y de la velocidad de avance. Las capas superficiales de acero RB40 muestran una apreciable resistencia al desgaste. También aconsejan sobre los valores de los parámetros que intervienen en el proceso, importantes para la obtención de buenos resultados.

N. S. M El Tayeb et al (2007) en "Influence of sollar burnishing contact width and burnishing orientation on surface quality and tribological behaviour of Aluminium 6061" analizaron el efecto de los parámetros de bruñido por rodillos como: la velocidad, la fuerza y ancho de contacto del rodillo sobre la calidad superficial y las propiedades tribológicas de las superficies bruñidas en aluminio 6061 para diferentes orientaciones de bruñido. Y lo comprobaron tanto en seco como lubricadas.

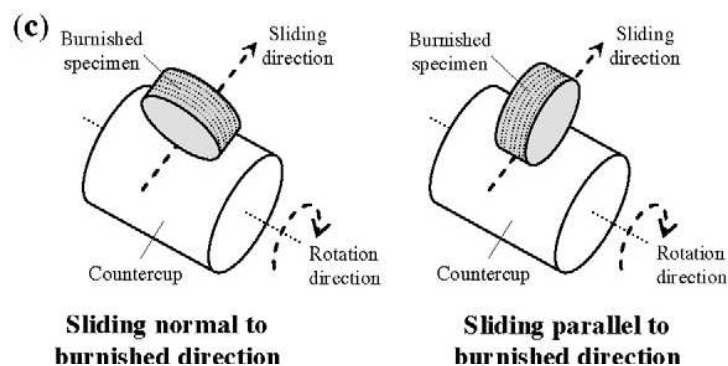


Imagen 7. Orientación del bruñido en función del deslizamiento
(N.S.M. El-Tayeb et al, 2007)

Midieron inicial y finalmente la rugosidad y también la dureza en escala Rockwell.

Consiguieron las siguientes conclusiones:

- Los rangos óptimos de velocidad y fuerza para 1 mm de profundidad de contacto del rodillo son 250-420 min⁻¹.
- La rugosidad de la superficie disminuye en 35% para fuerzas mayores de 220 N. Para valores menores la rugosidad de la superficie comienza a deteriorarse plásticamente.

- Para profundidad de contacto menor a 1mm se puede mejorar la rugosidad de la superficie hasta un 40%. Mientras que para profundidad de contacto mayor de 1,5 y 2mm la morfología de la superficie se deteriora por deformación plástica excesiva.
- El mayor aumento de la dureza, hasta un 30%, se produce con una velocidad de bruñido de 110 min⁻¹. Sin embargo, el incremento de la velocidad hace que la mejora disminuya.
- El coeficiente de fricción de las superficies bruñidas va en función de la rugosidad de la superficie. Un bajo coeficiente de fricción se debe a una baja rugosidad superficial, lo cual provoca un menor enclavamiento mecánico de las asperezas y de los restos atrapados.
- El lubricante en la prueba tribológica actúa de refrigerante y de pulidor produciendo una superficie más suave en comparación con la bruñida.
- En seco y con la menor profundidad de contacto del rodillo se produce el más bajo coeficiente de fricción con la superficie bruñida.
- El aumento de la fuerza influye negativamente en la resistencia al desgaste de las superficies de bruñido A96061.

Para concluir, Ainoha Celaya (2009) estudia el desarrollo de un modelo del proceso de bruñido, para obtener los resultados deseados referentes a acabados superficiales y tensiones residuales en las piezas; y evaluar el efecto de los diferentes parámetros necesarios en el proceso. Para ello, se analiza una pieza de torno.

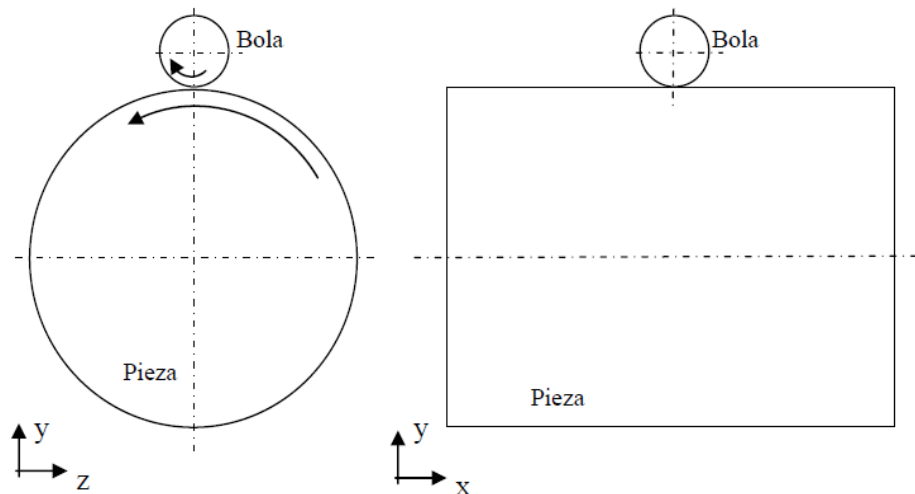


Imagen 8. Proceso de bruñido por Ainoha Celaya (2009)

Estudian los efectos de los parámetros (avance, presión del bruñido...) sobre las tensiones residuales y rugosidades finales obtenidas en la pieza.

Se calcula la fuerza del bruñido (F) de la siguiente forma:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot P$$

Donde,

- d = diámetro de la bola
- P = presión a la que actúa la bomba

A causa de pequeñas pérdidas de presión entre el juego de la bola y el soporte y otros factores, se estima que la fuerza de bruñido real es un 11% menor a la calculada. Por este motivo, el cálculo de la fuerza de bruñido pasa a ser el siguiente:

$$F = 0,89 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot P$$

Por este motivo se pudiera considerar que la primera fuerza sería la aplicada a una superficie plana totalmente lisa y continua, mientras que la segunda tiene en cuenta las irregularidades de una superficie con crestas e irregularidades. Esta aproximación pudiera ser el motivo de error en los valores de las fuerzas necesarias para el bruñido ya que no es un valor real necesaria para deformar los picos de la superficie rugosa.

1.3.2. Comparativa de los resultados obtenidos en los trabajos anteriores

Aspectos en común

- La gran mayoría de las investigaciones se basan en estudios experimentales.
- Tras el proceso de bruñido, las piezas mejoran su rugosidad superficial.
- Se prueba un incremento de la dureza superficial debido al bruñido.
- Las tensiones residuales de compresión producidas durante el proceso favorecen la vida útil a fatiga de las piezas bruñidas.
- Los valores de los parámetros afectan en los resultados en las piezas tratadas. Como: a mayor fuerza de bruñido, la rugosidad superficial obtenida es menor...

Diferencias o contrapuntos

- Para Fang- Jung Shiou & Chien -Hua Chen (2003) durante el proceso, la bola no gira sobre si misma sino que permanece fija. Mientras que Yen, Y. C. ALTAN, T. (2005) consideran que la bola está girando constantemente sobre si.

- Según Adel Mahmood Hassan & Sulieman Z.S. Al-Dhi (1999) no hay una fuerza óptima para el proceso de bruñido. Por el contrario, Fang-Jung Shiou & Chien -Hua Chen (2003) considera que sí que existe y que con ella se consigue los mejores resultados.
- Lin Luca (2002) supone que las fuerzas permanecen constantes en el proceso. No obstante, Fang-Jung Shiou & Chien-Hua Chen plantean las fuerzas como variables.
- Los porcentajes de mejora de dureza superficial y rugosidad de las piezas obtienen valores variados en los diferentes estudios. Los valores de mejora pueden oscilar entre 40% y 90% para la rugosidad superficial para Fang -Jung Shiou & Chien-Hua Chen (2003); sin embargo, para N. S. M El-Tayeb et al (2007) oscila entre 35% y 40%.

CAPÍTULO 2:

PROCESO Y HERRAMIENTA

2.1. Descripción del proceso y características de la herramienta desarrollada

El proceso se centra en la deformación plástica, que se basa en el aplastamiento de las crestas e irregularidades superficiales del material a tratar.

2.1.1. *Proceso de Bruñido*

El bruñido toma por definición al proceso tecnológico que consiste en deformar plásticamente las irregularidades de una superficie con tal de mejorar el acabado superficial. La pieza a tratar se ve sometida a una fuerza ejercida por un cilindro o una bola. La finalidad de este proceso es para mejorar, en las piezas previamente mecanizadas, el acabado superficial en superficies cilíndricas, superficies frontales planas, superficies de forma o perfiladas, superficies cónicas, biseles, respaldos, cambios de sección y radios...

En procesos de mecanizado por arranque de virutas es posible que se genere valores de rugosidad superficial no aptos para el uso de dicha pieza. Hay superficies con una geometría compleja las cuales requieren rugosidades superficiales muy bajas como moldes de inyección, matrices de conformación o piezas de ajuste fino... Debido a su dificultosa geometría, no es compatible tratarla con el proceso de rectificado convencional, por eso una posible solución sería la del bruñido.

Fig. 3.1

En el proceso de bruñido se parte de una superficie con una serie de crestas causado por la herramienta durante el proceso de mecanizado por arranque de virutas. El resultado que se obtiene al después de efectuar el bruñido es la de una superficie con mejora rugosidad superficial gracias al paso de de la esfera aplastando las crestas.

La herramienta realiza un desplazamiento sobre las crestas superficiales, reduciendo el material consiguiendo una superficie más suave y homogénea.

Para trabajar en la zona de deformación plástica, se tiene que saber las características del material a tratar y el valor de rugosidad superficial que se desea obtener. Es importante conocerlas dado que los parámetros -como presión, profundidad de penetración de la bola, velocidad de avance, paso lateral o mecanizado previo- aplicados en la herramienta varían.

A la hora de someter una pieza al proceso se debe considerar las consecuencias de la aplicación de éste en todo el proceso. La deformación permanente en frío provoca dos problemas:

- La posible alteración geométrica de la pieza, como consecuencia de la disminución de la altura de las crestas producidas por el mecanizado por arranque de virutas, en la mayoría de los casos despreciables dado que el valor sería de unas pocas micras.
- Se genera una acritud causado por la deformación en frío que provoca un incremento de la dureza superficial sobre la pieza a tener en cuenta ya que pueden variar las condiciones de trabajo para múltiples pasadas.

2.1.2. Ventajas e inconvenientes

El lapeado o el rectificado son procesos de mecanizado bastante extendidos y utilizados, por lo que se conoce las características de estos procesos con mayor detalle. Sin embargo, en el caso del bruñido se diseña una herramienta prototipo que requiere de una fase experimental y un análisis del comportamiento puesto que es un método poco conocido.

Los anteriores procesos de mecanizado convencional presentan limitaciones en: superficies curvas –cilíndricas o cónicas-, piezas con cavidades muy estrechas. Por este motivo, una alternativa puede ser el pulido manual mediante productos abrasivos. Aún así es un método poco efectivo, de ahí la utilidad y efectividad del bruñido ya que la herramienta se puede montar fácilmente en el cabezal de cualquier máquina de 3 o más ejes guiada por un programa de CNC o no, con el fin de mejorar la calidad superficial de dichas superficies.

Ventajas del bruñido:

- Obtención de buenos acabados superficiales.
- Suprime o sustituye operaciones de acabado posteriores en las que se necesita máquinas herramientas diferentes a las del mecanizado de la pieza.
- Costes de la operación relativamente bajos.
- No es necesario personal especial cualificado para su ejecución.
- Minimiza las marcas o huellas producidas por la herramienta del mecanizado previo.
- Se produce un endurecimiento superficial en el material tratado que provoca la reorganización de los granos del material debido a la deformación plástica provocando que se condensen y afinen.
- Precisión de la superficie. Se pueden conseguir tolerancias estrechas con medidas exactas, sin alterar las cotas nominales por lo tanto no modifica las medidas de la pieza.
- Mejora las propiedades físicas y mecánicas de la superficie, incluyendo la vida útil de la pieza sometida a fatiga. Incrementa la resistencia al desgaste debido a que el proceso consigue igualar prácticamente el tamaño de crestas y valles de la topografía. También incrementa la resistencia a fatiga debido a la aparición de tensiones residuales de compresión que permanecen en la capa superficial de la pieza. Se produce un aumento en resistencia a la corrosión causado por la disminución de porosidad y marcas de la herramienta, por lo que sustancias reactivas o contaminantes tienen menos posibilidad de atacar y corroer la superficie.
- Es capaz de rectificar los defectos provenientes de mecanizados previos como conicidad, planitud, falta de circularidad...

2.1.4. Descripción de los elementos mecánicos que componen la herramienta

La herramienta está compuesta por un cuerpo principal junto con diferentes piezas interiores y una serie de elementos acoplados en su exterior que son los encargados de alimentar el circuito hidráulico de la herramienta.

Elementos de la herramienta:

Cuerpo ⁽¹⁾: Se encarga de sostener todos los elementos que forman la herramienta en su interior. Éste va acoplado a la máquina mediante un **cono BT-40** ⁽⁷⁾

Elementos en el interior del cuerpo:

- **Bola metálica de 10 mm** ⁽²⁾: es una pieza esférica que está en contacto directo con la pieza a trabajar.
- **Casquillo de fricción** ⁽³⁾: es un elemento que sostiene la bola y está en contacto con el vástago o guiador.
- **Vástago o guiador** ⁽⁴⁾: es el elemento de transmisión de la fuerza desde el taqué hidráulico y el casquillo de fricción.
- **Taqué hidráulico** ⁽⁵⁾: convierte la fuerza hidráulica que ejerce el fluido en un desplazamiento, se basa en el principio de un pistón hidráulico de simple efecto pero con la carrera muy corta.
- **Tapa superior del cuerpo** ⁽⁶⁾: conjunto de piezas con el fin de que asegure la estanqueidad con ayuda de una junta tórica.
- **2 juntas tóricas** ⁽⁸⁾: son elementos para garantizar la estanqueidad en el cuerpo de la herramienta, una en la parte inferior del taqué y la otra en la tapa.

En este proyecto de todas esas piezas, las que más se van estudiar son: bola metálica, casquillo de fricción, vástago o guiador y el cuerpo principal de la herramienta.

CAPÍTULO 3: PROPUESTAS DE DISEÑO

3.1. Soluciones de diseño

En cuanto al diseño se refiere, la solución a adoptar es la aportada por los planos. Algunos de ellos ya están facilitados por el tutor en cuanto a la estructura como es el caso de: el cuerpo principal, el vástago o guiador y el casquillo de fricción para una bola de 10 mm de diámetro. Estos elementos ya están fabricados, por lo tanto lo único que se ha hecho, es a partir de unas piezas sólidas es hacer el plano.

Sin embargo, la parte innovadora del proyecto es el casquillo para las bolas de 3 y 5 mm de diámetro.

Para éstas, la solución aún no está completamente definida, aunque una posibilidad podría ser que para el diseño del plano la bola no fuera totalmente esférica sino que tuviera una prolongación cilíndrica.

3.2. Soluciones de procesos de fabricación

En cuanto al proceso de fabricación se refiere, todavía está en fase de razonamiento sobre procesos que sean óptimos para la fabricación de dichos elementos de la herramienta.

CAPÍTULO 4:

PRESUPUESTOS

El presupuesto para este proyecto tendrá en cuenta: las horas dedicadas al diseño de los planos del ingeniero en cuestión, también tendrá en cuenta el coste del material a comprar para fabricar los elementos en bruto de la herramienta, ya bien provengan de una fundición o de un proceso de manufacturación. A su vez se determinarán los costos del operario que se encargue de modificar las preformas compradas, también el consumo de la máquina y en caso de necesitar algún cambio de herramienta de ésta se consideraría. Finalmente, se tendrá en cuenta los costes de los recubrimientos o tratamientos que requieran dichas piezas.

Una vez se tiene todo el material adecuado para efectuar el proceso de bruñido, se analizarán los costes de la propia operación de bruñido y los análisis posteriores de los resultados obtenidos.

Es posible que haya algún coste adicional a considerar, pero en principio se cuentan con los anteriormente numerados.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

La motivación de éste proyecto se debe a que no es del todo específico y exclusiva de procesos de fabricación sino que a su vez también afecta en parte a ciencias de los materiales. Por lo que hace que el proyecto en global resulte muy interesante de realizar. Puesto que se puede aprender bastante sobre diferentes maneras de estudiar la mecánica,

A parte de lo anteriormente citado, también es muy importante decir que este proyecto requiere la elaboración de planos, lo cual considero muy importante para un ingeniero puesto que uno mismo se pone a prueba tanto en ingenio como en saber trabajar junto con normativas y aprender a representar gráficamente de forma que cualquiera lo pueda entender. Y también aprender a manejarse por uno mismo, en cierta forma, y con la guía y supervisión de un tutor.

Finalmente, la motivación extra aportada al proyecto es el hecho de hacer cosas que ya me han enseñado en SEAT a cómo tomar durezas, pulir y atacar al material para después poder mirar micro-estructura, tal vez no sea una experta, pero si puedo tener conocimientos que en un momento dado puedan resultar útiles. Como conclusión, veo y compruebo que todo este trabajo tiene una aplicación real en el mundo industrial, lo cual resulta muy motivador llevar un proyecto de este tipo.

CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

Para este proyecto la bibliografía utilizada se basa en los apuntes facilitados por el tutor.

Aunque está pendiente por añadir información encontrada en las siguientes páginas web visitadas:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Burnishing_\(metal\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Burnishing_(metal))

<http://www.mechindia.com/SRseries.htm>

http://www.scitopics.com/Ball_Burnishing.html

<http://www.itiball.com/ball-burnishing.php>

http://maja.uni-mb.si/files/apem/APEM5-2_111-116.pdf

<http://us-madeproducts.com/finishing-services/metal-ball-burnishing/>

<http://www.imt.si/Revija/izvodi/mit095/sagbas.pdf>

[http://etd.ohiolink.edu/send-](http://etd.ohiolink.edu/send-pdf.cgi/Yen%20YungChang.pdf?osu1073065455)

[pdf.cgi/Yen%20YungChang.pdf?osu1073065455](http://etd.ohiolink.edu/send-pdf.cgi/Yen%20YungChang.pdf?osu1073065455)

<http://ctklj.ctlk.uni-lj.si/kovine/izvodi/mit085/esme.pdf>

[http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/9312/1/IJEMS%2011\(5\)%20391-396.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/9312/1/IJEMS%2011(5)%20391-396.pdf)