

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Profesor Patrocinante:
Emilio Dufeu Delarze

**ESTUDIO DE DEFECTOS DE FORMA EN LA
FABRICACIÓN DE BOLAS DE MOLINO**

Claudio Eduardo Burdiles Melgarejo

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de

Ingeniero Civil Mecánico

Marzo – 2015

RESUMEN

Durante la fabricación de bolas de 5,5” de diámetro se presentan un defecto de proyección de material en el ecuador de estos productos, los cuales se generan con frecuencia durante las campañas de producción, específicamente en el proceso de forjado, alcanzando un 3% del total. Los clientes las rechazan por su alteración en forma, aun cuando se describe que no existen problemas en su funcionalidad.

Este trabajo tiene como objetivo formar una base de conocimiento de aspectos mecánicos acerca del defecto de proyección de material. Específicamente, se busca evaluar la calidad mecánica de la bola en el proceso de molienda, simular la formación del defecto para reconocer las causas efectivas, y proponer soluciones y/o mejoras a este inconveniente.

Se utiliza la herramienta de elementos finitos bajo diferentes consideraciones para realizar este análisis. En el primer objetivo, se evalúa la calidad mecánica de las bolas defectuosas, en un impacto de una bola con un anillo con otra normal, para luego comparar con una colisión de los productos en buen estado, imitando lo que podría suceder en el molino. Luego, se procede a simular las diferentes situaciones en la máquina que pueden originar este defecto, para observar la proyección generada. Se modela primero una forja con el cilindro con exceso de material, continuando luego, con un cambio en la forma del bloque con caras ambas elípticas y otra elíptico-circunferencial, terminando con una simulación de la forja con el cilindro desalineado en forma paralela.

A partir de los resultados de las simulaciones, se conoce información de las situaciones que generan el defecto y al relacionarlos con las causas raíces, se puede señalar donde se podría mejorar la máquina de forja para evitar la ocurrencia de los defectos. Además se proponen mecanismos de solución externos, evaluando la factibilidad técnica de llevarlos a cabo, para recomendar la mejor solución.

Se modelaron las situaciones descritas en los párrafos anteriores y se obtuvieron los siguientes resultados. Respecto a la modelación de impacto, se indica que a las velocidades y dimensiones que opera el molino, un impacto de bolas normales, genera deformaciones menores al límite, y existe poca posibilidad de la formación de una grieta. Sin embargo, si la colisión es producida con la bola defectuosa a velocidades mayores de 5 m/s, ésta última absorbe casi todo el impacto, aplastando el anillo y presentándose una posible falla. Por lo tanto, para un cliente debería ser un motivo de rechazo ya que no se resguarda la resistencia mecánica de la estructura como en una bola buena y debería ser corregida o desechada.

De las simulaciones de generación del defecto, se obtiene como resultado que tanto un exceso en el largo del material, un bloque con ambas caras elípticas o con una desalineación producen proyecciones por sobre la tolerancia de ± 4 mm. También se determinó que dependiendo del origen, la forma del defecto producido es diferente,

permitiendo el reconocimiento de la causa. Si es generado por exceso de material se tiene un anillo en todo el ecuador; si es originado por un bloque elíptico se obtiene un semianillo con dos extremos pronunciados o una proyección en un sólo lado si es por una desalineación.

De acuerdo al origen raíz se indica que deben existir mejoras en la máquina de forja para disminuir la producción de estos defectos, destacando la precisión del corte y la colocación en la forja. Lamentablemente aplicar mejoras a estos equipos requiere inversión y detención de la línea principal, además de que no se asegura la corrección total. Es por ello, que se propone opciones de corrección una vez producido el defecto las cuales son: desgaste bajo maquinao y una segunda forja a baja o alta temperatura. Se analizó por medio de una simulación si es posible realizar una re-forja a temperaturas de 25 y 400 °C pero quedo claro que no es posible ya que superan los límites, por lo que una corrección bajo forjado debe realizarse en condiciones sobre la temperatura de recristalización a 800 °C, ya que el material puede soportar estas deformaciones. Luego de comparar ambas soluciones, se concluye tanto la re-forja como el maquinao satisfacen la eliminación del anillo, pero la primera presenta ventajas en la capacidad de producción y se puede realizar una configuración eficiente energéticamente.

Por último cabe destacar, que este estudio se basa en teoría y por ende debe ser comprobado de forma experimental, por lo que se propone en perspectiva, la realización de ensayos para corroborar o refutar las simulaciones, y aumentar el conocimiento sobre este tema.

INDICE DE CONTENIDO

Contenido	
RESUMEN	i
INDICE DE CONTENIDO	iii
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS	vii
NOMENCLATURA.....	viii
Abreviaciones	viii
Símbolos de ecuaciones	viii
Unidades de Medida	viii
CAPÍTULO 1	1
Introducción	1
1.1 Presentación	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Uso de las Bolas en la minería actual.....	3
CAPÍTULO 2	5
Descripción del Proceso de Fabricación.....	5
2.1 Fabricación.....	5
2.2 Equipos.....	6
2.4 Materia Prima y Producto final	9
CAPÍTULO 3	11
Descripción del Problema.....	11
3.1 Defecto de forma en las Bolas.....	11
3.2 Origen.....	14
3.3 Causas raíces.....	15
CAPÍTULO 4	18
¿Es un problema en los molinos?	18
4.1 Modelación de Impacto.....	20
4.1.1 Geometría, Material y Condiciones de Borde del Modelo de impacto.....	20
4.1.2 Resultados modelo de impacto.....	24
4.1.3 Discusión y Perspectiva.....	29
CAPÍTULO 5	30
Análisis de las Causas.....	30

5.1	Caso ideal y parámetros generales.	30
5.2	Exceso de Material	33
5.3	Forma del bloque.....	35
5.3.1	Bloque con caras elipse - elipse.....	35
5.3.2	Bloque con caras elipse-circunferencia	38
5.4	Desalineamiento	40
5.5	Discusión	43
CAPÍTULO 6		44
Corrección.....		44
6.1	Alternativas Propuestas	45
6.2	Análisis Físico	47
6.2.1	Prensado en frío, 25 °C.....	48
6.2.2	Prensado a temperatura media 400 °C.....	49
6.2.3	Prensado a alta temperatura 800 °C.....	50
6.3	Análisis.....	52
6.4	Consideraciones para un diseño del sistema correctivo	55
CONCLUSIONES.....		56
PERSPECTIVAS		58
REFERENCIAS		59
BIBLIOGRAFÍA		60