

Metodología para el diseño de herramientas de embutidos de alta profundidad de piezas no axisimétricas utilizando el método de elemento finito

Alan Viezcas Gómez¹, Jorge Flores Garay¹, Alfredo Villanueva Montellano¹, Gerardo Sandoval Montez¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

El proceso de embutido de alta profundidad o mejor conocido como “deep drawing” es popular debido a sus rápidos tiempos de ciclo. Geometrías axisimétricas complejas y ciertas geometrías no axisimétricas pueden ser producidas con pocas operaciones y con mano de obra relativamente no técnica (Boljanovic, 2004). En Ciudad Juárez, Chihuahua, una de las principales zonas industriales de México, existen empresas que trabajan empíricamente con este tipo de proceso. Los procedimientos se desarrollan con un alto costo debido al proceso de prueba y error que aún prevalece. Por lo tanto, se justifica proveer una herramienta para optimizar sus procesos.

Este trabajo presenta una metodología práctica basada en métodos numéricos en el diseño de herramientas para el proceso de embutido de alta profundidad, dichos herramientas generalmente son el punzón, el dado y el sujetador de la pieza de trabajo. Para lo anterior se integró una serie de programas computacionales para realizar simulaciones del proceso. Se realiza una pieza en forma de “L” que ha sido descrita Corea, Kim, Park, Kim, & Seo (1998) para comparar resultados. Los resultados obtenidos se compararon con los de resultados de Kim, Park, Kim, & Seo (1998) obteniendo una correlación en los resultados.

Palabras clave: “Deep drawing”, elemento finito, deformaciones plásticas.

Introducción

Deep drawing, es un proceso con láminas metálicas, cuya importancia radica en su capacidad para producir una gran variedad de formas. Es definido como la combinación por tensión y compresión de un laminado para formar un cuerpo hueco, (Chung & Swift, 1951).

La placa metálica es establecida en la forma deseada usualmente a través de prensas mecánicas o hidráulicas, esto sin agregar ni remover material, y según Choi,

Choi, Na, Bae, & Chung (2002) es comúnmente utilizada en industrias como la automotriz, eléctrica, aviones, etcétera.

Planteamiento del Problema

En la actualidad, a nivel regional, la experiencia humana resulta indispensable para el desarrollo de los procesos de embutido de alta profundidad, además de que aun cuando se cuente con dicha experiencia, los procesos de diseño resultan

costosos por el método iterativo de prueba y error que aún prevalece.

Justificación

El proceso de embutido de alta profundidad es popular debido a sus cortos tiempos de ciclo. Geometrías axisimétricas complejas y ciertas geometrías no axisimétricas pueden ser producidas con pocas operaciones y con mano de obra relativamente no técnica (Boljanovic, 2004).

En Ciudad Juárez, Chihuahua, una de las principales zonas industriales de México, existen empresas que trabajan empíricamente con este tipo de proceso. Por lo tanto, se justifica proveer una herramienta para optimizar sus procesos, esto dará como resultado una mayor competitividad y una mejor utilidad.

Objetivo general

Desarrollar una metodología para el diseño de herramientas de “*deep drawing*” para piezas no axisimétricas utilizando técnicas numéricas, mismas que se aplicaran en un caso complejo típico.

Objetivos específicos

- Planteamiento de la metodología
- Aplicación de la metodología a un caso simple
- Validación de la metodología por medio de su aplicación en un caso complejo
- Diseño del punzón y dado para el caso presentado
- Determinación de parámetros operacionales del caso presentado.

Alcance y Delimitación

Este trabajo se delimita al planteamiento y ejecución de la metodología para el diseño de los herramientas para el proceso de embutido profundo de una etapa, estos son: el punzón, el dado y el sujetador de pieza de trabajo, así como definición de las variables de presión en el sujetador de pieza de trabajo, fuerza del punzón necesaria para realizar el embutido y recomendaciones del lubricante necesario para un caso de estudio considerado complejo en la industria en cuestión. Así mismo, también se delimita el proceso de embutido profundo y no a operaciones de corte anteriores y posteriores.

Marco Teórico

El éxito de este proceso depende de su diseño. Por lo que, un buen diseño del proceso ofrece beneficios, como altos niveles de producción, bajo nivel de desperdicio (“*scrap*”), excelentes

propiedades mecánicas después del formado y buena calidad en la superficie.

Durante el diseño de este proceso, varios factores deben ser considerados, tales como el material, la fuerza de la prensa, la geometría del punzón, (“*punch*”) y dados

(“die”), el mecanismo de fricción prevalente y demás parámetros (Boljanovic, Die design Handbook, 1990, págs. 69-72).

Con base en lo anterior y debido al auge de la producción de productos de alta calidad, formados en un tiempo corto y a un bajo costo, como una meta en la manufactura; se han desarrollado sistemas CAD/CAM/CAE en relación con el análisis y diseño de partes formadas con laminado metálico. Un gran número de grupos de investigadores siguen desarrollando códigos de elemento finito para el análisis, cuando las condiciones iniciales han sido definidas. Tal es el caso de Sattari, Sedaghati & Ganesa (2007) quienes desarrollaron un sistema en base a elementos finitos tridimensionales para calcular susceptibilidades en las grandes deformaciones elasto-plásticas en el formado de laminado metálico obtenido por “*deep drawing*”. Un esquema iterativo se desarrolló para encontrar la posición original de cada punto del material en la pieza inicial (“*blank*”) para después estimar las deformaciones y las tensiones en la pieza de trabajo final.

El trabajo realizado por Ganesh Narayanan (2010) se presenta un sistema para diseñar y generar formados en laminado metálico, incluyendo el “*deep drawing*”. A este se le denomina como “sistema experto” el cual lo define como “un programa computacional inteligente, un repositorio de conocimiento, un juego de reglas, como un consultor humano, todo con

el objetivo de entregar soluciones o sugerencias exactas a un problema en cualquier nivel, dígame durante el plan, diseño, manufactura y control de calidad”.

Por otro lado en el trabajo elaborado por Atrian & Fereshteh-Saniee (2013), en el que se estudió exhaustivamente un gran número de parámetros en el proceso de “*deep drawing*”, donde la razón principal de llevar a cabo este trabajo fue tomar las ventajas de diferentes materiales, como es la alta resistencia, baja densidad, así como resistencia a la corrosión para con esto tomar los beneficios del proceso de formado, como bajo desperdicio de material y alta resistencia de los componentes. Este trabajo fue realizado con pruebas experimentales y de elemento finito de láminas de acero/bronce, donde también se consideraron la influencia de algunas variables, como la lubricación, la fuerza del sujetador de la pieza inicial (“*blank holder*”), el diámetro de la pieza inicial (“*blank*”) y la forma final. Kim, Park, Kim, & Seo (1998), por su parte, trabajaron en un estudio para determinar la forma de la lámina inicial para piezas con geometría no circular por medio del método de elemento finito, en su trabajo comprobaron exitosamente su estudio con la fabricación de dos piezas de diferente geometría no circular calculadas con su método. Por nuestra parte se utilizaron datos del trabajo anteriormente mencionado para realizar la misma pieza y comparar los resultados de ambos.

Metodología

La metodología propuesta es basada en el método de ingeniería; el proceso propuesto se describe en el siguiente diagrama

partiendo de la geometría de la pieza a construir.

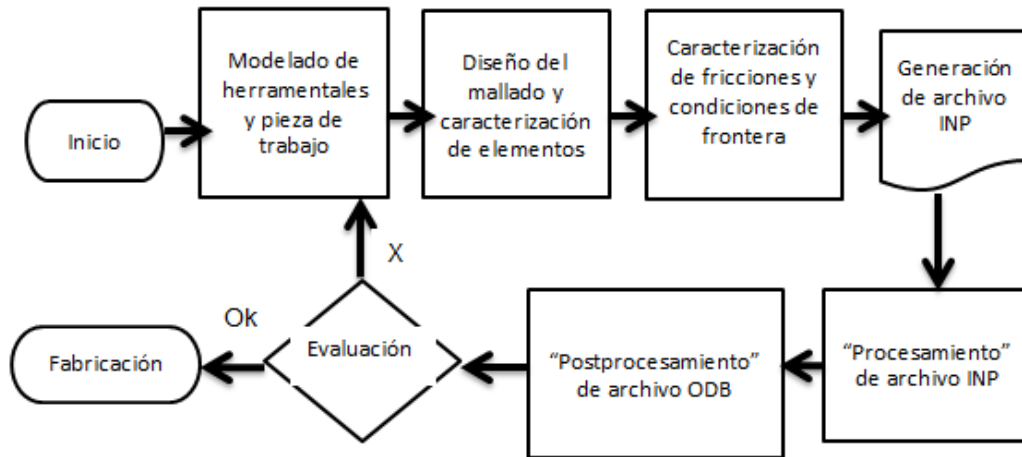


Figura 1 Proceso realizado.

Resultados

Para desarrollar el proceso de diseño de los herramientas de “*deep drawing*” para piezas no axisimétricas se procedió al desarrollo de la pieza en forma de “L” (figura 4) y a la comparación de los resultados.

Modelado de la pieza

En la figura 2 se observa la geometría del punzón que realiza la operación de embutido, así como en la figura 3 se muestra el modelado del punzón realizado en “MSC. Patran”.

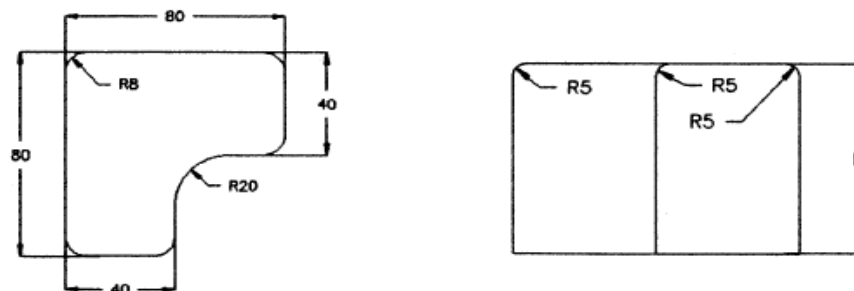


Figura 1 Geometría del punzón en forma de “L”. (a) Vista en sección; (b) vista frontal.

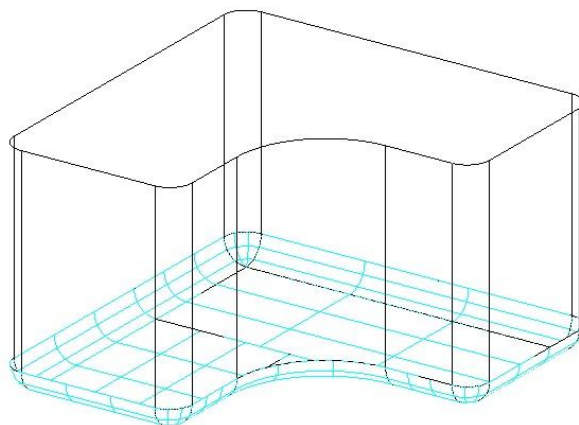


Figura 2 Modelado de pieza en forma de “L”, MSC. Patran.

Para piezas no axisimétricas, se utiliza una placa de trabajo lo suficientemente grande para realizar el embutido profundo, subsecuentemente necesitara otra operación

de corte para eliminar el material sobrante. Esta investigación se limitara al proceso de embutido profundo solamente como se ha mencionado previamente.



Figura 3 Pieza en forma de "L"

Diseño del mallado y caracterización de elementos

Para realizar el mallado primero se dividieron las piezas en secciones regulares, cabe señalar que esto es una técnica y que se puede realizar por otros medios, después de esto se insertan “semillas”, estas son puntos

que determinan la posición de los nodos de la malla. El diseño de la malla representa uno de los factores más importantes para realizar un análisis de elemento finito, su proceso es lento y meticuloso.

Una vez colocadas las “semillas” a una distancia adecuada para determinar así

la densidad de la malla, se procede a crear la malla, sección por sección. Al momento de crear la malla con la interfaz gráfica de “Patran” es necesario corregir errores, como son los duplicados y la desalineación de la malla.

Al realizar la malla de la forma presentada se producen elementos cuadrados, estos son convenientes ya que al utilizar elementos solidos de integración reducida los resultados son mejores y el tiempo de procesamiento es severamente

reducido comparado a los elementos hexaédricos normalmente utilizados en los programas de dibujo asistido por computadora.

Este es un proceso lento del cual derivara la calidad de los resultados del análisis. En la figura 5 se muestra la malla tanto en los herramentales como en la placa inicial.

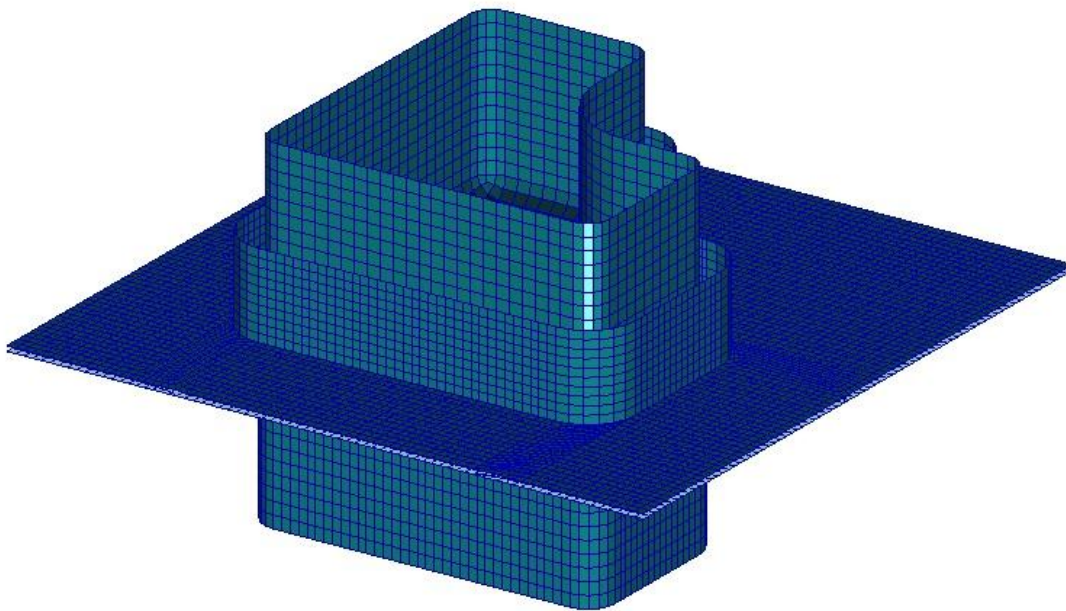


Figura 4 Mallado de pieza en forma de “L”, Patran.

Determinación de propiedades elasto-plásticas de los materiales

Los herramentales se definen como rígidos. El material de la pieza es acero AISI 409, los valores del módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson se indican a mano en el archivo INP; La tabla 1 muestra los datos.

Caracterización de coeficientes de fricción y condiciones de frontera.

El contacto entre la pieza de trabajo, el punzón, el dado y el sujetador de pieza de trabajo, los cuales se caracterizan como superficies rígidas (“*rigid surfaces*”), fueron modeladas con “par de contacto”. Las superficies superior e inferior del “*blank*” se

definieron como superficies (“*surfaces*”) en el modelo. La interacción mecánica entre las superficies en contacto es asumido como contacto de fricción. Se determinó el coeficiente de fricción entre la pieza de

trabajo y la parte interna es tomado como 0.1; el que se encuentra entre el dado y el sujetador de pieza de trabajo es tomado como 0.1 para simular un cierto grado de lubricidad entre las superficies (tabla 1).

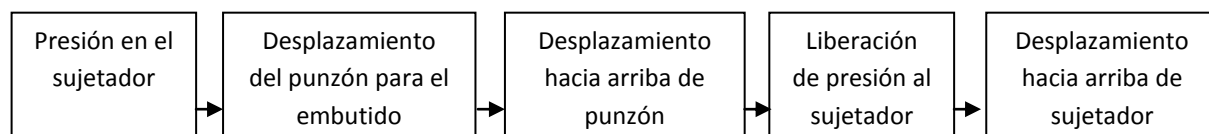
Tabla 1 Propiedades del material

Material	UNS_430
Tipo	Isotrópico
Módulo de elasticidad	200 Mpa
Coeficiente de Poisson	0.292
Densidad	7850 kg/m ³
Resistencia a la fluencia	345Mpa
Resistencia máxima	517

Generación de archivo INP

Una vez listo el modelado de todas las piezas, desarrollada la malla y la caracterización de los elementos fueron creados sets de propiedades para cada una de las piezas con la finalidad de que al crear

el archivo INP desde “MSC. Patran” se organicen los elementos en los sets establecidos. “MSC. Patran” crea un archivo en el que solamente se encontrara la descripción del modelo. El análisis completo consiste en los cinco pasos descritos en el siguiente diagrama.



Procesamiento

Una vez generado el archivo de datos el software “Abaqus explicit” se realizó el procesamiento del mismo, sin la necesidad de utilizar una interfaz gráfica, en vez de esto se corrió a través de una ventana de comandos (“*command prompt*”). Este programa calcula los desplazamientos y una vez esto, los esfuerzos y deformaciones son determinados, fácilmente.

Los resultados pueden ser evaluados una vez que la simulación ha sido completa. La evaluación es generalmente realizada interactivamente utilizando “Abaqus viewer” u otro postprocesador.

“Abaqus viewer” lee el archivo de datos binarios neutral, tiene una variedad de opciones para mostrar los resultados, incluyendo gráficos, animaciones, entre otros (Dassault Systèmes, 2013).

Postprocesamiento

Análisis de resultados

Después de retroalimentar las magnitudes del radio y del coeficiente de fricción entre los herramientales y la pieza de trabajo se determinó el modelo final.

La figuras 6 y 7 muestran tanto el comportamiento del flujo de material así como las distorsiones en la pieza.

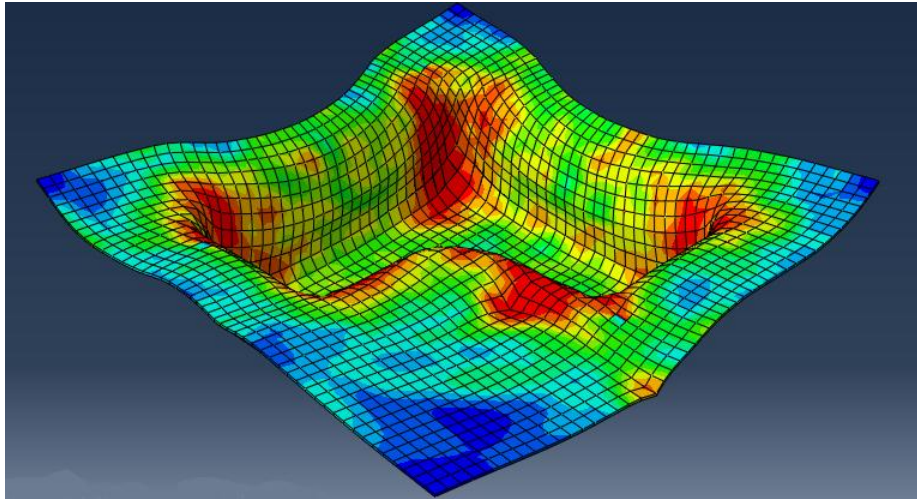


Figura 5 Esfuerzos de Von Mises

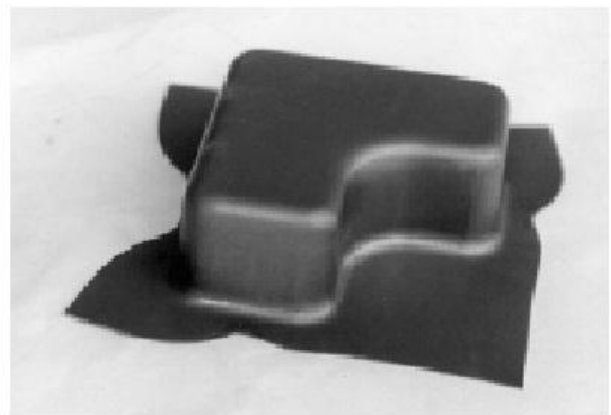
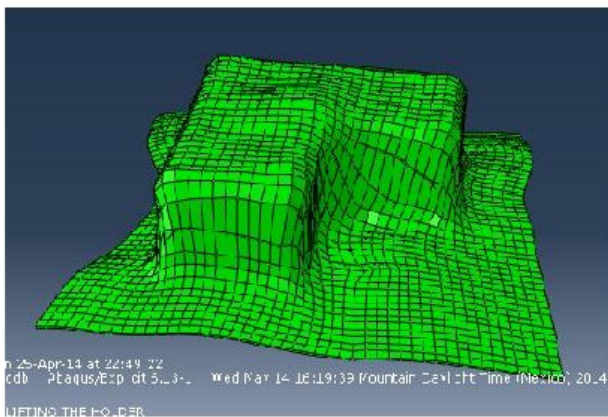


Figura 6 Comparativa entre simulación y el modelo físico.

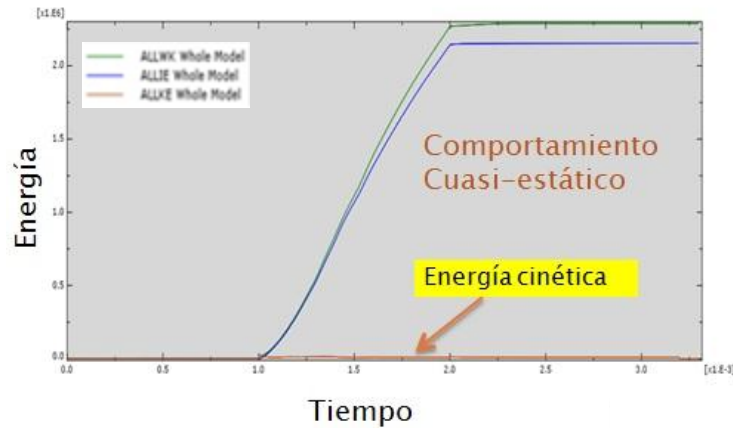


Figura 7 Comportamiento de la energía cinética.

Se analizó los gráficos de la energía cinética y la energía aplicada para comprobar que el proceso se comportó de manera cuasi-estática, como se observa en la figura 8, la energía cinética se mantuvo en valores que tienden a cero, lo que indica que no influyo en los resultados como era deseado

Conclusiones y Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que el uso de herramientas de ingeniería y dibujo asistido por computadora para diseñar los herramentales para el proceso de embutido profundo representa una gran ventaja, ya que es posible simular el proceso y gracias a los datos arrojados por el procesador, así como por las visualizaciones del post-procesador se pueden encontrar errores en el diseño que ocasionen fallas en la pieza final y corregirlas sin invertir más que el tiempo que el diseñador ocupe; de otra forma sería necesario recurrir al sistema iterativo de prueba y error, fabricando, reparando o refabricando los herramentales hasta obtener la pieza final dentro de especificaciones, representando un alto costo, esto aunado a la necesidad de una persona “experta” en el proceso.

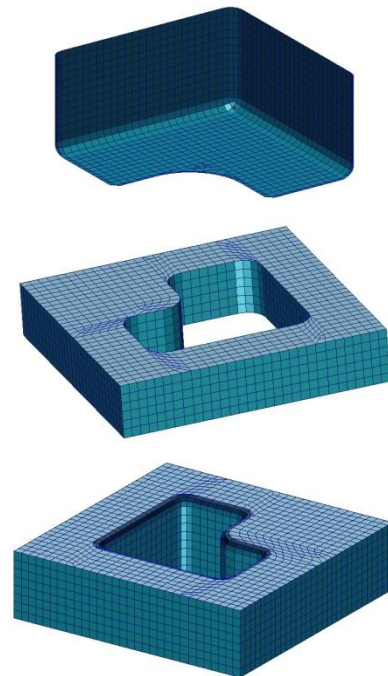


Figura 8 De izquierda a derecha; geometrías del punzón, sujetador y dado

El desarrollo de un sistema para diseñar la forma óptima de la pieza de trabajo para piezas no axisimétricas, esto es dar la forma exacta a la pieza de trabajo para que no necesite una segunda operación; esto representaría una ventaja aun mayor para las

empresas que trabajan con el proceso de embutido profundo.

En la figura 9 se muestran las geometrías finales tanto del punzón y sujetador así como del dado, desarrollados por el proceso propuesto.

Referencias

Atrian, A., & Fereshteh-Saniee, F. (2013). Deep drawing process of steel/brass laminated sheets. Elsevier, 75-81.

Boljanovic, V. (Ed.). (1990). Die design Handbook. Dearborn, Michigan: Society of manufacturing Engineers.

Boljanovic, V. (2004). Sheet metal forming processes and die design . New York: Industrial Press Inc.

Chung, S., & Swift, H. (1951). Cup-drawing from a flat blank: Part I--Experimental investigation, Part II--Analytical investigation. Proc. I. Mech. E., 199-228.

Dassault Systèmes. (2013). oulu. Retrieved April 15, 2014, from

http://www oulu.fi/tietohallinto/unix/abaqus_docs/v6.13/books/gsk/default.htm

Ganesh-Narayanan, R. (2010). Expert system applications in sheet metal forming. Expert Systems, 95-116.

Kim, S., Park, M., Kim, S., & Seo, D. (1998). Blank design and formability for non-circular deep drawing processes by the finite-element method. Journal of Materials Processing Technology, 94-99.

Sattari, H., Sedaghati, R., & Ganesan, R. (2007). Analysis and design optimization of deep drawing process Part. II: Optimization. Journal of Materials Processing Technology, 84-92.