



EPS

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Disseny dels elements constitutius per adaptar un centre de mecanitzat de control numèric a la tecnologia Incremental Sheet Forming (ISF)

Document: Resum

Alumne: Isabel Bagudanch Frigolé

Director/Tutor: Maria Luisa García-Romeu de Luna
Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial
Àrea: Enginyeria de Processos de Fabricació

Convocatòria (mes/any): Setembre 2011

Resum

Un dels processos tradicionals de conformació de xapa més utilitzats a nivell industrial, degut a la seva rapidesa d'operació i la seva maduresa del procés, és l'embotició. Per a dur a terme aquest procés és necessària la construcció d'uns utillatges (matriu i punxó) per a cada tipus de producte. Aquests utillatges estan fabricats amb materials altament resistents ja que han de poder suportar càrregues molt importants durant la deformació. A més, s'han de garantir unes precisions dimensionals molt bones per tal d'evitar el xoc entre les dues parts de l'utillatge i per a assegurar que la peça obtinguda tingui les dimensions desitjades. Aquest fet implica que el procés d'obtenció de les matrius i punxons tingui un cost molt elevat i per a amortitzar-lo és necessari que la producció sigui en massa.

Com que la majoria dels processos tradicionals de deformació de xapa no són econòmicament viables per a la producció de lots baixos, és imprescindible utilitzar processos més innovadors. Un dels que ha despertat més interès en els darrers anys és la conformació incremental de xapa, anomenat en anglès *Incremental Sheet Forming (ISF)*.

Aquesta tecnologia consisteix en el fet que una eina (generalment un punxó amb punta semiesfèrica) es mou en un pla seguint una trajectòria prèviament programada i aplica una deformació local a la xapa. Aleshores l'eina baixa una determinada profunditat i es torna a moure seguint la trajectòria definida en aquest nou pla i així successivament fins a obtenir el producte final. L'eina no està dissenyada per un producte en concret sinó que es pot utilitzar en un gran ventall de productes amb geometries diferents, amb la qual cosa el cost derivat de la fabricació de l'eina és molt reduït i la tecnologia de ISF és viable per a la fabricació de sèries de producció baixes.

Generalment, aquest procés es duu a terme en un centre de mecanitzat de control numèric. S'ha de fer una adaptació de la màquina per a poder realitzar el conformat incremental de xapa, ja que originàriament aquesta està dissenyada per a processos d'arrencada de ferritja. L'adaptació sol consistir en el disseny i construcció d'un utillatge per a fixar la xapa, unes eines de conformat i en la modificació del software CAM per a generar la trajectòria de l'eina.

L'objecte d'aquest projecte és adaptar el centre de mecanitzat Kondia HS1000 per tal de poder dur a terme recerca bàsica de la tecnologia de conformat incremental de xapa (ISF) en el Grup de Recerca en Enginyeria del Producte, Procés i Producció (GREP). El disseny dels diferents elements necessaris per a l'adaptació s'ha de finalitzar abans del juny del 2011.

Després de l'adaptació s'ha de validar que el funcionament del centre de mecanitzat és correcte a partir de realitzar algunes proves experimentals. A més, aquestes proves experimentals han de contribuir a l'estudi de la influència d'alguns paràmetres d'entrada en els resultats finals. Es preveu que aquesta segona etapa tingui una durada de dos mesos.

Per tal de dur a terme els objectius del projecte s'han realitzat una sèrie de tasques:

- Revisió de l'estat de l'art (consultar l'Annex A) per a conèixer les principals contribucions a la tecnologia realitzades en els últims anys relacionades amb les variants del procés, ús de nous materials, descripció dels paràmetres de procés o tipus de màquines utilitzades, entre altres.
- Disseny i construcció d'un utilatge de conformat que permeti subjectar la xapa per realitzar els experiments i d'unes eines de conformat (consultar l'apartat 2 de la Memòria, el document corresponent als Plànols i el Plec de condicions).
- Adaptació del software CAM (*Computer Aided Manufacturing*) dissenyat per a processos de mecanització al procés de ISF i elaboració d'una rutina pròpia per a la generació de trajectòries (consultar l'apartat 3 de la Memòria i l'Annex C).
- Realització d'un disseny d'experiments (DOE) per tal de validar el funcionament de la tecnologia (consultar l'apartat 4 de la Memòria).
- Caracteritzar els materials a utilitzar, mesurar forces de conformat, límits de formabilitat i precisions dimensionals (consultar l'apartat 5 de la Memòria i l'Annex D).
- Identificar relacions amb els paràmetres d'entrada a partir d'un anàlisi estadístic (ANOVA) i obtenció de models analítics per a predir els valors de sortida (consultar l'apartat 6 de la Memòria).

A part d'aquestes tasques també s'ha fet una valoració econòmica del cost de fabricació de l'utilatge i de les altres despeses involucrades amb aquest projecte de final de carrera (material, eines, hores d'investigació, etc.). Es pot consultar un resum del pressupost a l'apartat 7 de la Memòria i en el document Pressupost es detallen totes les partides que s'han tingut en compte.

A l'Annex B es poden consultar les principals característiques tècniques dels aparells utilitzats en aquest projecte.

A l'apartat 8 de la Memòria es poden consultar les conclusions extretes durant l'elaboració d'aquest projecte, essent les més remarcables les que es presenten tot seguit:

- Primerament cal remarcar que s'ha dissenyat i construït un utilatge que ha permès adaptar un centre de mecanitzat de CNC Kondia HS1000 per a dur a terme el procés de ISF en el GREP. En les primeres etapes d'implantació d'aquesta tecnologia en el grup es desitja dur a terme recerca bàsica, per tant, s'ha optat per a la fabricació d'un utilatge de dimensions reduïdes ja que permet un estalvi de material i de temps de procés.
- S'ha adaptat el software CAM de què disposa el GREP (GOelan) i que és específic per a processos de mecanització. És aconsellable utilitzar aquest programa quan les peces a fabricar amb ISF siguin complexes, sobretot quan es decideixi investigar en base a peces d'aplicació a l'àmbit industrial.
- S'ha programat una rutina pròpia amb Python, útil únicament per a geometries bàsiques. Aquest és el que s'ha utilitzat en aquest projecte

degut a la simplicitat d'ús i reducció de temps de preparació de les trajectòries.

- Per tal d'assegurar que l'adaptació de la part software i hardware s'ha realitzat de manera adequada s'han dut a terme una sèrie d'experiments, incloent una sèrie de proves preliminars per tal de decidir alguns dels paràmetres de procés a utilitzar.
- S'ha pogut determinar que l'adaptació ha estat correcta i a més s'ha analitzat la influència dels paràmetres geomètrics (diàmetre, radi de generatriu i angle), tipus de material i gruix en els resultats finals gràcies a un anàlisi estadístic (ANOVA). Els paràmetres de sortida que han estat interès d'aquest projecte són la força màxima de conformat, el límit de formabilitat i la precisió dimensional.
 - o El tipus de material i el gruix inicial de la xapa són els dos factors que provoquen una variació més important en la força màxima, tal i com també demostra l'equació empírica d'Aerens extreta de la revisió bibliogràfica. A part d'aquests dos paràmetres, els resultats obtinguts demostren que el radi de generatriu (en general, a més radi menys força) i l'angle inicial (en general, a més angle més força) de la geometria tenen una influència en el resultat de la força màxima, en canvi, el diàmetre no té cap efecte.
 - o Pel que fa al límit de formabilitat (LF), els resultats demostren de nou que el diàmetre no té cap influència. El tipus de material tampoc no contribueix de manera significativa al valor de LF. Els paràmetres que sí tenen influència important són el radi de generatriu i l'angle (quan augmenten de valor, LF disminueix) així com el gruix inicial de la xapa (a més gruix, més LF).
 - o A partir de l'anàlisi estadístic s'han obtingut unes equacions per a predir el valor de la força màxima i límit de formabilitat en unes condicions similars a les dels dissenys d'experiments plantejats.
 - o Per tal d'avaluar la precisió dimensional de les peces fabricades s'ha mesurat el perfil obtingut amb una màquina de mesura de coordenades (MMC) i s'ha comparat amb el perfil teòric. La desviació màxima oscil·la entre el rang de valors típic que correspon al procés de SPIF (*Single Point Incremental Forming*). Si es desitja reduir la desviació es recomana també utilitzar la variant TPIF (*Two Point Incremental Forming*).
- A part de l'experimentació també s'han fet algunes simulacions pel mètode d'elements finits (FEM) amb el programa LS-DYNA. No ha estat possible fer les simulacions de cada un dels casos d'aquest projecte degut principalment a l'elevat temps de càlcul que es necessita (entre 3 i 8 dies per a cada simulació). És possible concloure que el model plantejat en les simulacions és satisfactori i es pot utilitzar per a predir el que succeirà en el procés.
- Finalment, és important remarcar que gràcies a l'adaptació i a l'experimentació bàsica duta a terme en aquest projecte ha estat possible la publicació d'articles d'investigació en alguns dels principals congressos internacionals relacionats amb l'àmbit de processos de conformat de xapa,

com per exemple el Shemet (*International Conference on Sheet Metal*) i ICTP (*International Conference on Technology of Plasticity*).

Pel que fa a possibles línies futures, cal destacar el sector de la biotecnologia, pensant en aplicacions diferents a les ja existents (pròtesis de crani, de turmell, etc), provar amb diferents materials (magnesi, titani...) i comparar el resultat amb altres tecnologies. Dins aquest àmbit en el GREP ja s'ha començat a treballar i fins i tot s'ha pogut presentar un article al congrés VRAP (*International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping*) en què es fabrica a escala ampliada un fòrceps per a biòpsia.

També es podria pensar en treballar no solament materials metàl·lics sinó també amb materials plàstics. Estudis molt recents comencen a aplicar la tècnica de ISF amb el PVC. De fet, en el GREP ja s'han fet algunes proves experimentals amb PVC i PC tot i que encara s'han de millorar notablement alguns paràmetres de procés per tal d'aconseguir peces d'una qualitat acceptable.