

Treball final de grau

Estudi: Grau en Tecnologies Industrials

Títol: Aplicació de polímers biocompatibles en la tecnologia Incremental Sheet Forming (ISF)

Document: Resum

Alumne: Marc López Montenegro

Director/tutor: Maria Luisa Garcia-Romeu de Luna

Isabel Bagudanch Frigolé

Departament: Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

Àrea: Enginyeria dels processos de fabricació

Convocatòria: Juny/2015

El Grup de Recerca en Enginyeria de Producte, Procés i Producció (GREP) estudia, entre d'altres, el procés de deformació incremental de xapa, anomenat en anglès *Incremental Sheet Forming* (ISF). És un procés de fabricació relativament nou i flexible que el fa indicat per a la producció de sèries curtes o productes únics.

Aquest procés productiu consisteix en deformar progressivament xapes de certs materials fins que assoleixen la forma desitjada. Per poder realitzar-lo és necessària la utilització d'un utillatge específic tal com l'eina, una màquina de control numèric, el material, etc.

Un dels aspectes més interessants de l'estudi de l'ISF és la utilització de diferents materials de xapa. Els més estudiats fins ara són els materials metàl·lics tals com acers inoxidable, aliatges d'alumini com l'AA1050 per exemple, però actualment s'està ampliant l'estudi de l'aplicació de materials polimèrics. Existeixen materials polimèrics biocompatibles tals com la Policaprolactona (PCL) i l'"*Ultra-High-molecular-weight polyethylene*" (UHMWPE) que són els que s'estudien en aquest treball final.

Una de les característiques d'aquests materials és que la gran majoria es deformen fàcilment a temperatura ambient. El fet de treballar a temperatures ambientals suposa un estalvi energètic ja que no s'ha d'aplicar calor a la peça o a la cambra de treball. La temperatura de fusió de la PCL és propera als 60°C mentre que la de l'UHMWPE és de 130°C. El gran inconvenient d'utilitzar materials polimèrics en aquesta tecnologia és que s'experimenta una major recuperació elàstica i les peces fabricades no són tant exactes com en el cas dels metalls.

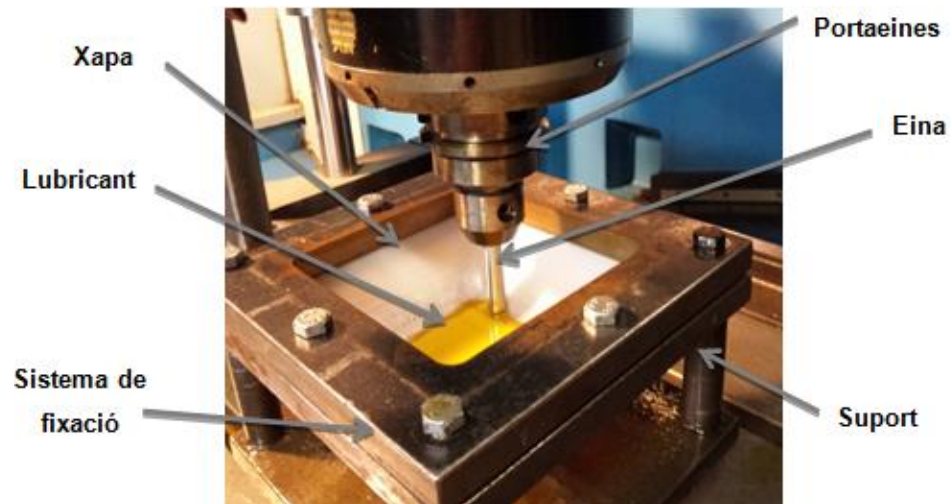
Un dels sectors amb més potencial per aquesta tecnologia és la biomedicina. El principal motiu és que aquest procés de fabricació permet fer peces úniques personalitzades a un cost raonable. Principalment s'utilitzen aquests tipus de materials per la producció de pròtesis o implants.

L'objectiu d'aquest treball consisteix en demostrar la viabilitat d'utilitzar polímers biocompatibles en SPIF (*Single Point Incremental Forming*), aportant un nou coneixement respecte el comportament d'aquests materials quan es sotmeten a un procés de deformació en fred. També es determinaran els millors paràmetres de procés i s'identificaran possibles limitacions en quant a l'ús d'aquest tipus de materials.

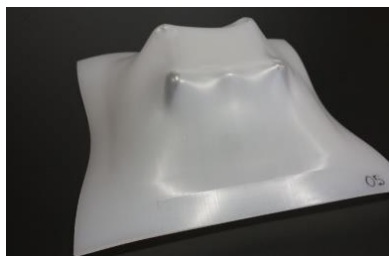
La geometria que es vol aconseguir després d'haver aplicat el procés de deformació SPIF és una piràmide truncada. Una de les característiques més importants que tindrà la piràmide és un angle de paret variable que dependrà de la profunditat, a diferència

d'altres geometries que mantenen aquest angle constant. La geometria s'explica més detalladament a l'apartat 2.1. del treball.

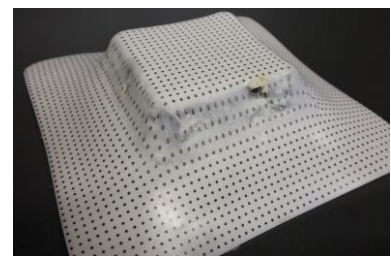
Per tal de poder deformar es necessita el centre de control numèric Kondia® model HS-1000 (Figura 1a), l'eina de diàmetre igual a 10mm, el sistema de fixació de la xapa, lubricant, etc. Cada una d'aquestes parts s'explica més detalladament en l'apartat 2.3. del treball.



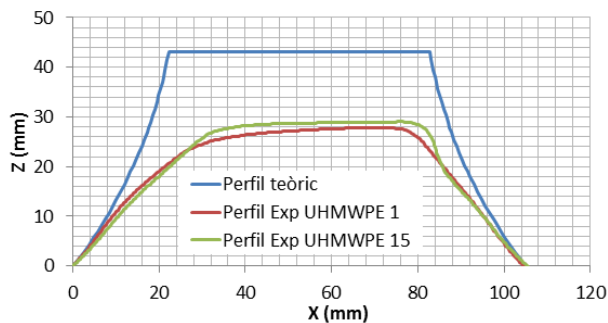
a)



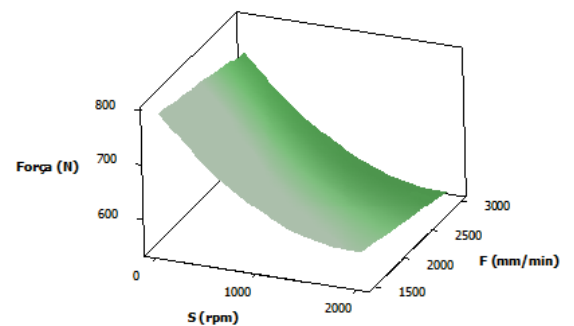
b)



c)



d)



e)

Figura 1 a) Muntatge experimental b) Exemple de piràmide fabricada d'UHMWPE c) Exemple de piràmide fabricada de PCL d) Perfil de piràmides d'UHMWPE e) Superfície de resposta per a la força màxima (UHMWPE)

S'ha construït un disseny d'experiments (DOE) que permetrà conèixer com varien i evolucionen diferents paràmetres de la peça final i del procés de deformació a l'hora de generar una peça utilitzant la tecnologia ISF. Els paràmetres que es modifiquen al llarg d'aquest DOE són la velocitat de rotació de l'eina, la velocitat d'avanç i la profunditat de passada. Amb l'ajut de Matlab s'obtenen totes les combinacions necessàries per poder fer aquest DOE que en aquest cas és un "Box-Behnken" (BB).

També és imprescindible fer ús d'equips de mesura per tal de poder obtenir resultats. Els resultats de força de deformació s'obtenen amb la taula dinamomètrica Kistler® model 9257B, les mesures de temperatura es prenen amb la càmera termogràfica IRBIS ImageIR 3300, la rugositat superficial amb el rugosímetre "Mitutoyo SurfTest SV1000" i l'alçada màxima s'obté directament del centre de mecanitzat.

Un cop realitzats tots els experiments (com les de la Figura 1b i 1c) es procedeix a fer un anàlisi estadístic ANOVA i a construir superfícies de resposta que, juntament amb les equacions obtingudes pel programa Minitab, permetrà predir valors de força, temperatura, etc.

Inicialment es construïa un model que contemplava cada un dels paràmetres de procés però no s'ajustava del tot bé. Després de simplificar-lo eliminant aquells termes no significatius tots els models van millorar el seu ajust ja que els coeficients R^2 s'apropaven més al 100%.

Un cop analitzats tots els resultats es pot concloure que tot i que el material UHMWPE no trenca en la majoria dels experiments, la piràmide no s'ajusta a la geometria teòrica esperada (Figura 1d). D'altra banda, la forma final de la PCL s'ajusta molt més a la teòrica però trenca moltes més vegades degut als defectes de fabricació de les xapes de partida. Referent a la força màxima de deformació cal afegir que en el cas de l'UHMWPE és més elevada que la que experimenta la PCL. En ambdós casos la força disminueix quan s'aplica rotació a l'eina (Figura 1e) però la temperatura màxima es veu augmentada. Aquest augment de temperatura fa que la PCL fongui i que mostri una rugositat superficial major que en la resta de casos.

Dels models definitius s'han pogut extreure les equacions que permeten predir valors d'alçada, força, temperatura i rugositat en funció dels paràmetres de procés. Aquesta predicció també és possible fent ús de les superfícies de resposta ja esmentades que genera el programa.

Les magnituds que millor es poden mesurar per l'UHMWPE són l'alçada i la força màxima ja que els coeficients R^2 són molt adequats. En el cas de la temperatura aquests coeficients són més baixos però es podrien predir valors tot cometent un cert error. L'únic model que no permetrà predir valors és el de la rugositat superficial perquè aquest no s'ajusta correctament.

Els resultats per la PCL mostren que el model que millor s'ajusta és el de la rugositat superficial. Per la temperatura i la força també es poden predir valors però cometent un cert error mentre que no es podrà fer el mateix amb l'alçada ja que els coeficients R^2 són molt baixos.

Com que ambdós materials presenten avantatges i inconvenients no es pot determinar quin dels dos és millor. Una ampliació del disseny d'experiments que contemplés una variació del diàmetre de l'eina o el gruix de la xapa podria generar una nova opinió i ajudar a decidir quin dels dos materials és més adequat per deformar utilitzant la tecnologia ISF.

Cal remarcar també que si les làmines de PCL haguessin estat fabricades amb un acabat similar al de les d'UHMWPE els resultats probablement serien diferents però la fabricació individual d'aquestes no ho ha permès.