

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Mecànica

**Títol:** Desenvolupament de motlles amb fabricació additiva per la deformació incremental de xapa

**Document:** Resum

**Alumne:** Joan Castells Badia

**Tutor:** Maria Luisa Garcia-Romeu de Luna

**Departament:** Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

**Àrea:** Enginyeria dels processos de fabricació

**Convocatòria (mes/any):** Setembre/2019

Fa uns anys que s'està utilitzant i estudiant el sistema de deformació incremental de xapa (ISF) per tal de poder aconseguir conformar geometries complexes que a través d'altres tècniques de conformat, o no serien possibles o resultarien molt cares. El GREP (Grup de Recerca en Enginyeria de Producte, Procés i Producció) porta uns anys investigant aquesta tècnica per a realització de pròtesis en el camp de la biomedicina. Recentment aquest grup de recerca està immers en un projecte on hi participen diferents Universitat Europees on es busca aconseguir resultats realitzant les geometries conformades amb ISF amb una altra procediment com és el Superplastic Forming (SPF).

La tècnica ISF consisteix en realitzar la forma desitjada a través de la deformació d'una planxa de poc gruix a través, en el nostre cas, d'una eina amb punta semiesfèrica. Dins de ISF hi ha dues variants: SPIF (single point incremental forming) i TPIF (two point incremental forming).

SPIF es basa en tenir la planxa "a l'aire". La planxa es subjecte per el perímetre i es deforma el seu interior amb l'eina de punta semiesfèrica sense cap mena de motlle a sota.

TPIF consisteix en tenir la planxa que volem conformar sobre una base on hi ha mecanitzada la forma que volem aconseguir en forma de negatiu i igualment amb l'eina donar-li forma.

La necessitat de tenir un motlle en el sistema TPIF pot fer que sigui una tècnica cara i segons la geometria, difícil d'aconseguir a través de processos de mecanització. En aquest punt és on entra la fabricació additiva. El GREP també porta uns anys estudiant els diferents mètodes de fabricació additiva i és que, actualment existeixen moltes tècniques diferents per les quals seria possible realitzar motlles suficientment resistents i útils per a utilitzar amb el procediment TPIF.

La fabricació additiva es basa justament en el contrari que la mecanització, en crear cossos a partir de zero afegint material. Les tecnologies més importants en aquest moment serien les de FDM (Fusion Deposition Modeling), SLA (estereolitografia) i SLS (sinterització selectiva per làser). Són tecnologies que estan en desenvolupament sobretot en el tema de materials polimèrics. Actualment es treballa pràcticament al cent per cent amb material polimèrics com poden ser PLA (àcid polilàctic), PVA (acetat de polivinil), ABS (Acilonitril butadiè estirè), tot i que també s'estan utilitzant els materials polimèrics juntament amb fibres (vidre, carboni) i fins i tot hi ha tecnologies additives que utilitzen pols fèrrica, aquestes últimes més desenvolupades. Aquestes tecnologies són capaç de fabricar pràcticament qualsevol geometria per complexa que sigui a preus molts interessants.

La temàtica d'aquest projecte prové de la col·laboració del GREP amb altres universitat europees (Universitat Politècnica de Bari i Universitat de Sevilla) el qual busca aconseguir determinar els

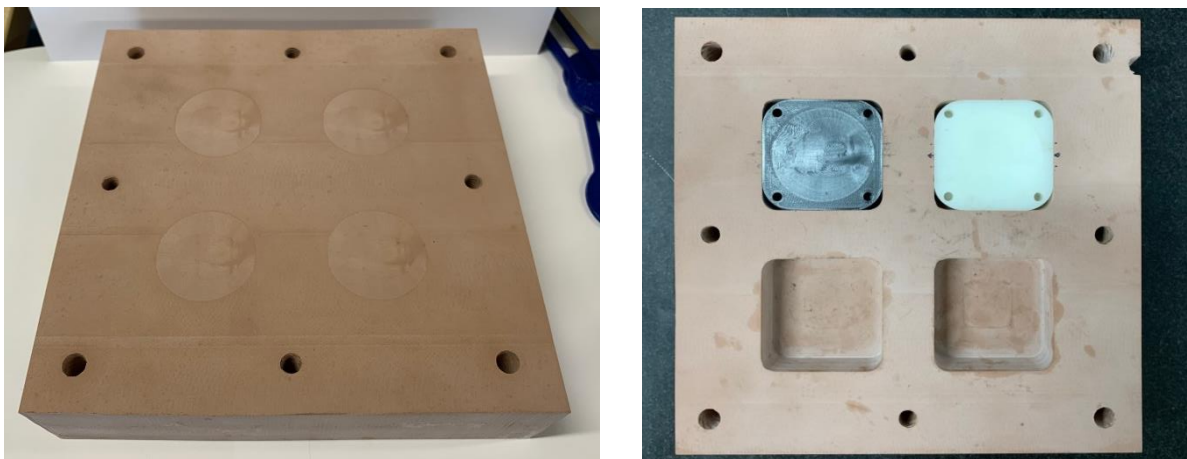
paràmetres de fabricació per tal d'aconseguir realitzar pròtesis biomèdiques amb materials biocompatibles com és el magnesi.

L'objecte del projecte és la d'aconseguir determinar els paràmetres i condicions òptims per fabricar pròtesis de l'os zigomàtic mitjançant les tecnologies SPIF i TPIF.



**Figura 1** Origen geometria pròtesi

Utilitzant motlles fabricats amb diferents tecnologies de fabricació additiva i motlles amb material Prolab 65. Un cop obtingudes les pròtesis es compararan entre elles per veure la idoneïtat d'aquests mètodes.



**Figura 2** Motlles per TPIF material Prolab 65 (esquerra), PLA (negre dreta) i Resina (blanc esquerra)

Per l'experimentació SPIF s'han realitzats proves prèvies, el primer disseny d'experiments i el segon disseny d'experiments.

Les proves prèvies han servit per a veure el comportament del material. Degut a això s'opta per a utilitzar un forn per elevar la temperatura de la planxa de magnesi durant els experiments en el primer disseny d'experiments. En el segon disseny d'experiments s'opta per a fer un tractament de trempat a les planxes de magnesi abans d'utilitzar-les i realitzar els experiments sense el forn.

La anàlisi més extensa dels resultats s'ha realitzar a partir dels resultats del segon disseny d'experiments.

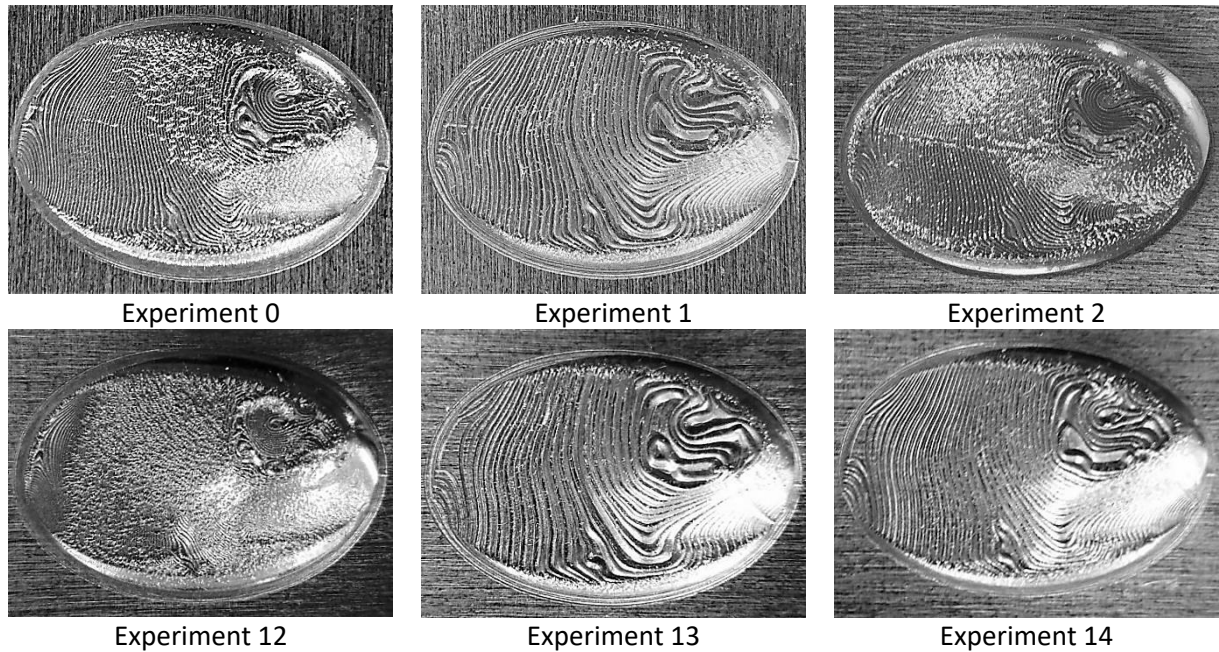


Figura 3 Imatges segon disseny d'experiments

Per a poder treure conclusions s'ha realitzat una anàlisi estadística de forma que els resultats obtinguts es presenten en forma de gràfics de resposta de superfície i en forma de gràfics de contorn i en forma de taules on hi ha els valors de  $R^2$ . A partir d'aquests anàlisis es treuen les conclusions següents:

- Precisió: la variable més important del conjunt. Influenciada per tots els paràmetres de procés, cosa que fa que sigui complicat determinar un setup de treball òptim. De totes formes els millors resultats obtinguts han estat amb la profunditat de passada mínima, la velocitat de rotació del capçal màxima i la velocitat d'avanç mínima.
- Gruix: és una variable que va molt lligada amb la precisió. Les variables que condicionen el gruix de la pròtesi són la velocitat de rotació del capçal i la profunditat de passada. En aquest cas no es pot parlar de bons i mal resultats ja que els mals resultats són o bé la ruptura ,com ha succeït en dissenys d'experiments anteriors, o gruixos tant mínims que es pugui preveure una ruptura durant l'ús de la pròtesi.
- Rugositat: en aquest cas no hi ha dubte que la rugositat està condicionada per la profunditat de la passada i de la velocitat d'avanç tot i que en un principi també es pot pensar que la velocitat de rotació del capçal també hi hauria d'influir. Tot i així lògicament els millors resultats de rugositat s'obtenen quan la profunditat de passada és mínima i la velocitat d'avanç màxima.

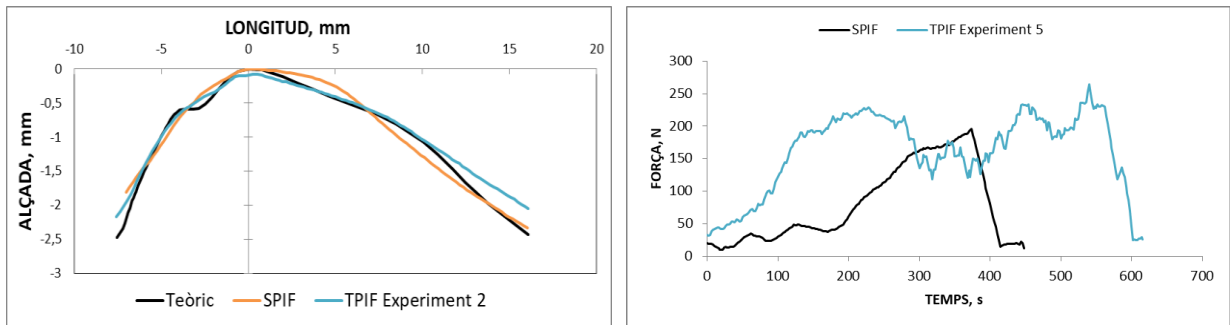
- Força: està condicionada únicament per la velocitat de rotació del capçal i de la velocitat d'avanç. El fet de que el valor de força màxima no es situï entre el valors màxims de velocitat de rotació del capçal i de la velocitat d'avanç desconcerta.
- Temperatura: es veu molt afectada per la velocitat de rotació del capçal i de la profunditat de passada, en canvi, no li afecta tant la velocitat d'avanç.

Per l'experimentació TPIF s'han utilitzat els resultats obtinguts en l'experimentació SPIF per a escollir els paràmetres de procés. En aquest cas, s'han escollit els paràmetres que millor i pitjor resultat han donat en l'experimentació SPIF per tal d'avaluar els resultats en TPIF.

Finalment s'han comparat els resultats obtinguts per SPIF i TPIF obtenint les conclusions següents:

- Precisió: clarament s'han obtingut millors resultats amb TPIF. S'ha de dir que els programes ISO utilitzats per a realitzar el procés de SPIF i TPIF són diferents ja que la geometria utilitzada per TPIF és una mica diferent degut a que es va suavitzar el perímetre per tal que la planxa no quedés seccionada al realitzar el assajos. Per tant, un petit percentatge d'aquesta millora pot ser deguda a aquest factor, tot i així, es pot assegurar que no és el responsable d'obtenir una millora tant notable.  
Aquesta millora és el resultat de que la planxa es recolzi i quedi "atrapada" entre l'eina del centre de treball i el motlle. Aquests resultats són els buscats.
- Gruix: tal i com es ve dient durant el treball aquesta variable va molt lligada amb la precisió, per això no és d'estranyar que el gruix de la peça sigui menor (major aprimament) ens les pròtesis realitzades amb TPIF.
- Rugositat: en tots els casos es pot veure com la rugositat en TPIF és pitjor que amb SPIF. Aquests valors no són els esperats ja que es pensava que al recolzar-se la planxa sobre el motlle, a part de millorar-ne la precisió, també en milloraria la rugositat.
- Força: en aquest punt es pot observar com la força dels experiments TPIF que utilitzen els paràmetres de procés de l'experiment SPIF 5 ha augmentat i notablement, en canvi, els experiments TPIF restants tenen una menor força que els experiments SPIF. La predicció era que la força serviria per determinar si la planxa es recolzava sobre el motlle (en aquest cas augmentaria) però no ha estat així. També es creu que la sensibilitat i precisió del sistema d'adquisició de la força no és prou eficient ja que si es comprova els resultats entre els experiments TPIF i les seves rèpliques (experiments 0-1 i experiments 2-3) que haurien de ser idèntics, també són diferents. Per tant, o el sistema d'adquisició no és del tot precís o existeix poca repetibilitat entre experiments.

- Temperatura: les temperatures en tots els casos són bastant similars. No es tenia cap idea dels resultats que eren d'esperar ja que al tenir els motlles es podia pensar que podrien ajudar a dissipar el calor generat per la fricció o, al contrari, podia passar que la temperatura augmentés al aconseguir una major deformació.



**Figura 4** Comparativa SPIF-TPIF de la precisió (esquerra) i la força (dreta)

Finalment es conclou que la viabilitat dels motlles de fabricació additiva queda resolta de forma molt positiva ja que no s'ha tingut cap problema amb els motlles utilitzats ni amb els seus materials. S'han caracteritzat els motlles abans i després de la seva utilització per poder comparar el seu possible desgast i deformacions.

Tots els experiments i anàlisis s'han realitzat a les instal·lacions del taller del GREP al parc tecnològic amb el centre de treball (Kondia) i aparells de mesura disponibles (taula dinamomètrica Kistler, càmera tèrmica IRBIS ImageIR 3300, rugosímetre Mitutoyo SurfTest SV1000 i màquina de coordenades Mitutoyo model Crysta-Apex C544.)

La fabricació dels motlles de fabricació additiva també s'han realitzat a les instal·lacions del taller del GREP al parc tecnològic amb les impressores Ultimaker 3 (FDM) i amb la Formlab Form 2. En canvi el motlle mecanitzat amb Prolab 65 s'ha fabricat al taller de mecanització del PII.