



EPS

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Transformació d'una màquina de tecnologia additiva
per a la fabricació d'scaffolds.

Document: Resum

Alumne: Èlia Vallès Gamundi

Director/Tutor: Joaquim de Ciurana Gay

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria dels processos de fabricació

Convocatòria (mes/any): Juliol 2012

Per a la fabricació de prototips cada vegada s'utilitzen més les tecnologies additives. Aquest procés, col·loquialment podríem dir que consisteix en anar dipositant capes molt fines de material fins a aconseguir la geometria desitjada en tres dimensions. Encara que les màquines poden utilitzar tècniques molt diferents, el procediment a seguir sempre és molt similar. S'inicia el procés amb el disseny d'un model CAD, en tres dimensions, que es pot realitzar amb qualsevol dels programes de dibuix més utilitzats. Una vegada finalitzat, s'ha de guardar el fitxer amb el que s'anomena format .stl. Aquest format realitza triangulacions al model i és llegible per la màquina. Al seu torn, la impressora, realitza un *stepping* o llescat. És a dir, va realitzant seccions a tota la peça que es vol fabricar. Una vegada té les seccions definides, mitjanant el software corresponent es determinaran les trajectòries a seguir per poder obtenir el producte a base de dipositar material.

El Grup de Recerca en Enginyeria de Producte, Procés i Producció (Grep) té en les seves instal·lacions una *RepRap* model *Prusa Mendel*. Es tracta d'una impressora en 3D, de cost reduït, que s'engloba dintre el que s'anomenen *Open Source Machines*. Un dels àmbits d'investigació del Grep és el sector mèdic. Una de les aplicacions més innovadores de les tecnologies additives, emmarcada dins del camp mèdic, és la fabricació de *scaffolds*. En la medicina regenerativa, els *scaffolds* s'utilitzen com estructures biodegradables implantables que serveixen de base per a la correcta reproducció de teixit a partir de cèl·lules no diferenciades.

L'objecte del projecte és aconseguir fabricar *scaffolds* amb la *Reprap*. Per tal d'assolir aquest objectiu final caldran molts passos previs. En el moment que s'inicia el projecte la *RepRap* té tots els seus components muntats, el cablejat instal·lat i el firmware inicial a la placa. Així, en primer lloc cal obtenir una correcta comunicació entre la màquina i l'ordinador a través del qual es podrà accedir a la placa per tal de realitzar ajustaments. Una vegada la màquina obeeixi les ordres de moviment en la magnitud i la direcció desitjada serà el moment d'ajustar els paràmetres propis de la impressió. Aquests varien en funció de l'extrusor i el material a utilitzar.

Per tant, per a poder desenvolupar el projecte un dels aspectes més importants és l'obtenció de l'arxiu que cal imprimir. Per poder realitzar una impressió cal generar un arxiu amb extensió .gcode. Com en una impressora convencional, podem utilitzar diferents programes per obtenir el mateix resultat. Per exemple una vegada imprès no

podrem diferenciar si es tractava de format Word o Pdf. En aquest cas passarà una cosa semblant. Es buscarà per tant, la millor manera d'aconseguir l'arxiu desitjat.

En primer lloc hi ha un software indispensable que és el Repsnapper. A través d'ell podrem enviar a la impressora la informació necessària per imprimir. A part, també és capaç de generar codi per si sol. Els resultats mitjançant el seu procediment no són bons. Per tant, s'han buscat altres sistemes de convertir els dissenys en format .gcode. Dos dels programes capaços de fer això, que es troben lliurement a la xarxa, són Skeinforge i Sfact. El segon no és més que una simplificació del primer. En aquest cas no s'aconseguia controlar bé tots els paràmetres de la geometria.

Per aquest motiu i degut als objectius del projecte es va passar a crear un codi en Matlab que generés l'arxiu .gcode. En realitat el Matlab genera un arxiu en format .txt però si en el seu interior el contingut és correcte, és llegit perfectament pel Repsnapper com si es tractés d'una extensió .gcode.

Per tant, una vegada sabem com obtenir els arxius desitjats s'ha passat a realitzar el disseny d'experiment. El que es pretén és determinar com es veuen alterades diverses propietats d'un scaffold en funció de la variació de diferents paràmetres. Més concretament, es vol saber com afecta la variació de la distància entre els filaments d'una mateixa capa, l'esveltesa i l'angle de superposició dels filaments entre capes a paràmetres com la porositat final obtinguda i la resistència a compressió. Totes les provetes seran amb la base quadrada i alçades diferents. Per tant, sempre amb forma de prisma rectangular. El nombre de capes que les formin vindrà determinat per l'alçada que garanteixi la correcta adherència dels filaments entre capes. És a dir, la que permeti fixar el filament a la capa anterior i a la vegada no li permeti arrissar-se. Aquest paràmetre es representa amb la 'h' al codi. A continuació es mostra a la Taula 1, un resum dels paràmetres que intervenen en els dissenys.

	<i>Distància filaments</i>	<i>Relació esveltesa</i>	<i>Angle superposició</i>
<i>Nivell 1</i>	0.55mm	0.5	Cas A
<i>Nivell 2</i>	0.75mm	0.36	Cas B
<i>Nivell 3</i>	1.05mm	0.8	Cas C

Taula 1. Paràmetres i nivells que intervenen en l'elaboració dels dissenys.

Una vegada realitzats els experiments s'han efectuat diverses mesures. Les dimensionals en cada eix i les de pes. Aquestes s'han comparat amb les teòriques. El que es pot observar és que en general la dimensió en 'x' presenta més error que la dimensió en 'y' i aquesta al seu torn major error que la dimensió en 'z'. Es descarta que aquestes variacions tinguin relació amb els factors d'entrada. Degut a aquest fet s'apunta a que caldrà reajustar el firmware, sobretot en la direcció x.

A partir de pesar les peces i comparar les dades amb el seu pes teòric s'ha arribat a la conclusió que com més gran és l'espai intersticial i més esveltesa presenta la proveta, més capes calen per cobrir una mateixa alçada. Això fa que peces que haurien de tenir certa porositat segons el disseny no la tinguin degut al procés de fabricació. És a dir, per garantir l'adherència entre capes cal reduir l'alçada entre aquestes i aquest fet fa augmentar la densitat de la proveta.

Per altra banda s'ha realitzat un assaig de compressió. Segons la normativa al respecte s'ha realitzat a una velocitat de 5mm/min. L'assaig s'aturava per dos motius diferents. O bé perquè arribava a 40kN o bé perquè tenia una deformació del 75% o més. En ambdós casos per evitar malmenar l'aparell, en aquest cas l'Autograph.

Analitzant les dades de l'assaig a compressió es pot extreure la Figura 1 on es veuen les fases del comportament. Té una primera zona on s'apunta a un comportament elàstic. Durant aquest espai l'estructura interna resisteix a la força aplicada. En el moment que col·lapsa s'inicia una segona fase on comença a deformar-se plàsticament i a eliminar els espais buits. Quan aquests espais gairebé han desaparegut s'inicia la tercera etapa on el material torna a tenir més resistència.

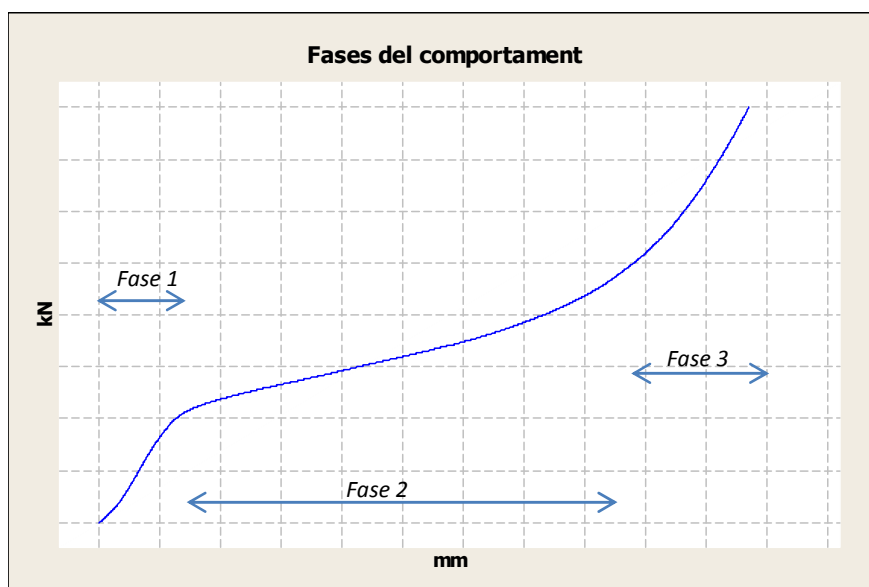


Figura 1. Fases del comportament durant l'assaig a compressió.

S'han realitzat diferents gràfics per a comparar les corbes resultants de l'assaig a compressió en funció del tipus de proveta. En cadascun d'ells hi apareixen tres corbes corresponents a la mateixa esveltesa i el mateix angle de superposició però amb diferent espai intersticial.

Amb aquesta comparativa es pretén demostrar la hipòtesi de que a major espai entre filaments d'una mateixa capa menor resistència. Veiem que això es compleix però amb algunes excepcions. A l'analitzar-les es demostra que la porositat és qui hi ha darrere de les anomalies. Per exemple, dues peces que tenen corbes molt semblants resulten tenir pràcticament la mateixa porositat real.

Una vegada vist, a grans trets, el comportament general de les provetes veiem que per a les nostres aplicacions el més interessant és el que passa a la primera fase. Per aquest motiu és necessària la seva modelització. El més important serà trobar el mòdul elàstic. Per a aconseguir-ho s'aplicarà el model de NeoHooken. A partir d'aquest, es podrà determinar el mòdul de torsió (G). A continuació, gràcies al model de Blatz-Ko, que relaciona el mòdul de torsió (G) amb el mòdul de Young (E), podrem trobar el valor d'aquest.

De la modelització en podem extreure que els valors del Mòdul de Young obtinguts a partir de la mitjana de les peces amb un mateix angle de superposició no presenten grans diferències entre ells ni una clara tendència. En canvi, per a l'esveltesa podem comprovar que com més gran és més baix és el valor del mòdul elàstic obtingut. Finalment també es pot apreciar una tendència per a les agrupacions en funció de l'espai intersticial. A més separació entre filaments, més baixa el valor del Mòdul de Young.

Cal apuntar que després de realitzar l'assaig a compressió immediatament s'ha mesurat l'alçada de les peces. Curiosament en totes elles hi ha una recuperació d'entre un 9 i un 19%. Per a explicar aquest fenomen es recorre a la segona llei de la termodinàmica. El PLA és un material amb memòria selectiva i per tant, lleugerament reversible. Aquesta recuperació es deguda a dos factors diferents. Un és el propi material que té un comportament entròpic i per tant, intenta tornar a tenir el desordre inicial perdut degut a la deformació. A més a més, la pròpia estructura interna del scaffold també ajuda a l'efecte. El que no es pot determinar fins al moment és en quin percentatge actua cadascun dels efectes.

Per concloure, cal dir que aquest projecte té encara molta trajectòria. . El més immediat a fer, per a consolidar els resultats obtinguts i per a seguir són fonamentalment tres coses.

La més important consisteix en fabricar les provetes una o dues vegades més i realitzar els assajos en les mateixes condicions per consolidar els resultats ja obtinguts i comprovar el grau de repetibilitat, tant en la fabricació i les mesures com en els assajos.

Una altra d'elles és estudiar la morfologia interna de les peces. Per a dur-ho a terme cal partir les provetes transversalment per tal de poder-ne observar el seu interior amb un microscopi i mesurar-ne la seva geometria. Nosaltres hem començat tot just a indagar en aquest sentit. Hem intentat diversos mètodes per a assolir el seccionament de la peça. A l'utilitzar elements tallants com serres o cúters, malgrat aquests estiguin molt afilats el resultat és desastrós. De seguida es perd informació al deformar-se la secció al practicar el tall. S'ha intentat fins i tot el refredament sobtat de les peces amb nitrogen líquid i després partir-les amb un cop sec. Amb aquesta tècnica les peces no presenten una sola fractura. En cas de tractar-se de peces molt poroses podria intentar-se la seva inclusió en materials de tipus resinós que després permetrien el seccionament sense deformació. Finalment es considera que una tècnica apropiada seria, en primer lloc, marcar mitjançant elements tallants per on es vol aconseguir el tall i a continuació, es procediria a partir la proveta amb un cop brusc de martell.

La tercera d'elles seria realitzar altres assajos sobre les provetes. El més destacat seria sotmetre les provetes a càrregues i descàrregues cícliques. D'aquesta manera es crearia una situació semblant en el cas que es tractés per exemple d'un scaffold d'una tíbia on a cada pas hauria de suportar una fase de càrrega i una de relaxació. Per això caldria definir els esforços als que es vol sotmetre i generar un assaig el més semblant a la realitat possible.

El següent pas seria l'elecció d'una aplicació concreta estretament lligada a la recerca de nous materials o bé la conformació de compòsits per a poder-ne millorar algunes propietats com la resistència.