



EPS

Escola Politècnica
Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau en Tecnologies Industrials

Títol: Anàlisi i selecció dels paràmetres de procés per la fabricació d'stents cardiovasculars amb tall làser

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Pol Güell Bosch

Director/Tutor: Joaquim de Ciurana Gay

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria dels Processos de Fabricació

Convocatòria (mes/any): setembre/2014

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	4
1.1 Antecedents	4
1.2 Objecte.....	5
1.3 Especificacions i abast.....	5
2. STENT CARDIOVASCULAR.....	6
2.1 Descripció.....	6
2.2 Tipus d' <i>stents</i>	6
2.2.1. Material.....	7
2.2.2. Geometria	8
2.3 Mètode de fabricació.	9
2.3.1. Tractaments superficials.	10
2.4 Angioplàstia amb baló.....	10
2.5 Inconvenients de l' <i>stent</i>	12
2.5.1. Restenosi.....	12
2.5.2. Trombosi (coagulació de la sang).....	12
3.MECANITZACIÓ LÀSER	13
3.1 Introducció.....	13
3.2. Tipus d'equipaments làser	14
3.2.1. Làser d'estat sòlid.....	14
3.2.2. Làser de gas.	16
3.2.3. Làser de líquid	16
3.3.Característiques del material mecanitzat	16
3.3.1. Amplada i qualitat de tall.....	17
3.3.2. Escòria	20
3.3.3. Zona afectada per la calor (HAZ).....	23
3.3.4. Rugositat (formació d'estries)	26
4.DESCRIPCIÓ DELS EQUIPAMENTS LÀSER.....	28
4.1. Kondia HS1000	29
4.1.1. Hardware amb tecnologia CNC.....	29
4.1.2. Taula de treball	30
4.1.3. Capçal de la màquina.....	30
4.2. Utilatge de fabricació d' <i>stents</i>	31
4.3. Làser Rofin FL x50	34
4.3.1. Components principals	34
4.3.2. Característiques principals del model FL x50.....	37
5.PREPARATIUS PREVIS ALS EXPERIMENTS.	38
5.1. Centratge del focus	38
5.2. Muntatge alineat de l'utilatge.....	39
5.3. Posicionament focal.....	40
5.3.1. Distància focal.	40
5.3.2. Paràmetres a ajustar	41
5.3.3. Experiments de posició focal.....	42
5.3.4. Selecció dels paràmetres.....	43
6.ESTUDI DELS PARÀMETRES DE TALL.....	45
6.1. Disseny de la geometria.....	45
6.2. Presentació de les proves.....	45
6.3. Anàlisi de les proves.....	46

5.3.1. Equipaments d'obtenció de dades..	46
5.3.1. Amplada de tall.....	47
5.3.2. Gruix de branca	50
6.4. Valoració dels resultats.....	57
6.5. Qualitat de l'acabat	57
6.6. Valoració final	60
7.ASSAIG DE COMPRESSIBILITAT	61
7.1.Dissenys de les geometries	61
7.2.Equipament d'assaig de tracció.	61
7.3.Anàlisi de l'assaig de tracció.	62
8. RESUM ECONÒMIC	66
9.CONCLUSIONS	67
10.BIBLIOGRAFIA	68
A. INSTRUCCIONS MUNTATGE DE L'UTILLATGE	70
B. ESTUDI DE COSTOS.....	74

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Tot i ser una tecnologia relativament nova, el làser és actualment una de les eines més utilitzades per a la mecanització gràcies a que facilita i optimitza els processos de tall, perforació i ranuratge.

A diferència que les tecnologies de tall convencionals, el tall làser és un mecanitzat sense contacte del material i lliure de forces que permet realitzar talls de qualsevol geometria amb una alta precisió. Aquest avantatge provoca que les seves aplicacions s'estenguin als camps de les telecomunicacions, automoció, electrònica i medecina.

Referent al darrer camp, una de les aplicacions més important és la de fabricació d'*stents* cardiovasculars. Els *stents* coronaris són unes endopròtesis vasculars en forma de tub que es col·loquen dins les artèries coronàries per tal de mantenir aquest conducte obert.

La Universitat de Girona disposa en les seves instal·lacions un làser de fibra integrat en un centre de mecanitzat de control numèric, que proporciona el control i mobilitat del làser sobre els eixos cartesianes. El juny del 2013, es va estudiar el procés del tall làser mitjançant la realització de geometries *stent* en xapes d'acer inoxidable, per optimitzar els paràmetres del làser i així poder aconseguir una fabricació acurada i apropiada per al material utilitzat. Recentment s'ha acoblat a la màquina làser un dispositiu que permet sincronitzar la rotació del material de partida amb el tall, per tant el mecanitzat tubs.

1.2 Objecte

L'objectiu del present projecte és estudiar les condicions de tall i paràmetres per fabricar diferents geometries *stents* i fer testos de compressibilitat d'aquestes per tal de valorar-ne la seva aplicabilitat.

1.3 Especificacions i abast

El projecte abastarà la realització d'experiments previs per determinar els paràmetres òptims de tall làser, els dissenys alternatius d'*stents*, els assajos de funcionament de l'*stent* i l'anàlisi dels resultats per optimitzar la selecció dels paràmetres i geometria de l'*stent*.

El disseny d'experiments estarà determinat per les limitacions tècniques referents a la mecanització i fabricació de les peces, així com també, a les propietats característiques dels materials seleccionats.

2. STENT CARDIOVASCULAR

2.1 Descripció

Va ser descrit per primer cop a l'època moderna per Dotter (1969), els stents van ser dissenyat per millorar el limitat èxit de l'angioplàstia amb baló pel tractament de la malaltia vascular oclusiva. L'stent és una malla tubular que s'expandeix dins l'artèria per tal de mantenir-la oberta, i així permetre el pas del flux sanguini. Dotter va experimentar amb animals fins l'any 1987, quan es va dur a terme el primer implant en l'ésser humà.

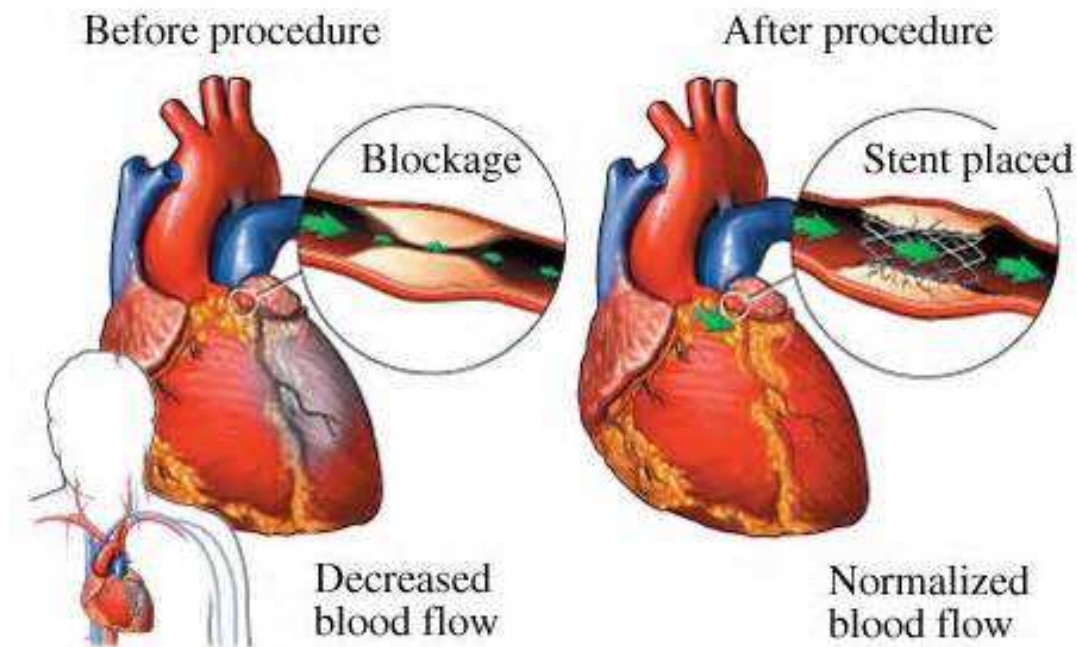


Figura 2.1. Stent Cardiovascular

2.2 Tipus d'stents

La majoria dels stents es poden classificar segons si s'expandeixen mitjançant baló o són autoexpansibles.

Dins d'aquests dos grans grups es poden classificar tenint en compte els següents factors:

2.2.1. Material

El material dels *stents* ha de ser biocompatible i bioimplantable, tenir una bona resistència a la corrosió i ser radio opacs.

Els **expansibles per baló**, han de ser d'un material que es pugui deformar plàsticament per l'acció del globus ja que es fabriquen des de la seva configuració no expansiva, i es deforma plàsticament fins els diàmetre desitjat, després el globus es retira. Les principals característiques a presentar són

- Baix límit elàstic: perquè es deformi plàsticament a les pressions exercides pel globus.
- Alt mòdul elàstic (E): per tenir la menor recuperació després de l'expansió.
- Que s'endureixin per deformació plàstica: per aconseguir una alta resistència.

El material més utilitzat per l'expansió amb baló és majoritàriament l'acer inoxidable però també s'utilitzen, en menor quantitat, aliatge de plató, cobalt,...

Per altra banda, els **autoexpansibles** es fabriquen amb el diàmetre final desitjat, i es comprimeix dins un catèter de menor diàmetre (Figura 2.2). Una vegada que el *stent* s'ubica dins el vas sanguini malalt, el catèter es retira, i el *stent* s'expandeix elàsticament.

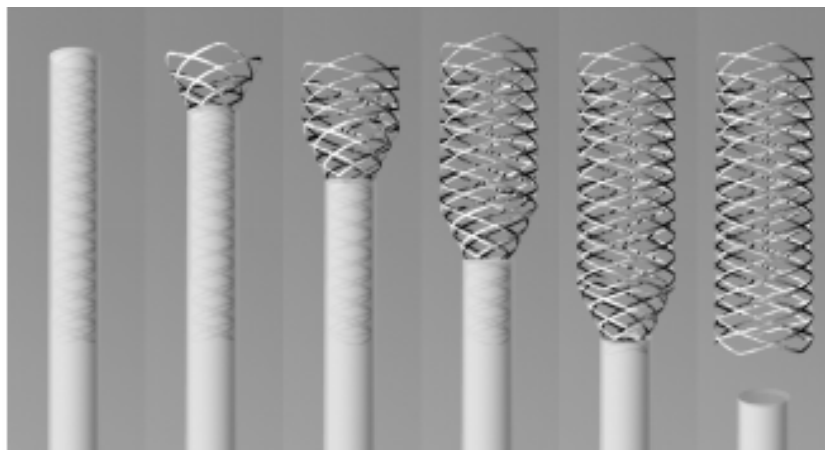


Figura 2. 2. Stent autoexpansible

Per aquest motiu, ha de presentar les següents característiques:

- Baix mòdul elàstic
- Alt límit elàstic: per aconseguir grans deformacions elàstiques (recuperables) i tornar a la seva configuració original (expandida) un cop introduït

Majoritàriament s'utilitzen materials amb memòria de forma com l'aliatge de Nitinol o de cobalt.

2.2.2. Geometria

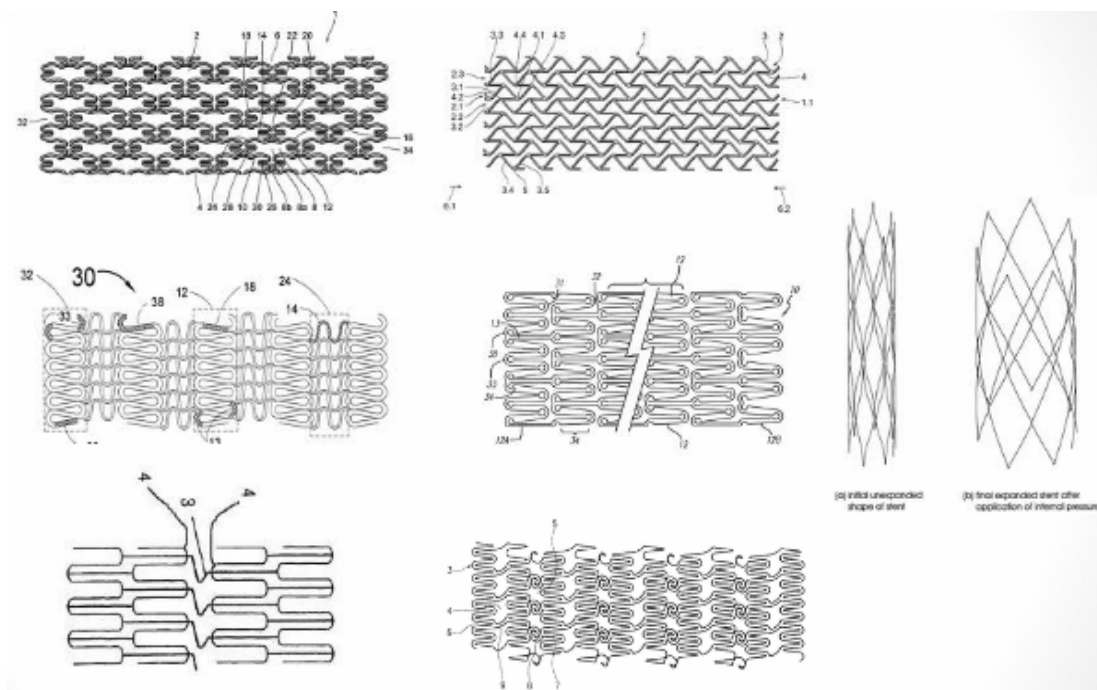


Figura 2. 3. Geometries stent.

La geometria de l'stent juga un paper molt important i aquesta depèn de les característiques del vas sanguini malalt. Es pot classificar en cinc grans grups:

2.2.2.1. Espiral

Aquesta geometria és la més utilitzada pels stent no-coronaris perquè permet la recuperació de l'stent després de l'implant. Destaca per una alta flexibilitat però en contra trobem que la seva resistència es troba limitada pel seu baix coeficient d'expansió.

2.2.2.2. Hèlix

Igual que l'anterior aquesta geometria destaca per la seva gran flexibilitat, per això es pot allargar o comprimir durant la seva col·locació. Degut a que es realitza sense connexions internes o amb les mínimes hi ha una falta de suport longitudinal.

2.2.2.3. Trenat

Aquest disseny s'utilitza normalment per *stents* autoexpansibles Ofereixen gran cobertura però es comprimeixen molt durant l'expansió. Per tant, la resistència de l'estructura depèn de la posició de fixació dels seus extrems.

2.2.2.4. Anells individuals

Són anells que solen estar units a un empelt però els anells no estan units entre ells. Per això no es considera un *stent* per si sol ja que ha d'estar lligat a un altre material.

2.2.2.4. Anells seqüencials.

Aquests representen el 70% dels *stents* del mercat i normalment es troben formats per sèries d'elements expansibles units per elements de connexió. Es classifiquen amb més detall si descrivim les diferents formes d'unió dels elements estructurals:

- Connexió regular: Elements d'unió que connecten els elements estructurals en punts d'inflexió de forma alternada.
- Connexió pic-pic o pic-vall: Es descriuen els punts d'unió entre anells.

2.3 Mètode de fabricació.

L'elecció del mètode de fabricació depèn principalment del material i de la forma de partida que té. La gran majoria d'*stents* es produeixen per tall amb làser a partir de la seva forma tubular. Posteriorment es realitza un polit o electropolit per tal de millorar les característiques de la superfície del material.. Per tal de reduir la zona afectada per la calor, existeix un mètode de fabricació el qual utilitza un raig d'aigua amb components abrasius. I un altre, és el del gravat fotoquímic.

2.3.1. Tractaments superficials.

Els tractaments superficials s'utilitzen per millorar la interacció entre l'implant i el cos.

Els més utilitzats són:

- Recobriment radio opac: Normalment és d'or per millorar la visió de l'implant amb raigs X.
- Recobriment biocompatible. Exemple: Sic, Ta, C,...
- Recobriment amb lliurament de fàrmacs. La majoria de la investigació es basa en aquest punt, molt propi dels *stents* autoexpansibles.

2.4 Angioplàstia amb baló.

El flux sanguini d'una artèria pot patir un estrangulació parcial, o bé total, provocada per un material gras, anomenat placa. Aquest fet es coneix com *aterosclerosi*.

A mesura que augmenta el grau d'obstrucció, es redueix el flux de sang al cor i pot aparèixer un símptoma anomenat *angina de pit*. Amb el temps, l'artèria parcialment o totalment obstruïda pot ocasionar un atac cardíac, entre d'altres malalties que poden provocar la mort.

Una opció per tractar l'*aterosclerosi* és una intervenció quirúrgica anomenada l'**angioplàstia amb baló**.o PTCA

La **PTCA** (Percutaneous transluminal coronary angioplasty) és la tècnica menys agressiva que permet la obertura de l'artèria obstruïda. Implica el desplegament d'un petit globus a l'interior d'un vas bloquejat usant un catèter.

El procediment comença mitjançant una incisió quirúrgica a la zona engonal del pacient, després de ser anestesiada. Després s'introdueix un catèter (una sonda flexible) a través de la incisió, s'usen imatges de raigs X per guiar el catèter fins la zona afectada.

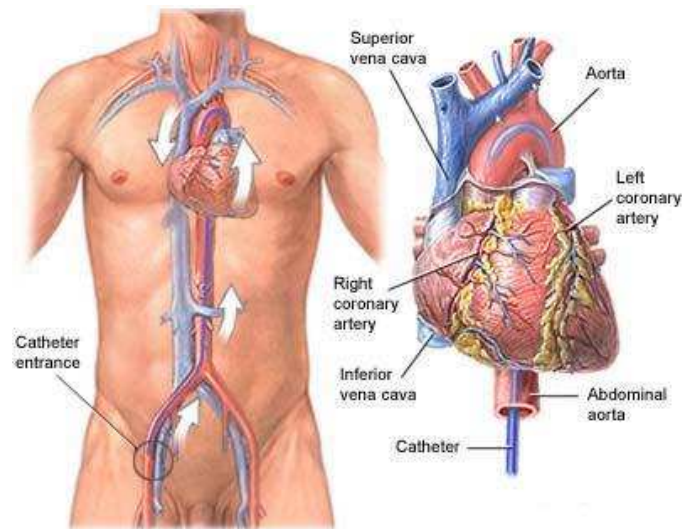


Figura 2. 4. Introducció catèter

Seguidament es passarà un filferro guia a través del catèter fins la zona afectada, aquests filferros guia típicament tenen un diàmetre inferior a 0,4 mm, i serveixen com el vehicle de subministrament per a la resta dels dispositius per a ser lliurats al vas malalt. El primer es retira de manera que el catèter del globus pot ser guiats al lloc de la malaltia. El globus s'infla per eixamplar l'obstrucció i així permetre el pas del flux sanguini

La majoria de les angioplàsties acaben amb la col·locació d'un stent cardiovascular que permet que la zona eixamplada pel globus aguantí oberta durant més temps

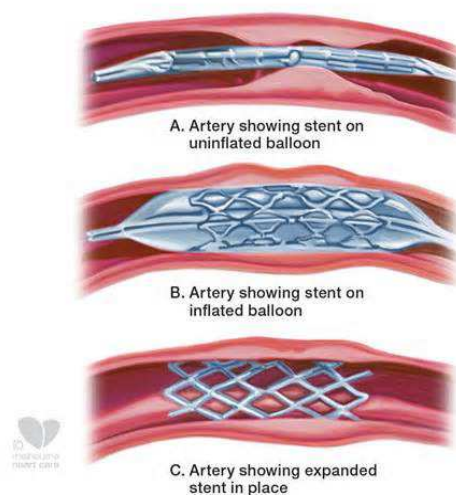


Figura 2.5. Fixació d'un Stent

El procés d'angioplàstia millora àmpliament la circulació de la sang per les artèries en el 90% dels pacients i elimina la necessitat de realitzar un bybass (intervenció quirúrgica molt invasiu i d'alt risc). A més, els pacients poden tornar a la seva rutina normal poc després del procediment.

El principal problema que presenta aquesta tècnica és que no actua sobre la font del problema sinó que només aplica una solució temporal. Ja que en un de cada cinc casos els símptomes tornen a aparèixer passat un temps.

2.5 Inconvenients de l'*stent*.

Com ja s'ha comentat, l'*stent* es una petita malla tubular que es col·loca dins una vas sanguini bloquejat mitjançant un procés d'angioplàstia. Utilitzant un *stent* reduïm més el risc de restenosi, o reobstrucció, de l'artèria comparat amb una angioplàstia sense col·locació d'*stent*. Però, no tot són avantatges sinó que també presenta una sèrie de problemàtiques:

2.5.1. Restenosi

És el problema més important associat a la col·locació d'*stents*. La restenosis apareix quan les artèries tractades tornen a bloquejar-se. Sol passar passats uns sis mesos després de la introducció en el cos del pacient.

La **restenosi** és causada quan comença a créixer un nou teixit dins de l'*stent*. Això és bo perquè la sang circula per l'interior sense estar en contacte amb un material estrany. Més tard el propi cos comença a cicatritzar la ferida que produeix el nou dispositiu, el nou teixit pot arribar a créixer de tal forma que es torni a congestionar l'artèria un altre cop.

2.5.2. Trombosi (coagulació de la sang)

La **trombosi** és la formació d'un coàgul de sang que pot ocórrer dins de l'*stent*, després de la implantació d'un *stent*. Aquest coàgul és provocat per la reacció que es produeix al col·locar un material estrany dins del cos. Per evitar aquest fenomen s'han d'utilitzar materials antitrombogènics o actuar sobre la superfície d'ells per millorar-los.

3.MECANITZACIÓ LÀSER

3.1 Introducció

Una àrea important d'aplicacions de làser en els processos de fabricació és el mecanitzat làser. Mitjançant el control del moviment i de la geometria de la peça de treball, i el sistema de lliurament del feix làser, els làsers poden ser utilitzats per a una varietat d'aplicacions d'una, dos i tres dimensions. Els esquemes dels processos bàsics de mecanitzat làser es presenten a la Figura. 3.1

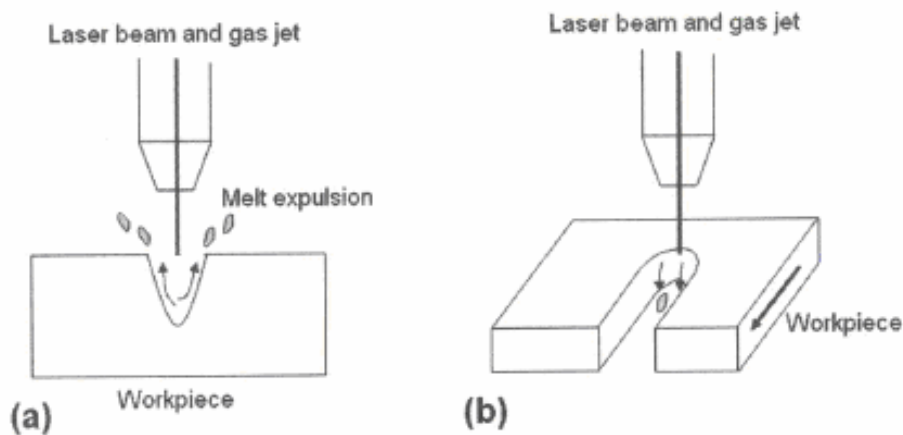


Figura 3. 1.a) Perforació amb làser b) Tall amb làser.

Actualment els làsers s'utilitzen àmpliament en la indústria per a la perforació, tall i conformació de materials. Les operacions de mecanitzat làser són eficients i econòmiques per un nombre d'aplicacions industrials en les que es desitgen grans taxes de producció.

La **perforació amb làser** és particularment útil per a aplicacions relacionades amb la microperforació, on la perforació mecànica convencional no és aplicable o menys eficient. La perforació amb làser es pot aplicar tant per metalls, polímers, ceràmiques o materials compòsits. Presenta certes limitacions pel que fa el diàmetre i la profunditat dels forats perforats amb làser. No obstant això, amb el disseny acurat dels sistemes de perforació amb làser, es poden produir forats grans i amples.

El **tall amb làser** és una tecnologia establerta per al mecanitzat de materials difícils de mecanitzar, com ceràmiques avançades. L'eliminació de material mitjançant tall amb làser es pot fer de diverses maneres (vaporització, expulsió de material fos, reaccions químiques, etc), per tant, amplia els límits de les capacitats de mecanitzat. Tots dos tipus de modes temporals del làser *continuous wave*, el feix làser s'emet sense interrupcions, i: *pulsed*, el feix làser s'emet periòdicament, s'han utilitzat per al tall amb làser, la qual suposa uns avantatges significatius com ara el tall de geometries complexes, velocitats de processament més ràpides, tallar una àmplia gamma de materials, talls nets, etc.

3.2. Tipus d'equipaments làser

Els làsers es poden classificar més fàcilment d'acord amb els seus medis d'acció làser, que es divideixen en tres categories bàsiques segons el definit per la naturalesa del medi actiu del làser: gas, líquid o en estat sòlid.

3.2.1. Làser d'estat sòlid

En el **làser d'estat sòlid**, el medi actiu està constituït de cristalls o vidres dopats amb un petit percentatge de ions amb impureses. El primer làser d'estat sòlid va ser el làser de robí desenvolupat per *Maiman* el 1960. Actualment existeixen vairs tipus de làser en estat sòlid: *Nd: YAG*, *Nd: glass*, *Ti:sapphire*...Entre aquests el més comunament usat en les aplicacions de mecanitzat és el *Nd:YAG* (l' utilitzat en aquest treball de recerca).

3.2.1.1. Làser Nd:YAG

El "**flash lamp pumped Nd:YAG**" té moltes desavantatges. Però, s'han fet grans millores per millorar l'estabilitat tèrmica però la majoria dels sistemes del "lamp pumped laser" a la planta de producció encara requereixen d'un alt nivell de manteniment.

Per això s'està treballant amb el làser de fibra (Figura 3.2.) que ha estat objecte de investigació en els darrers vint anys, des de la seva primera demostració. Arreu del món s'ha explotat el seu potencial, les seves propietats d'emissió i la seva habilitat per generar llum a diferents longituds d'ona.

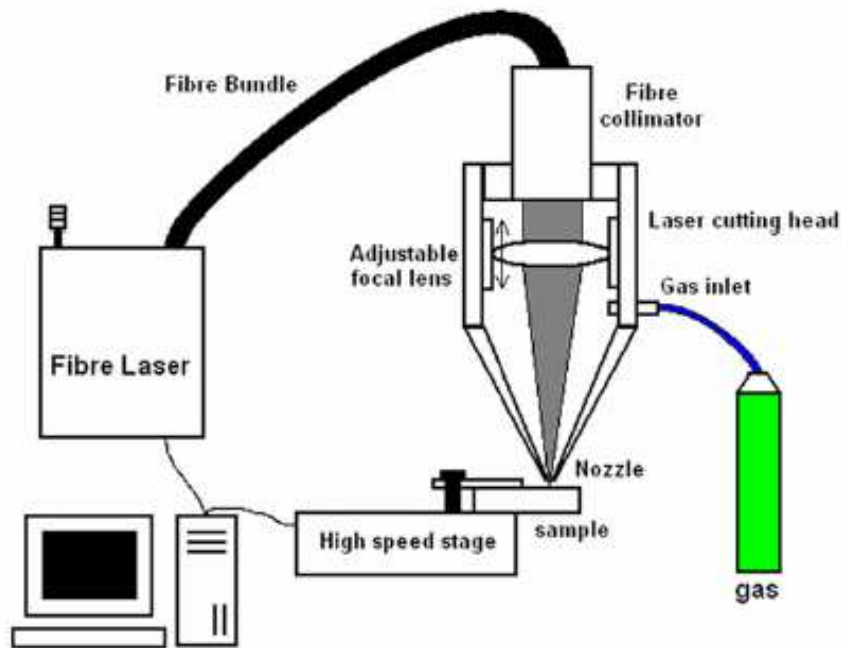


Figura 3. 2. Esquema d'un làser de fibra

El làser de fibra està vist com una potencial nova tecnologia en la producció d'stents, el qual pot minimitzar al màxim les zones afectades per la calor, l'amplada de tall i l'escòria. Les noves versions del làser ofereixen la combinació avantatjosa d'una alta potència amb una alta qualitat del feix.

Les recents millores en la potència mitja del làser de fibra fan que sigui adequat per la micro fabricació de dispositius mèdics. Les avantatges òbvies del làser de fibra es mostren a continuació:

- Dimensions petites i no necessita refrigeració per aigua.
- Alta eficiència de conversió (“wall plug” eficiència per sobre el 15%).
- Alta estabilitat de sortida del làser.
- No necessita gairebé cap manteniment i el temps mitjà entre errors (MTBF) es troba per damunt les 50.000 hores.
- Mode únic del làser de sortida i bona qualitat de làser. El diàmetre del focus és petit resultant d'aquí una alta potència del focus i la velocitat de tall.
- Petita amplada de tall, el que permet una elevada precisió de tall i una petita zona afectada per la calor.

3.2.2. Làser de gas.

En el **làser de gas**, com el seu nom indica, el medi actiu és el gas. Aquests làsers ofereixen avantatges significatius comparats amb els d'estat sòlid. Alguns d'aquests avantatges són:

- El gas actua com a mitjà làser homogènia.
- El gas pot ser fàcilment transportats per a la refrigeració i la reposició
- El gas és relativament barat.

No obstant això, a causa de la naturalesa física dels gasos (densitats baixes), es requereix un gran volum de gas per duu a terme el mecanitzat làser. Per tant, els làsers de gas són, en general, relativament més grans que els làsers d'estat sòlid. Hi ha diversos sistemes làser, però no hi entrarem.

3.2.3. Làser de líquid

El **làser de líquid** són principalment làsers que utilitzen grans molècules de colorant orgànics com a medi actiu.

Els colorants poden absorbir la radiació d'una àmplia gamma de freqüències i estan dissenyats de manera que la freqüència del feix es pot variar, i es diuen "sintonitzables.". Gràcies a aquesta flexibilitat el làser és capaç d'abastar un gran rang de colors (longituds d'ona).

La capacitat d'ajust d'aquests làsers els desitjable pel camp de l'espectroscòpia o aplicacions fotoquímiques.

3.3. Característiques del material mecanitzat

Quan es realitza un procés de mecanització amb tall làser, la peça resultat obté unes característiques pròpies d'aquest tall. Entre les més importants, es poden trobar l'amplada i qualitat del tall, la formació d'escòria, la zona afectada per la calor (HAZ) i la rugositat.

Són paràmetres amb una complexa avaluació ja que les dimensions del tall làser són molt reduïdes i es necessita d'equip qualificat per a la correcta obtenció de les dades

3.3.1. Amplada i qualitat de tall

L'**amplada del tall** és un dels paràmetres de sortida més importants, sinó el que més, en el procés de tall làser. El que interessa és aconseguir una amplada de tall el més reduïda possible el que permetrà realitzar geometries més precises, amb la màxima qualitat i amb la possibilitat de treballar en escales més petites. Com és lògic, el diàmetre del feix marcarà l'amplada del tall, però molts altres paràmetres del procés hi tenen efecte.

Normalment, abans de mecanitzar, es genera el disseny de l'*stent* desitjat en forma digital amb l'ordinador, el qual s'analitza amb elements finits per el seu òptim rendiment. Finalment, aquestes dades es traslladen al procés de mecanitzat làser per realitzar el patró desitjat. En aquest estudi (Meng, 2009), es realitza un disseny CAD (Figura 3.3.) per poder mostrar les característiques del sistema de tall amb làser de fibra. S'utilitza un tub d'acer inoxidable 316L amb un gruix de $110\ \mu\text{m}$ i diàmetre de 2 mm.

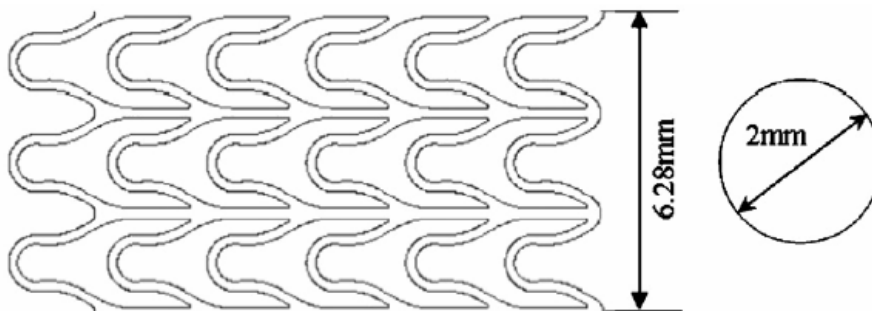


Figura 3. 3 Disseny stent (Meng , 2009)

La Figura 3.4 A mostra l'amplada del tall en funció de la velocitat de tall per diferents sortides de potència del làser, i la duració del pols amb la freqüència del pols. El valor de la freqüència de pols és de 1500Hz, la duració del pols de 0.15ms i la pressió del gas d'oxigen de 0.3Mpa. L'amplada del tall s'incrementa quan augmenta la densitat de la potència de sortida del làser, però també descendeix quan la velocitat de tall augmenta a causa de la baixa densitat de potència i la baixa densitat d'oxigen. A major velocitat de tall, també disminueix la zona afectada per la calor (HAZ). Cal afegir que per a cada potència de sortida hi ha una velocitat de tall màxim.

Per altre banda, es troba la Figura 3.4. B que mostra l'amplada de tall en funció de la freqüència de pols per diferents longituds de pols. La sortida de la potència del làser és de 7W, la velocitat de tall de 8mm/s i la pressió del gas d'oxigen de 0.3MPa. L'amplada

del tall augmenta així com augmenta la duració i la freqüència del pols. Això ocorre degut a que el temps de reacció entre el feix làser i la peça de treball augmenta a mesura que augmenta la longitud de pols. Com també augmenta la freqüència de pols, l'energia per unitat de temps que entra a la peça també augmenta. En altre paraules, si la duració i la freqüència de pols augmenten, la densitat de potència del làser augmenta per unitat de temps.

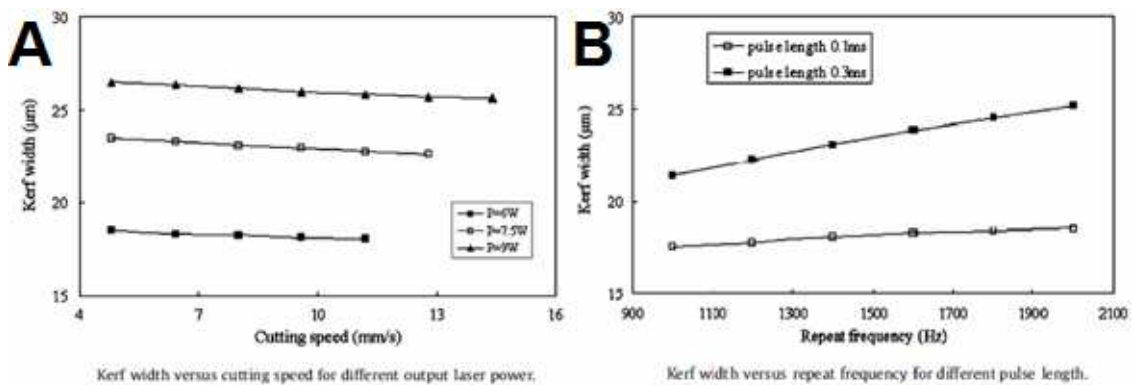


Figura 3. 4 Gràfiques d'estudi de l'amplada de tall (Meng, 2009)

En un altre estudi (Baumester, 2006) s'utilitza un làser de fibra monomode per realitzar l'estudi. S'utilitzen l'oxigen i el nitrogen com a gasos d'assistència amb una pressió de 10 bars. Els resultats s'han avaluat amb un microscopi i amb l'ajuda d'un ordinador s'analitzen els resultats obtinguts, per cada punt de dada s'obtenen un total de vint mesures i s'extreu la seva mitjana i la desviació estàndard. Es defineix el valor de l'amplada de tall com a la diferència mínima entre les dues vores tallades. En aquest cas, el material utilitzat és un acer inoxidable 1.4301 amb un gruix de 100, 200 i 300 µm.

La Figura 3.5 mostra els resultats de l'amplada de tall amb l'oxigen com a gas assistent. Es pot veure que la mínima amplada de tall és de aproximadament 0 un poc menys de 20 µm i s'ha obtingut per als tres gruixos. Aquest punt coincideix amb la mínima potència introduïda a la peça per unitat de temps. El increment de l'amplada de tall es degut al increment de potència per unitat de temps.

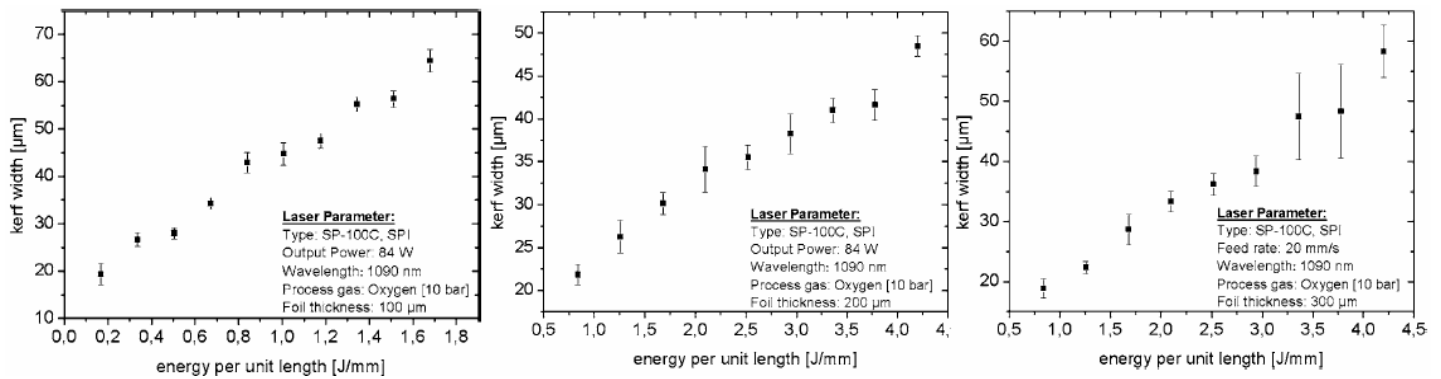


Figura 3. 5 Resultats de l'amplada de tall amb Oxigen

El procés amb nitrogen (Figura 3.6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) com a gas assistent, en principi, mostra les mateixes característiques que amb l'oxigen. El mínim valor de l'amplada de tall s'obté amb el valor més baix d'energia introduïda per unitat de temps. Quan es sobrepassa aquest valor, el de l'amplada de tall augmenta. De totes formes, en comparació amb l'estudi de l'oxigen es pot observar una diferència. Encara que tot sigui igual i només es canviï el nitrogen per l'oxigen, el valor mínim de l'amplada de tall és major amb el nitrogen.

En comparació amb els experiments amb oxigen això es remarcable. Quan s'aplica oxigen és per a augmentar l'energia total disponible, aleshores un podria concloure que amb l'oxigen s'obté una amplada de tall major que amb el nitrogen. Però, en aquest cas el mínim obtingut amb l'oxigen és aproximadament de 10 a 20 μm més petit que amb el nitrogen.

En el cas del micro-tall es té el resultat de que amb una menor energia aplicada originarà una amplada de tall més petita, això es degut a que el material cremat i fos es redueix. En el cas d'utilitzar nitrogen, aquesta energia és exclusivament subministrada per la font làser. Amb l'oxigen l'energia exotèrmica s'afegeix a l'energia del làser. Per això, per obtenir el mateix tall es necessita menys energia amb l'oxigen que no amb el nitrogen.

En ambdós casos, l'energia del làser s'absorbeix homogèniament per tota la vora del tall. Com l'energia exotèrmica es genera per la combustió del material en la vora del tall i els gasos són encalentsats pel feix làser aquests arriben a la temperatura més alta en l'extrem de la part frontal del tall en la regió inferior de la làmina. Com també la calor

es transfereix per diferència de temperatura entre la combustió dels gasos i la base del material, la transferència d'energia exotèrmica predomina en la regió anterior. Per això es pot concloure que la distribució de temperatura en la làmina serà més homogènia en un procés assistit amb nitrogen que no a un amb oxigen.

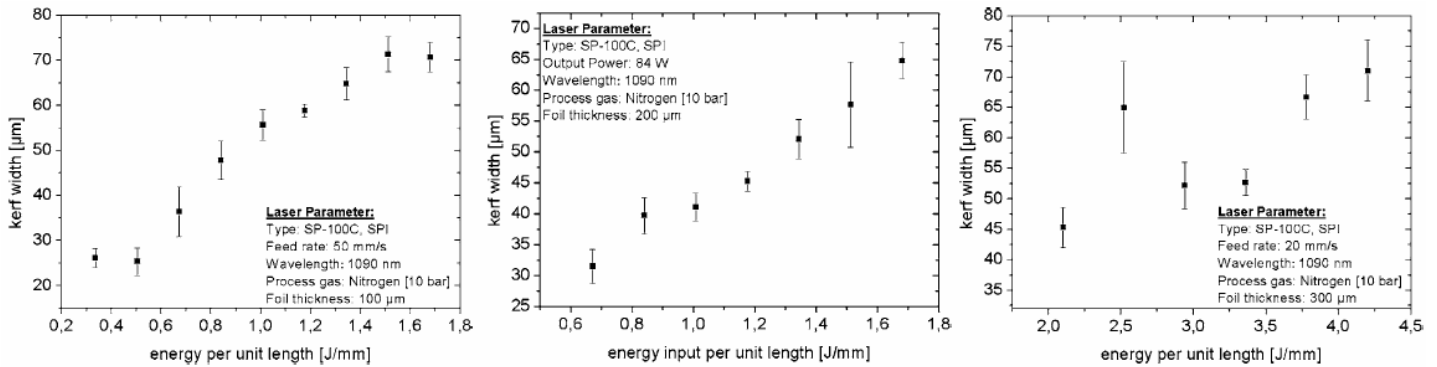


Figura 3. 6 Resultats de l'amplada de tall amb Nitrogen (Baumester, 2006)

En concret, s'extreu que el tall mínim s'ha obtingut amb l'oxigen i es de menys de 20 µm. Per norma general el l'amplada del tall assistit amb nitrogen ha estat més ampli que amb l'oxigen. Però s'utilitza més el procés amb nitrogen que no amb oxigen per el motiu de les distribucions de temperatures en la peça final.

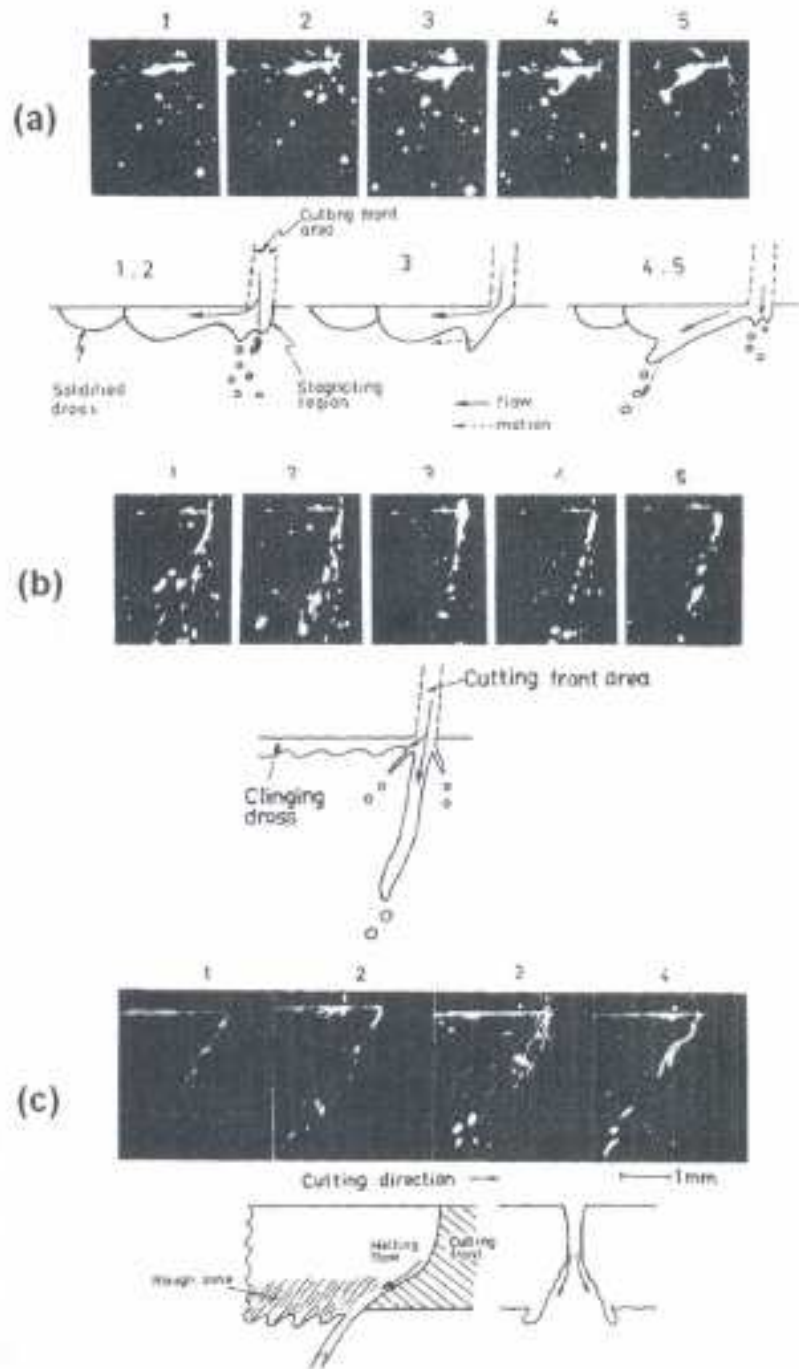
3.3.2. Escòria

La **escòria** es relaciona amb l'expulsió incompleta del material fos des del fons de la entalladura. Per a aplicacions de precisió on és important que les vores de tall siguin netes la formació d'escòria a la part inferior de la entalladura de tall ha de ser controlada.

Això requereix un profund coneixement dels mecanismes de formació d'escòria i dels diferents materials i paràmetres de tall que potencien el control de la formació d'escòria.

El fenomen de la formació d'escòria es va explicar per primer cop per Arata utilitzant un làser de gas i tallant acer inoxidable (Arata, 1981). El flux de fusió des de la part inferior del tall i la posterior adhesió de l'escòria durant el procés de tall es va analitzar utilitzant una càmera d'alta velocitat. La figura 3.7. mostra les imatges i els corresponents esquemes que expliquen el flux de fusió corresponent al tallar 2 mm de gruix d'acer inoxidable amb una potència del làser d'1 kW. A baixa velocitat de tall (1,4

m /min) la majoria del material fos flueix per la part de sota de l'entalladura fins que solidifica, mentre que només una petita part d'aquest material fos és expulsat en forma de petites gotes esfèriques. A una velocitat superior de tall (3 m / min), el flux de material fos sota l'entalladura es redueix i la major part d'aquest és expulsat a través d'un flux continu de material fos. Això correspon a la condició de la quantitat mínima d'adhesió d'escòria. Ja que un increment de la velocitat (-5 m/min) altera el flux de material fos augmentant així la quantitat d'escòria que s'adhereix de nou sota



l'entalladura.

Figura 3. 7 Esquema del flux de material fos (Arata, 1981)
 a) 1.4 m/min b) 3 m/min c) 5 m/min

Per tant, hi ha una velocitat de tall òptima per al qual les vores de tall presenten un mínim d'escòria adherida associada.

Un altre paràmetre a tenir en compte amb l'objectiu de reduir la formació d'escòria és la pressió de gas assistit. La pressió del gas, ja sigui oxigen, nitrogen, argó o heli, és molt important ja que sense aquesta el material fos no seria expulsat i per tant no es produiria el mecanitzat. Com més alta sigui la pressió de gas més s'aconseguirà reduir la formació d'escòria.

Per altre banda, hi ha processos capaços d'extreure total o parcialment l'escòria adherida al material.

L'escòria s'adhereix al material degut a tres raons: el gradient de temperatura causat pel feix làser des de dalt fins a baix de la paret produïda pel tall làser, la divergència del feix làser al llarg de l'espessor del material la qual cosa provoca més material fos a la part inferior i amb l'increment de la profunditat del tall el gas es torna turbulent i provoca que l'escòria s'adhereixi millor al material.

Dit això, esmentarem dos dels processos que s'utilitzen habitualment. Aquests són:

- Tècnica de decapat: El decapat és un tipus de procés de neteja, amb la qual l'escòria inferior o la capa d'òxid superficial s'elimina per atac químic. El decapat s'aconsegueix submergint la part processada pel làser en un tanc que conté HCL (HCL = 7%; FeCl₂ = 8% and H₂O= balance) diluït. El resultat hauria de ser una peça lliure de escòria o òxid. A més d'això l'ús d'ultrasons dins el tanc provoca uns resultats més eficients de decapatge amb la reducció de la temperatura i la concentració d'àcid
- Aiguafort: Bàsicament en aquest mètode, s'ha d'evitar tots els productes que contenguin hidrogen degut a la fragilitat que té amb els materials de prova. Per tant, els millors resultats s'obtenen per atac electroquímic amb un àcid dèbil que contengui hidrogen (FeCl₃). En el cas que es mostra a continuació (Figura 3.8) es veu que amb el processos descrits s'aconsegueix eliminar l'escòria adherida al material

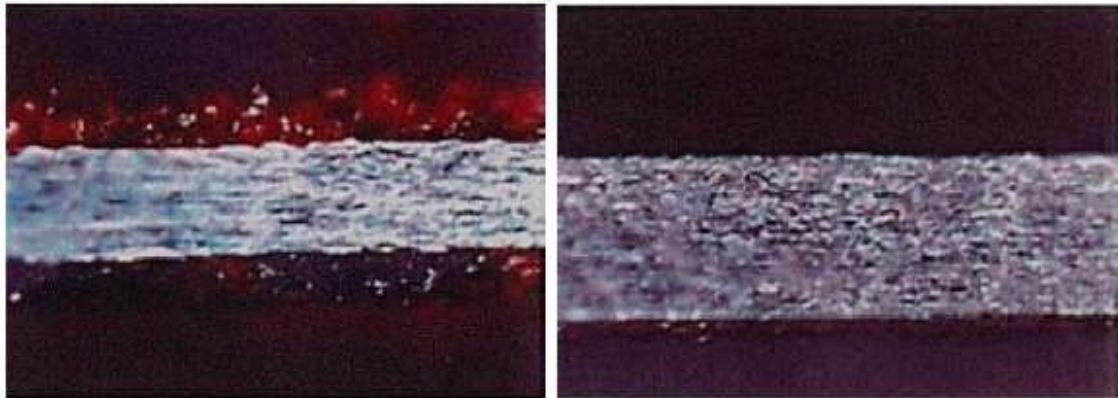


Figura 3. 8 Esq: Escòria adherida; Dret: Després de l'aiguafort

3.3.3. Zona afectada per la calor (HAZ)

El tall per làser s'associa sovint amb efectes tèrmics a la superfície de la entalladura que poden alterar la microestructura i / o propietats mecàniques del material processat. Això comporta la formació d'una **zona afectada per la calor** (HAZ, *Heat-Affected Zone*) a la superfície del tall que pot ser corregida per tècniques de poliment i atacs químics apropiats. HAZ és sovint associada amb efectes indesitjables com la distorsió, esquerdament de la superfície, fragilització, disminució de la capacitat de soldadura, disminució de la corrosió, resistència a la fatiga, etc

Per tant els paràmetres de tall per làser es seleccionen per minimitzar la HAZ La Figura 3.9 mostra una HAZ típica en xapa d'aliatge de titani que es forma durant el tall per làser.

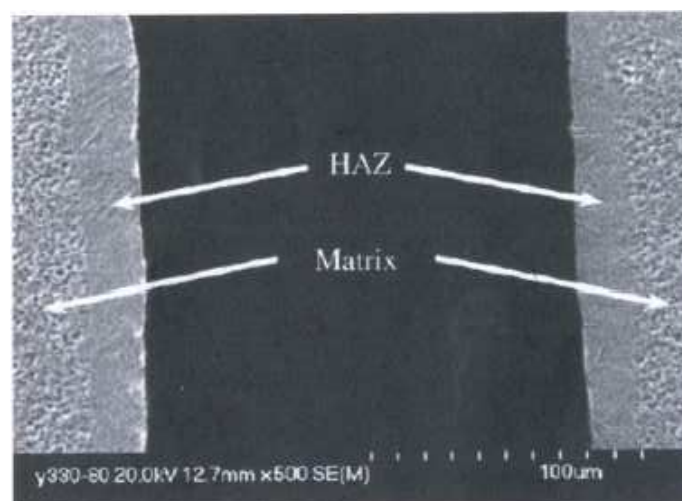


Figura 3. 9. Zona afectada per la Calor (HAZ)

La HAZ es caracteritza per la formació de martensita acicular metastable amb una duresa al voltant de 287-300 HV. En general, la HAZ pot ser minimitzada mitjançant l'augment de la velocitat de tall ja que es redueix la transferència de calor a la matriu

A causa de la complexitat de la relació entre els paràmetres de tall per làser i la qualitat del tall, calen enfocaments estadístics per arribar als paràmetres d'altres significacions. Un estudi paramètric per Rajaram (2003) van considerar els efectes combinats de la velocitat de tall i la potència sobre l'amplada de ranura de tall, rugositat de la superfície (apartat 3.3.4), la freqüència d'estries (apartat 3.3.4), i la mida de HAZ. Els resultats es mostren a la les Figures 3.10 i 3.11.

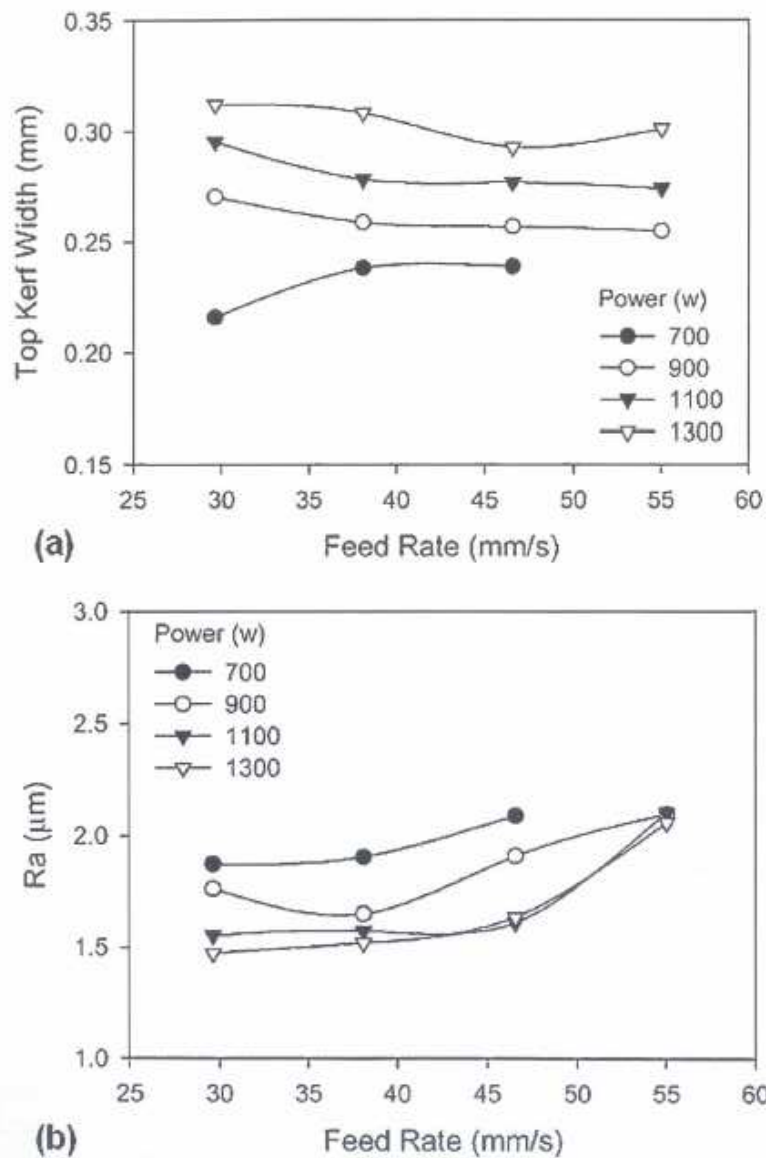


Figura 3. 10. Influència de la potència i velocitat de tall. a) Amplada de tall b) Rugositat

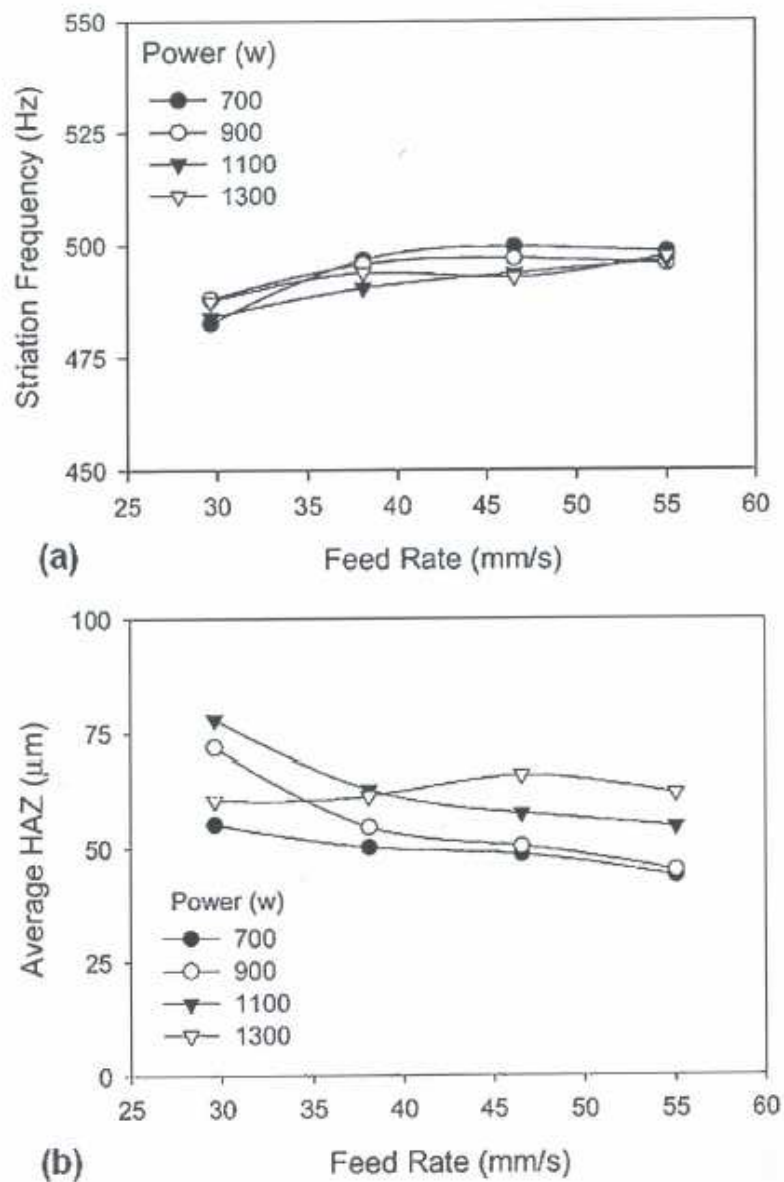


Figura 3. 11. Influència de la potència i velocitat de tall. **a)** Freqüència d'estries **b)** HAZ

Es va demostrar que la potència del làser influeix més sobre l'amplada de tall, mentre que la velocitat de tall té influència sobre la rugositat i la freqüència d'estries. També es va observar que disminuint la potència i augmentant la velocitat de tall aconseguirem disminuir l'amplada de tall i la HAZ, mentre que augmentant la velocitat de tall generalment comporta un augment de la rugositat i la freqüència d'estries.

3.3.4. Rugositat (formació d'estries)

El tall per làser es caracteritza per la formació d'estries periòdiques al llarg de la superfície del mecanitzat. La presència d'estries és indesitjable ja que poden actuar com a elevadors d'esforços, a més dels canvis geomètrics impredecibles, requerint d'operacions d'acabat per aconseguir la superfície llisa.

En seccions primes, aquestes estries són generalment clares i regulars des de la part superior de la vora del tall fins a la part inferior, mentre que en seccions gruixudes aquestes estries poden estar ben definides en la part superior de la vora del tall i arribar a ser més aleatòries cap a la part inferior.

A la Figura 3.12 es veu el patró típic d'estria format durant el tall per làser. La forma típica del patró d'una estria és parcialment el·líptica (Figura 3.13)

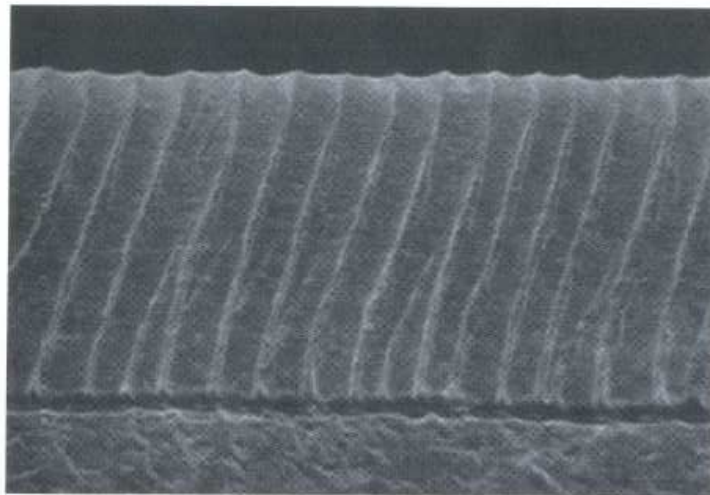


Figura 3. 12. Patró típic d'una estria.

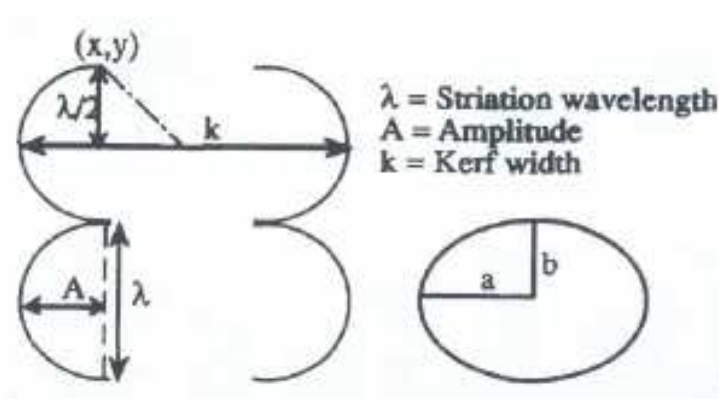


Figura 3. 13. Geometria típica del patró.

Els paràmetres més importants per la caracterització dels patrons de l'estria són la freqüència de l'estria (longitud d'ona de l'estria) i l'amplitud d'aquesta (profunditat de l'estria). Entre d'altres paràmetres de tall, aquests paràmetres es veuen afectats principalment per la velocitat de tall (com s'ha comentat a l'apartat anterior). En general, la longitud d'ona dels patrons de les estries augmenten amb l'augment de la velocitat de tall.

4.DESCRIPCIÓ DELS EQUIPAMENTS LÀSER.

La màquina làser utilitzada en aquest projecte és una Rofin FL x50 laser fibra. És un làser multi-mode que es capaç de subministrar fins a 500 W de potència a 1080 nm de longitud d'ona i un factor de qualitat del feix, $M < 1,1$.

La sortida pot ser modulada amb una freqüència de pols de fins a 5 kHz. La durada més curta del pols és de 26 ms. La mida del punt centrar va ser calculada per ser de 150 micres. La sortida del filtre del gas auxiliar tenia una sortida de 0,5 mm. El capçal del làser es troba integrat en una màquina CNC Kondia que controla el moviment XYZ per ser traslladat al punt del focus del làser.

Tot el sistema integrat i preparat per a la fabricació dels stents es pot veure a continuació (Figura 4.1)



Figura 4. 1. Sistema complet

En aquest apartat es descriuen els components que s'utilitzen al llarg del projecte. Per una banda tenim el làser Rofin FLx50 que és l'objecte principal d'estudi, per l'altra tenim l'utilatge de fabricació d'stents i finalment tenim la Kondia HS1000.

4.1. Kondia HS1000

La **màquina Kondia** és un centre de mecanitzat de CNC (Control Numèric Computeritzat) model HS1000 amb un control Fidia. És el component que proporciona mobilitat al làser al llarg dels eixos cartesianes.

Els tres components principals del centre de mecanitzats són:

- Hardware amb tecnologia CNC
- Taula de treball
- Capçal de la màquina

4.1.1. Hardware amb tecnologia CNC

El **hardware amb tecnologia CNC** (Figura 4.2) és la part que governa el moviment del capçal (moviment XZ) i la taula de la màquina (moviment Y). En aquest projecte només utilitzarem aquest hardware pel centratge de l'utillatge de fabricació d'*stents*, el control de la posició Z del capçal i la posada del zero en peça.



Figura 4. 2. Ordinador Kondia HS1000

4.1.2. Taula de treball

La **taula de treball** (Figura 4.3) és el lloc on es troba l'utillatge de fabricació d'*stents* i el que proporciona el moviment en l'eix cartesià Y, un cop centrat l'utillatge i posat el zero en peça és l'utillatge qui assumeix el control de la coordenada Y. (rotació)

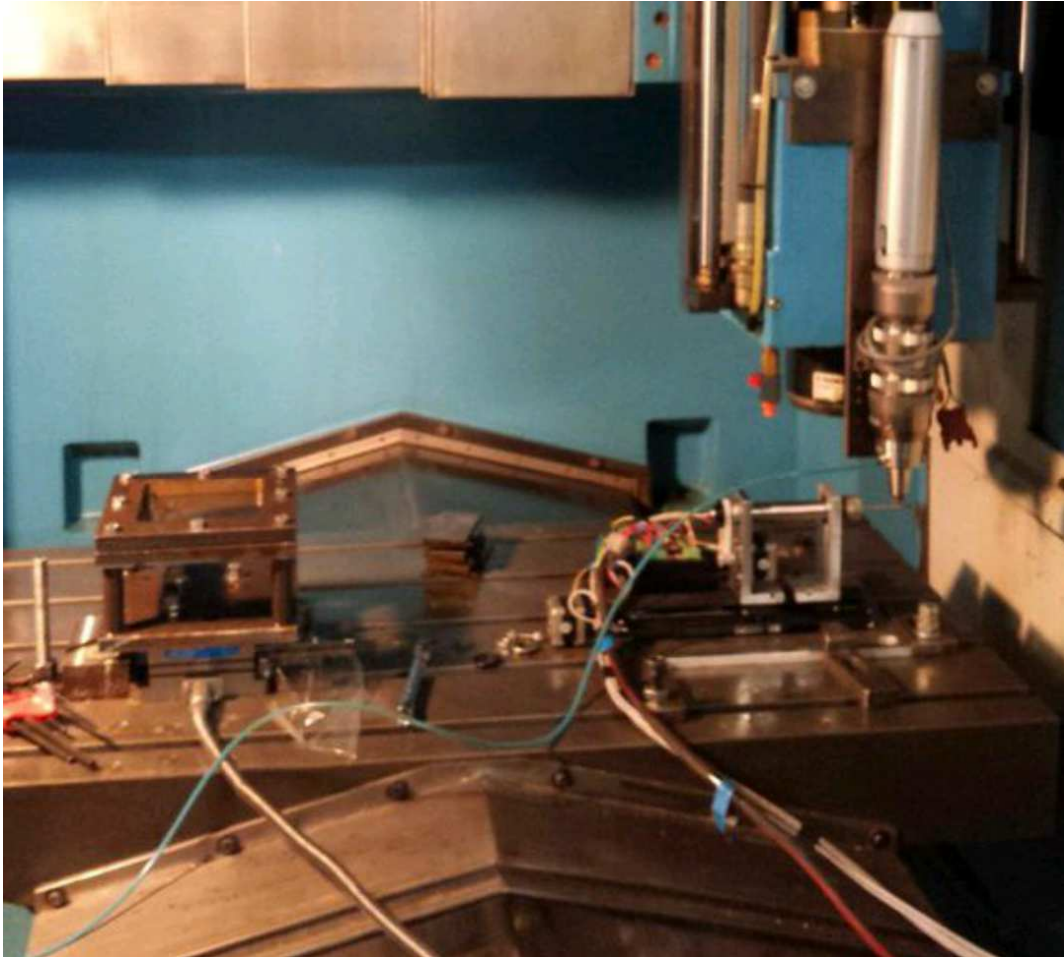


Figura 4. 3. Taula de treball

4.1.3. Capçal de la màquina

El **capçal de la màquina** (Figura 4.4) és l'encarregat de subjectar el capçal làser mitjançant un acoblament amb cargols i de donar moviment en el eixos X i Z. Un cop centrat l'utillatge i fixada la posició Z del capçal, la Kondia ja és pot desactivar ja que l'utillatge assumeix el moviment X (translació) i la posició Z no varia un cop s'ha fixat.



Figura 4. 4. Capçal de la màquina

4.2. Utilatge de fabricació d'*stents*.

L'**utilatge de fabricació d'*stents*** s'utilitza per la subjecció del tub ha mecanitzar de forma horitzontal sobre la taula del centre de mecanitzat (CM). Alhora proporciona els dos eixos de moviment necessaris per tallar un tub: translació (moviment X del CM) i rotació (moviment Y del CM). Els moviments que corresponen posicionament del làser sobre el tub a mecanitzar es realitzen amb els eixos del centre de mecanitzat.

Aquest mecanisme disposa d'un hardware de control independent del de la Kondia i es sincronitza directament amb el làser, disposa d'un pulsador d'engegada i un de parada d'emergència del làser propis. És per aquest motiu que una vegada hem col·locat el capçal a la posició idònia (eix Z) ja no necessitem utilitzar més la Kondia.

Les següents figures mostren els diferents components que formen l'utilatge.

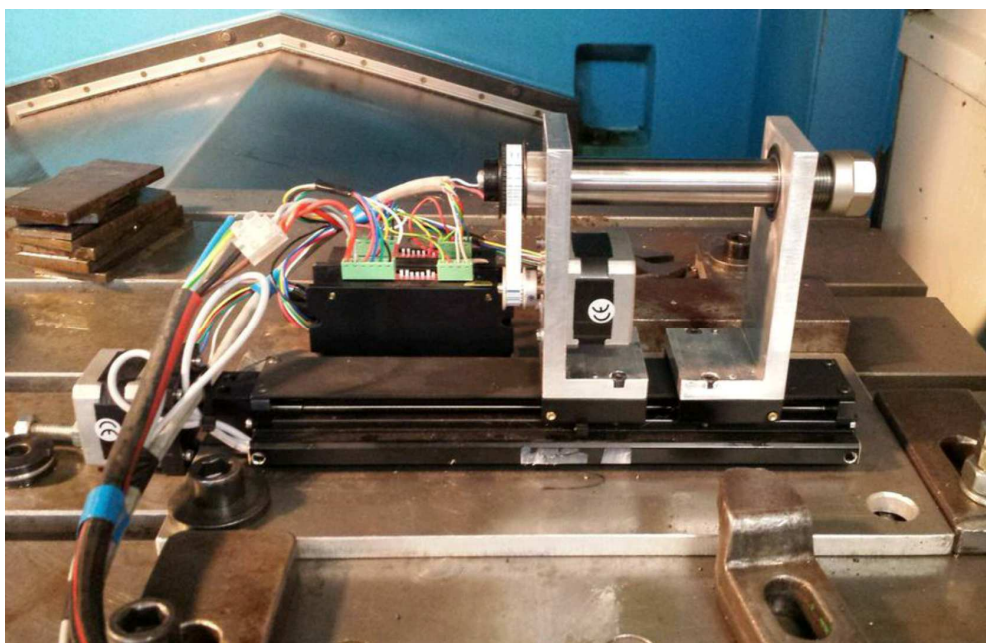


Figura 4. 5. Utilatge de fabricació d'stents



Figura 4. 6. Caixa de control

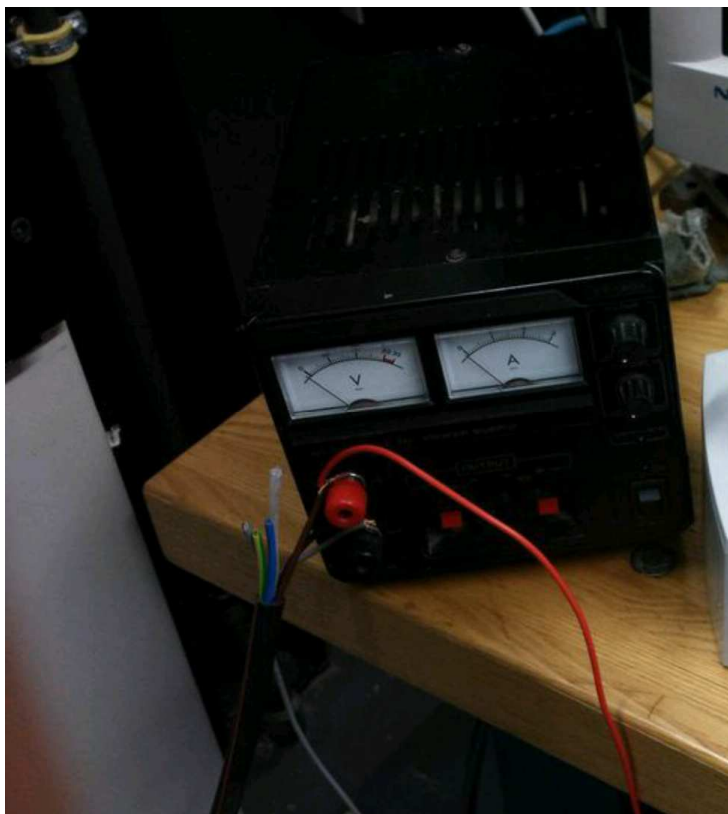


Figura 4. 7. Font d'alimentació motor utillatge

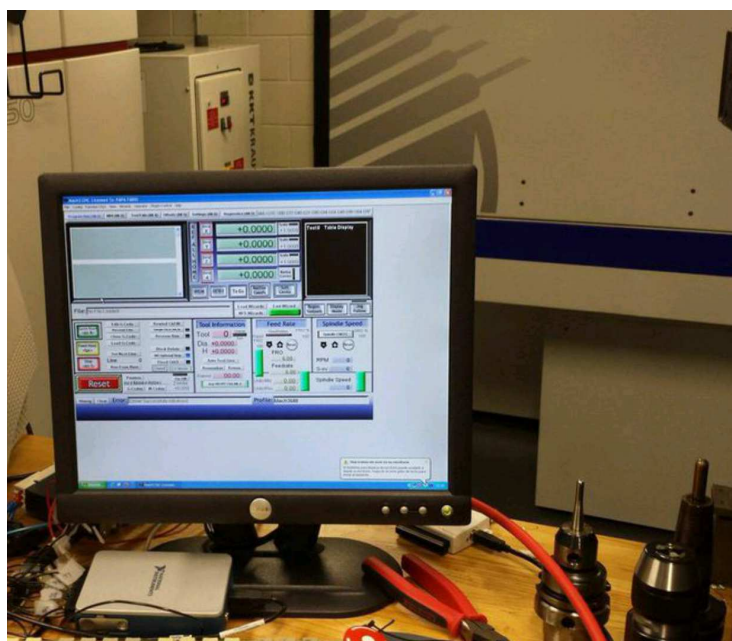


Figura 4. 8. Hardware de control de l'utilatge

4.3. Làser Rofin FL x50

Aquesta màquina és un làser de fibra de la casa Rofin model FL x50. Els làsers de fibra es caracteritzen per tenir un alt rendiment a més de presentar una molt bona qualitat del feix làser amb unes dimensions d'aquest reduïdes. Tot això fa que siguin tipus de làser molt apropiat per a aplicacions de tall i soldadura làser. A continuació es resumeixen els components principals com les característiques del model estudiat.

4.3.1. Components principals

Per aclarir certs aspectes del Làser, es comença explicant breument els components principals d'aquest. Es compona de les següents parts:

- Hardware principal
- Refrigerador Làser
- Fibra
- Capçal làser
- Gas
- Comandament

4.3.1.1. Hardware principal.

És el component principal el qual conté l'ordinador i es controlen tots els paràmetres per poder dur a terme el tall làser. (Figura 4.9)



Figura 4. 9. Hardware principal

4.3.1.2. Refrigerador làser.

Aquesta part s'encarrega, com el seu propi nom indica a refrigerar el làser. S'ha de mantenir en una temperatura entre 15 i 19 °C sobre el punt de rosada per poder funcionar, a temperatura ambient es troba entre 21 i 27°C. En el cas de que no estigui dins aquest rang de temperatures el làser no esta habilitat per treballar, ja que podrien existir anomalies. (Figura 4.10)



Figura 4. 10. Refrigerador làser

4.3.1.3. Fibra.

La **fibra** és el component que transporta el feix làser des de la seva generació fins al capçal. Aquesta proporciona un feix làser de qualitat i una flexibilitat en la instal·lació que no ofereixen altres tipologies de làsers. Aquesta es pot intercanviar per tal d'obtenir i treballar amb diferents diàmetres del feix làser. En el aquest cas es disposa de dues fibres amb diàmetres de 150 i 300 μm . Tots els experiments s'han realitzat amb la fibra de 150 μm sempre amb l'objectiu de treballar amb el diàmetre del feix més petit

4.3.1.4. Capçal làser

Es disposa de dos tipologies de capçals, un permet realitzar aplicacions de sinteritzat làser (SLS) i l'altre permet realitzar el tall de precisió. En aquest cas s'ha utilitzat el segon tipus, el **Fine cutting head** de la marca Precitec, està pensat per realitzar tall de precisió. El capçal conté les òptiques que permeten focalitzar el feix làser

A la sortida del capçal s'hi rosca un broquet que pot ser de diferents diàmetres. L'objectiu d'aquest és concentrar el gas que s'injecta al mateix capçal. Durant tots els experiments s'ha utilitzat un broquet de 0,5mm.

4.3.1.5. Gas

El procés de tall làser acostuma a realitzar-se amb injecció de gas. Aquest gas refrigera la zona de tall a més expulsa el material fos. En funció del material es sol utilitzar un o altre gas. En aquest cas s'ha utilitzat nitrogen tècnic per tallar els tubs d'acer inoxidable. Aquest s'injecta directament al capçal de tall mitjançant una bombona i un manoreductor que en permet regular la pressió.

4.3.1.6. Comandament

És l'aparell encarregat de permetre la actuació entre l'usuari i el làser. És la part que proporciona el canvi de paràmetres, veure l'estat de la màquina, anàlisis d'errors, etc. (Figura 4.11)

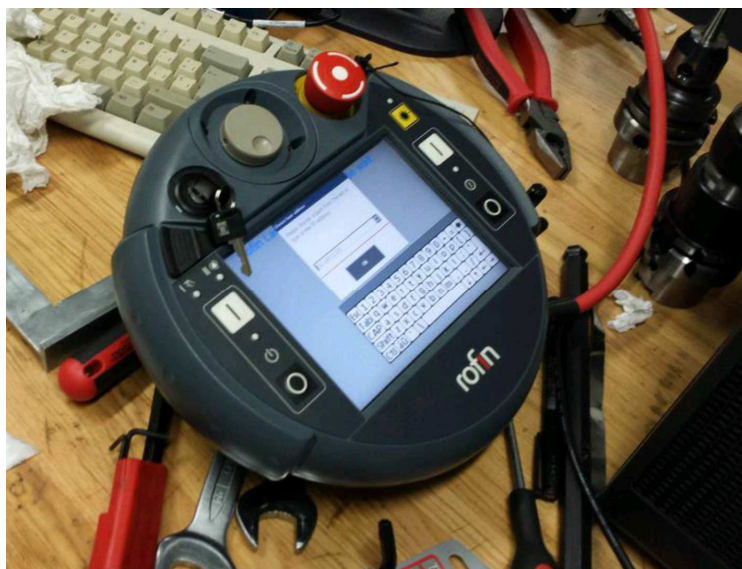


Figura 4. 11. Comandament

4.3.2. Característiques principals del model FL x50 (Taula 4.1)

Dades tècniques especificades		
Potència làser	[W]	500
Rang de potència	[%]	10-100
Estabilitat de la potència làser	[%]	±2
Freqüència de pols	[kHz]	CW-5
Dades tècniques típics		
Longitud d'ona	[µm]	1080±10nm
Excitació		Díodes làser
Dades tècniques generals i requeriments		
Connexió elèctrica		
Valors de servei a l'inici de la vida útil dels mòduls de díodes:		
Potència aparent	[kVA]	4
Potència activa	[kW]	3,6
Intensitat absorbida @400V	[A]	5,8
Valors de servei al final de la vida útil dels mòduls de díodes:		
Potència aparent	[kVA]	4,7
Potència activa	[kW]	4,2
Intensitat absorbida @400V	[A]	6,8
Fusibles	[A]	25
Refrigeració		
Capacitat de refrigeració recomanada	[kW]	≥4
Cabal	[l/h]	2000
Temperatura recomanada (sobre el punt de rosada)	[°C]	15 – 19
Constància de temperatura	[°C]	±2
Pressió d'entrada	[hPa]	≥3000≤6000
Pressió de retrocés	[hPa]	ca. 1000
Òptica de la fibra òptica		
Interfície		QBH/QD
Secció del nucli de la fibra	[µm]	≥50
Longitud de la fibra òptica	[m]	10, 15, 20
Dimensions		
FL Làser		
Amplada	[mm]	1160
Profunditat	[mm]	900
Alçada	[mm]	1735
Dispositiu de refrigeració	[Kg]	Segons fabr
FL Làser	[Kg]	540
Dispositiu de refrigeració	[Kg]	Segons fabr
Interfície dels clients		
Senyals digitals	[V DC]	24
Comandament de potència	[V DC]	0 – 10
Control del trigger	[V]	24, 15, 5 (Gate)

Taula 4. 1. Fitxa tècnica làser Rofin FL x50

5. PREPARATIUS PREVIS ALS EXPERIMENTS.

Per començar el treball amb el làser, es necessita centrar el focus del capçal “*Fine cutting head laser*”, el muntatge alineat de l’utillatge de fabricació d’*stents*, determinar el posicionament focal i experimentar amb els diferents paràmetres a estudiar. .

5.1. Centratge del focus

L’òptica d’enfocament s’ajusta mitjançant quatre cargols d’ajust que es situen transversalment (Figura 5.1)

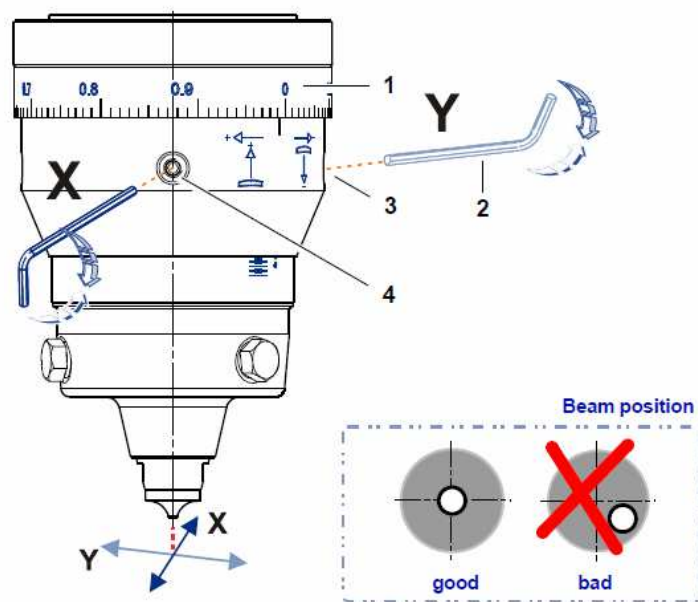


Figura 5. 1. Procediment centratge del focus

Per fer-ho es segueixen les pautes que el fabricant suggereix per realitzar un centratge satisfactori, aquestes són:

1. Es rosca el broquet amb el diàmetre més gran, en aquest cas de 0,8 mm
2. S’enganxa un tall de cinta adhesiva a la part inferior del broquet, és a dir, just a la sortida del làser.
3. Es realitza un pols a baixa potència amb el làser
4. Es treu la cinta adhesiva on es pot veure marcada el contorn del broquet i el forat realitzat pel pols. D’aquesta manera es pot valorar si el sistema està centrat o no.
5. Si cal centratge, s’alineen les lents utilitzant els cargols d’ajustament (3 i 4) del capçal, tal com s’indica a la Figura 5.1.

6. S'utilitza una nova mostra de cinta adhesiva per tal de repetir el procés
7. Es repeteix el procés fins que es considera que el feix està centrat.

Una vegada centrat podem procedir a realitzar els següents preparatius, ja que aquest és imprescindible per fer els següents. A la Figura 5.2 es mostra el número de proves (cintes adhesives) que varem realitzar pel centratge



Figura 5. 2. Proves centratge del focus.

5.2. Muntatge alineat de l'utillatge

Per tal de posicionar i centrar l'equip sobre la taula de la Kondia cal seguir les instruccions que apareixen a l'Annex A

5.3. Posicionament focal.

Tots els nens acaben descobrint la força combinada de la llum del sol i una lupa. La capacitat d'enfocar l'energia del sol a través de la lupa i fer cremar alguna cosa és absolutament fascinant per a ells. Descobreixen que conforme mouen la lupa cap amunt i cap avall, el punt que produeix canvia tant en grandària com en brillant, i en funció d'aquesta distància la fulla necessita més o menys temps per encendre's.

En el cas del làser de fibra es produeix el mateix fenomen, substituint el raig solar per el subministrat per l'equipament làser i la lupa per la fibra làser (lent). Aquestes lents es diferencien per la distància focal que proporcionen, determinen el diàmetre del feix làser, per tant l'amplada de tall, i la profunditat de tall.

5.3.1. Distància focal.

La **distància focal** és la distància des de la lent fins el focus làser, el focus làser és el mínim diàmetre que pot assolir el feix làser, tant per davant (distància superior a la focal) com per darrere (distància inferior) del focus el diàmetre del feix làser es torna a eixamplar. I com ja hem dit d'aquesta en depèn la mida del feix làser (w_2) i la profunditat de tall (b). (Figura 5.3).

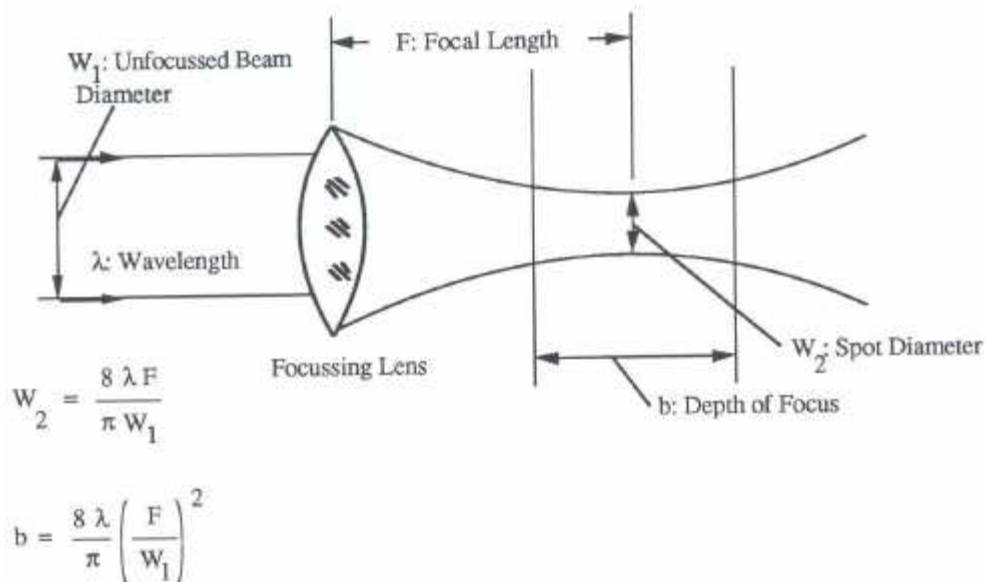


Figura 5. 3. Càlcul diàmetre feix làser i profunditat de tall

Si ens fixem en les dues equacions de la Figura 5.3. veiem que l'única variable és la distància focal (F) ja que la longitud d'ona (λ) i el diàmetre del feix sense enfocar (w_1) són paràmetres constants definits per l'equipament làser. És per aquest motiu que w_2 i b són **directament proporcionals** a la distància focal (F).

Com a regla general es considera que com més precisió de tall és necessita, més curta ha de ser la distància focal de la lent (w_2 petit). En canvi, com més gruixut sigui el material a tallar, més gran serà la longitud d'ona (b gran)

5.3.2. Paràmetres a ajustar

El **posicionament focal** consisteix en ajustar el capçal verticalment mitjançant un anell circular (Figura 5.4) al voltant d'aquest, que varia la distància focal de la lent en passes de 0.1mm. El valor pot variar entre un rang de [-2.5,+0.5] mm partint de la distància focal predeterminada de la lent. Per exemple, si la distància focal d'una lent és de 30mm el capçal permet variar-la dins l'interval [27.5,30.5] mm.

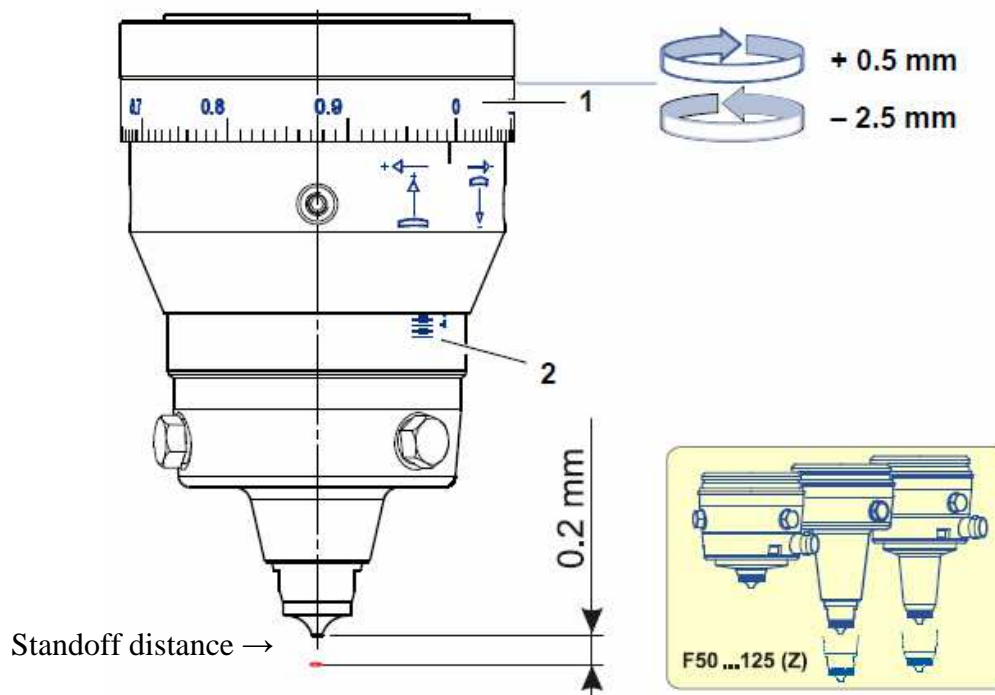


Figura 5. 4. Posicionament focal

Un altre factor a estudiar és la posició de treball (*standoff distance*), que és la distància entre el punter i el material a mecanitzar, encara que el fabricant recomana que sigui de 0.2 mm pot variar de 0.2 a 1.0 mm.

5.3.3. Experiments de posició focal.

Aquest procediment és molt important ja que per estudiar els paràmetres de tall amb les mateixes condicions, necessitem que la distància de treball sigui constant.

Aquesta distància, juntament amb la focal, influeix en la profunditat de tall i com que mecanitzem tubs hem de controlar que la profunditat no sigui tal que foradi ambdós costats del tub. També la profunditat ha de ser suficient com per foradar el gruix del tub per qualsevol potència del làser. Per aquest motiu varem realitzar diferents proves de tall modificant lleugerament aquestes dues distàncies treballant amb la potència més alta que utilitzarem a l'estudi (300 W), ja que si evitàvem foradar ambdós costat amb la potència més alta també ho evitaríem amb les més baixes.

Vam partir d'una distància de tall de 0.2 mm i l'anell en la posició 0 (distància focal predeterminada) a 300 W i vam observar que el tub quedava foradat per ambdós costats (totalment foradat transversalment). Per aquest motiu les següents proves és van realitzar augmentant la distància de treball en passes de 0.1 mm i disminuint la distància focal (per tal de disminuir la profunditat de tall, fórmula Figura 5.3) en passes de 0.5 mm de forma alternada.

Després d'un bon nombre de proves (Figura 5.5), vam determinar que la posició focal experimentalment idònia era per una **distància de treball de 0.5mm** i **una posició de l'anell de -1.5 mm**. Aquestes condicions permetien només foradar el gruix del tub, sense foradar l'altre costat, per tots els valors de potència amb els quals treballrem en aquest estudi.



Figura 5. 5. Proves posicionament focal

5.3.4. Selecció dels paràmetres

Un cop finalitzats els experiments de la posada a punt, només faltava decidir quins paràmetres estudiaríem. Com ja hem comentat als antecedents de la introducció, el juny del 2013, es va estudiar el procés del tall làser mitjançant la realització de geometries stent en xapes d'acer inoxidable on es van treure unes conclusions.

Aquestes determinaven la freqüència de pols òptima era la mínima possible, la potència òptima es situava entre els 200 i 300 W i respecte la velocitat de tall no es va arribar a profunditzar i per tant mantindrem els valors del estudi antecessor. No cal comentar, que el valors escollits per l'estudi del qual continuem la investigació es van escollir científicament.

Partint d'aquí es decideix escollir els següents paràmetres:

- [P] Potència (W): 200, 250 i 300 W.
- [PF] Freqüència de pols (Hz): el valor mínim correspon a 3000 Hz.
- [CS] Velocitat de tall (mm/min): els valors eren 250, 375 i 500 mm/min.
- [Pd] Duració del pols (μ s): 75, 125 i 175 μ s
- [DC] Cicle de treball (%): Obté els valors de 30, 37.5 i 45 %. Paràmetre que resulta del quocient entre la duració del pols i el període d'aquest $[1/PF]$

Pressió del gas (bar): El Làser treballa amb gas Nitrogen (tractem SS316) per refirgerar i eliminar els possibles residus de la xapa de treball. També es manté el valor i és de 6 bars.

La **duració del pols** és el paràmetre que decidim estudiar, en l'estudi antecessor es va mantenir constant a 125 μ s, ja que té influència sobre la profunditat del tall i la qualitat d'aquest. Per tant es van realitzar proves variant aquest valor i es va observar que a menys de 100 μ s la profunditat de tall era mínima, fins i tot per els 300 W de potència no arribava a superar el gruix del tub.

6. ESTUDI DELS PARÀMETRES DE TALL

6.1. Disseny de la geometria

Abans de començar a mecanitzar primer s'ha de crear el disseny de la geometria de l'*stent* en model CAD, per tal de determinar les dimensions i característiques de la malla tubular.

El disseny que decidim estudiar és una malla formada per rombes de 90°, una vegada fet el model CAD ens disposem a crear el codi de control numèric (CNC) en 2D, ja que l'utilitatge s'encarrega de traduir la coordenada Y en moviment de rotació. El CNC, a més de definir la geometria de la malla, s'ha dissenyat de tal manera que després de completar (mecanitzar) tota la malla realitzi un petit tall horitzontal sobre la superfície del tub. Aquest detall ens permetrà mesurar l'amplada del tall de cada prova.

6.2. Presentació de les proves

Es realitzen una sèrie de proves ens les quals es varien els seus paràmetres per tal de buscar la combinació més eficaç a l'hora de fabricar un *stent*.

Es fa un disseny d'experiments complet amb tres factors i tres nivells per cadascun, per tant s'obtenen 27 diferents combinacions (proves). (Taula 6.1)

Prova	P	Pd	CD	CS	PF	P(bar)
1	200	100	30	250	3000	6
2	200	100	30	375	3000	6
3	200	100	30	500	3000	6
4	200	125	37,5	250	3000	6
5	200	125	37,5	375	3000	6
6	200	125	37,5	500	3000	6
7	200	150	45	250	3000	6
8	200	150	45	375	3000	6
9	200	150	45	500	3000	6
10	250	100	30	250	3000	6
11	250	100	30	375	3000	6
12	250	100	30	500	3000	6
13	250	125	37,5	250	3000	6
14	250	125	37,5	375	3000	6
15	250	125	37,5	500	3000	6
16	250	150	45	250	3000	6
17	250	150	45	375	3000	6
18	250	150	45	500	3000	6
19	300	100	30	250	3000	6
20	300	100	30	375	3000	6
21	300	100	30	500	3000	6
22	300	125	37,5	250	3000	6
23	300	125	37,5	375	3000	6
24	300	125	37,5	500	3000	6
25	300	150	45	250	3000	6
26	300	150	45	375	3000	6
27	300	150	45	500	3000	6

Taula 6. 1. Combinacions paràmetres de les proves.

6.3. Anàlisi de les proves

Una vegada fet el procés de mecanització de totes les proves, ens disposem a fer-ne l'anàlisi d'aquestes. Estudiarem l'amplada de tall, degut a la seva importància en els mecanitzats de precisió i el gruix de les branques de la malla, ens permetrà determinar quines proves presenten la geometria més regular (branques de gruix molt similar) i quines s'aproximen més al gruix de branca dissenyat al model CAD.

5.3.1. Equipaments d'obtenció de dades..

Les dimensions del tall làser són molt reduïdes per tant es necessita d'equip qualificat per a la correcta obtenció de dades.

En aquest estudi vam utilitzar el **Microscopi òptic estereoscòpic** (Figura 6.1) que es troba dins les instal·lacions dels Serveis Tècnics de Recerca.

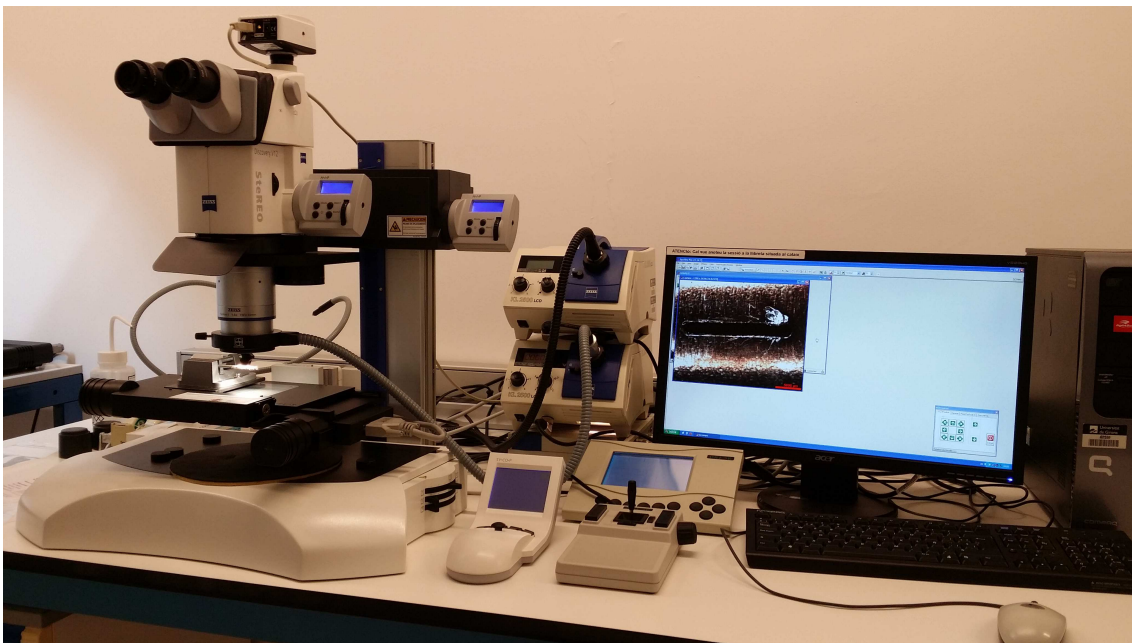


Figura 6. 1. Microscopi òptic

L'observació de la mostra es du a terme fent servir dos camins òptics, un per cada ull. Això permet tenir visió estereoscòpica de la mostra que s'observa.

El programari de control de la càmera digital permet controlar, de manera integral, càmera, enfocament i desplaçaments X,Y de la platina motoritzada. Permet obtenir imatges de resolució i contrast elevats, amb molt bona qualitat d'enregistrament.

Es van realitzar 3 imatges per cada prova; una per mesurar l'amplada de tall, l'altre per determinar el gruix de les branques d'una geometria de la malla (un rombe) i l'altre abastava gran part de la malla per veure l'acabat global de cada prova.

Les imatges de l'amplada de tall es van fer a 25x d'augment útil, les de la geometria a 20x i les de la malla a 12x.

Quan ja teníem totes les imatges, mitjançant un programari (*Quartz PCI*) vam extreure les dades necessàries per fer-ne l'estudi.

5.3.1. Amplada de tall

L'amplada de tall la vam determinar mitjançant la mitjana de diverses mesures preses en diferents trams de la longitud del tall. Les següents imatges es representa el tall que es va realitzar per poder fer-ne les mesures. (Figura 6.2 i 6.3)

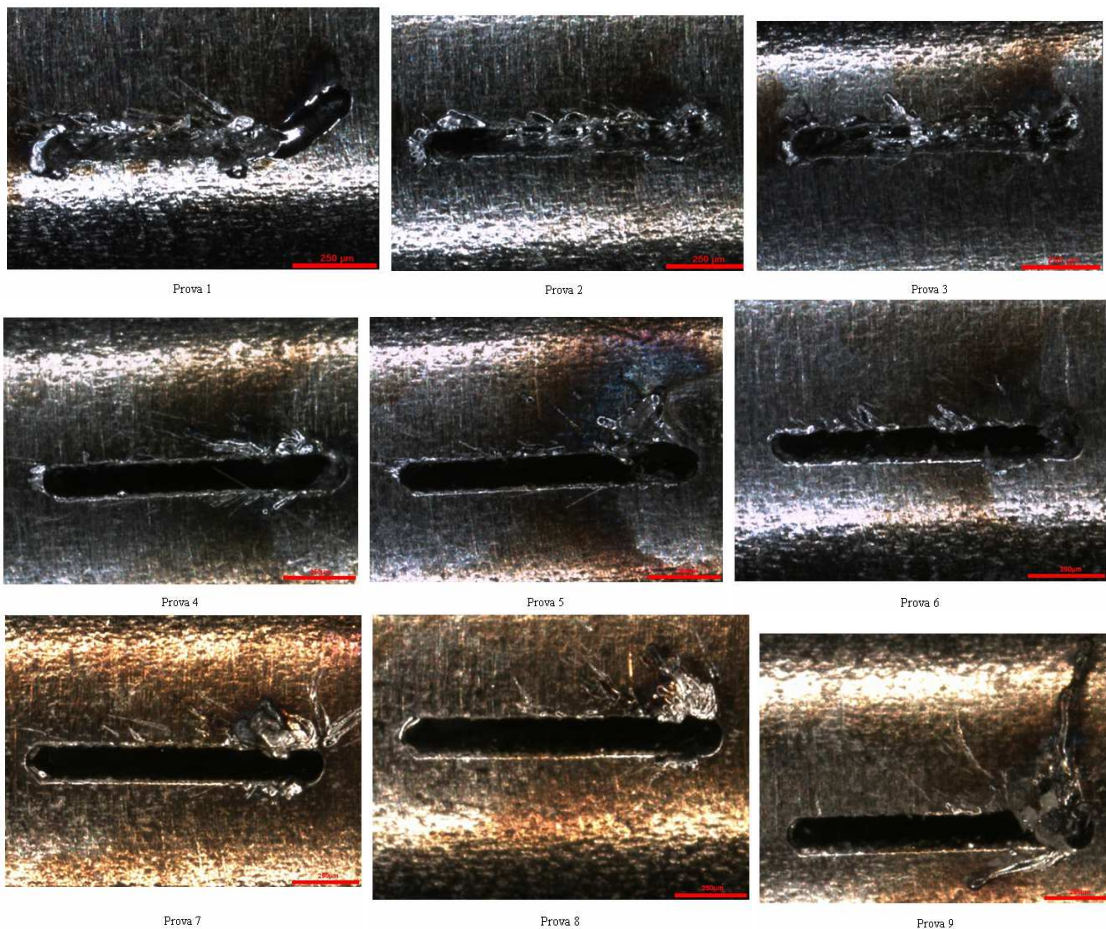


Figura 6. 2. Proves 1-9

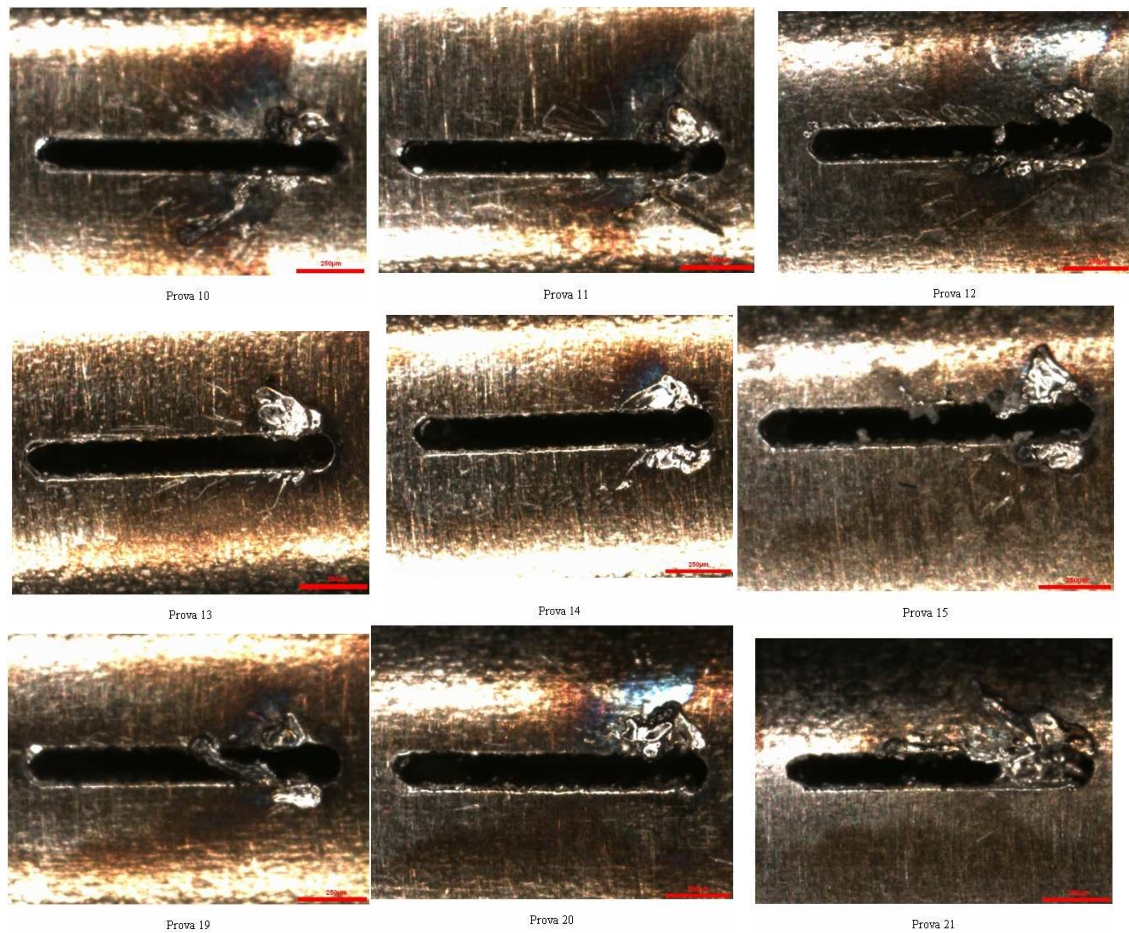


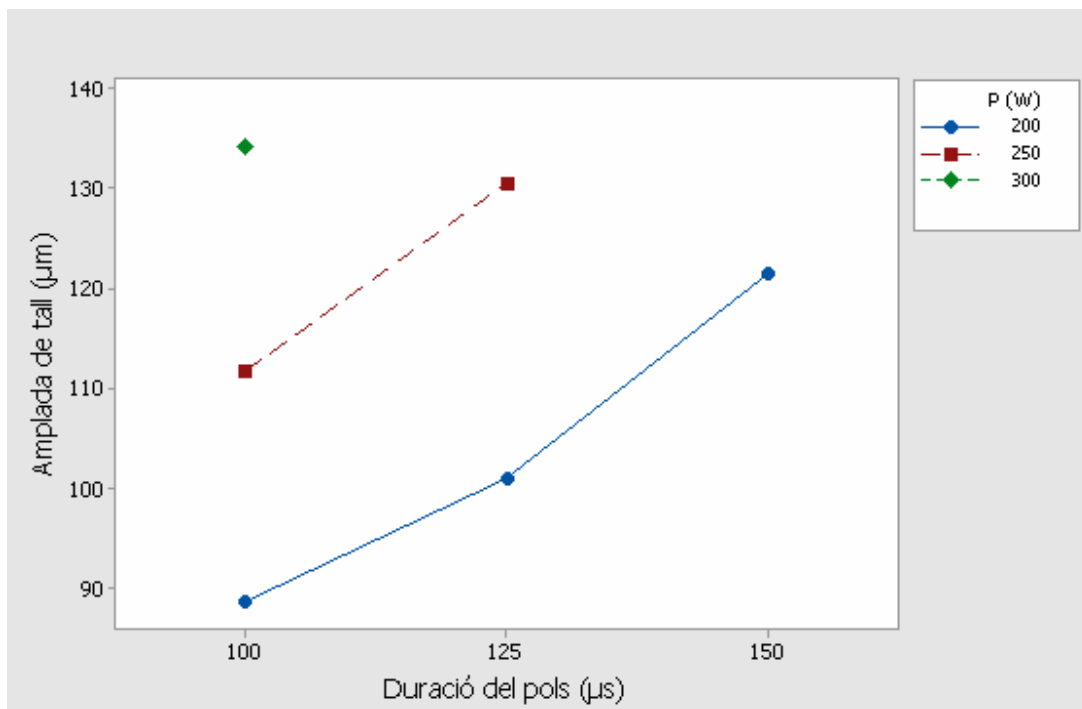
Figura 6. 3. Proves 10-15, 19-21

Només començar l'anàlisi veiem que sis proves queden descartades ja que les seves respectives combinacions provoquen un diàmetre del feix làser molt gran que crema totalment les unions entre geometries (interseccions de les branques) i és per això que el tub durant el mecanitzat s'acaba partint en dues parts. Aquestes proves són la 16,-18, 22-27.

En conclusió queden 18 proves de les quals hem pogut mesura les seves amplades de tall i aquestes es mostren a la Taula 6.2. I d'aquesta l'extraiem dues gràfiques on es representa la dependència de l'amplada de tall en funció dels paràmetres que estudiem (Potència, velocitat de tall i duració del pols) (Gràfica 6.1 i 6.2)

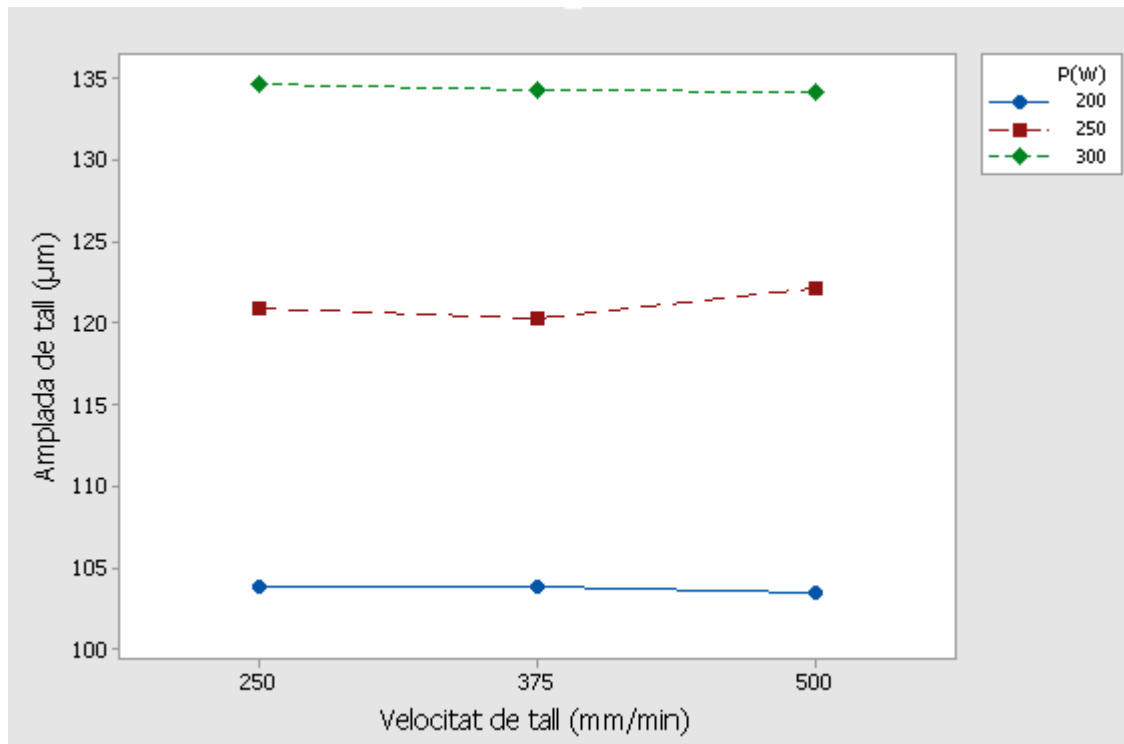
Prova	P	Pd	CD	CS	PF	P(bar)	ampladatall
1	200	100	30	250	3000	6	89,89
2	200	100	30	375	3000	6	89,73
3	200	100	30	500	3000	6	86,10
4	200	125	37,5	250	3000	6	100,05
5	200	125	37,5	375	3000	6	100,81
6	200	125	37,5	500	3000	6	102,18
7	200	150	45	250	3000	6	121,50
8	200	150	45	375	3000	6	120,88
9	200	150	45	500	3000	6	121,88
10	250	100	30	250	3000	6	111,00
11	250	100	30	375	3000	6	110,75
12	250	100	30	500	3000	6	113,38
13	250	125	37,5	250	3000	6	130,88
14	250	125	37,5	375	3000	6	129,88
15	250	125	37,5	500	3000	6	130,75
19	300	100	30	250	3000	6	134,63
20	300	100	30	375	3000	6	134,25
21	300	100	30	500	3000	6	134,13

Taula 6. 2. Amplades de tall de les proves.



Gràfica 6. 1. Amplada de tall vs Duració del pols

μ



Gràfica 6. 2. Amplada de tall vs Velocitat de tall

Observant les dues gràfiques veiem clarament que el paràmetre més influent sobre l'amplada de tall és la potència i que tenen una relació directament proporcional.

Si ens fixem en la Gràfica 6.1 veiem que la duració del pols també condiciona l'amplada ja que com més curt és el pols més petita es l'amplada de tall, per tant també és un factor directament proporcional a l'amplada de tall.. El gràfic de 300 W (verd) és només un punt degut a que la majoria de les proves, sis de nou, a 300 W es van cremar i no en vam poder extreure dades. El mateix passa però en menor influència amb el gràfic de 250 W (blau) però en aquest cas només es van cremar tres de les nou proves.

La Gràfica 6.2 no ens dóna informació sobre la possible dependència de l'amplada en funció de la velocitat de tall.

5.3.2. Gruix de branca

La importància del gruix de la branca recau més sobre l'homogeneïtat d'aquest que no pas la dimensió en si, ja que ens interessa que la malla tubular tingui la mateixa secció. Les següents imatges es veu la geometria de la qual es va mesurar el gruix (Figura 6.4, 6.5 i 6.6)

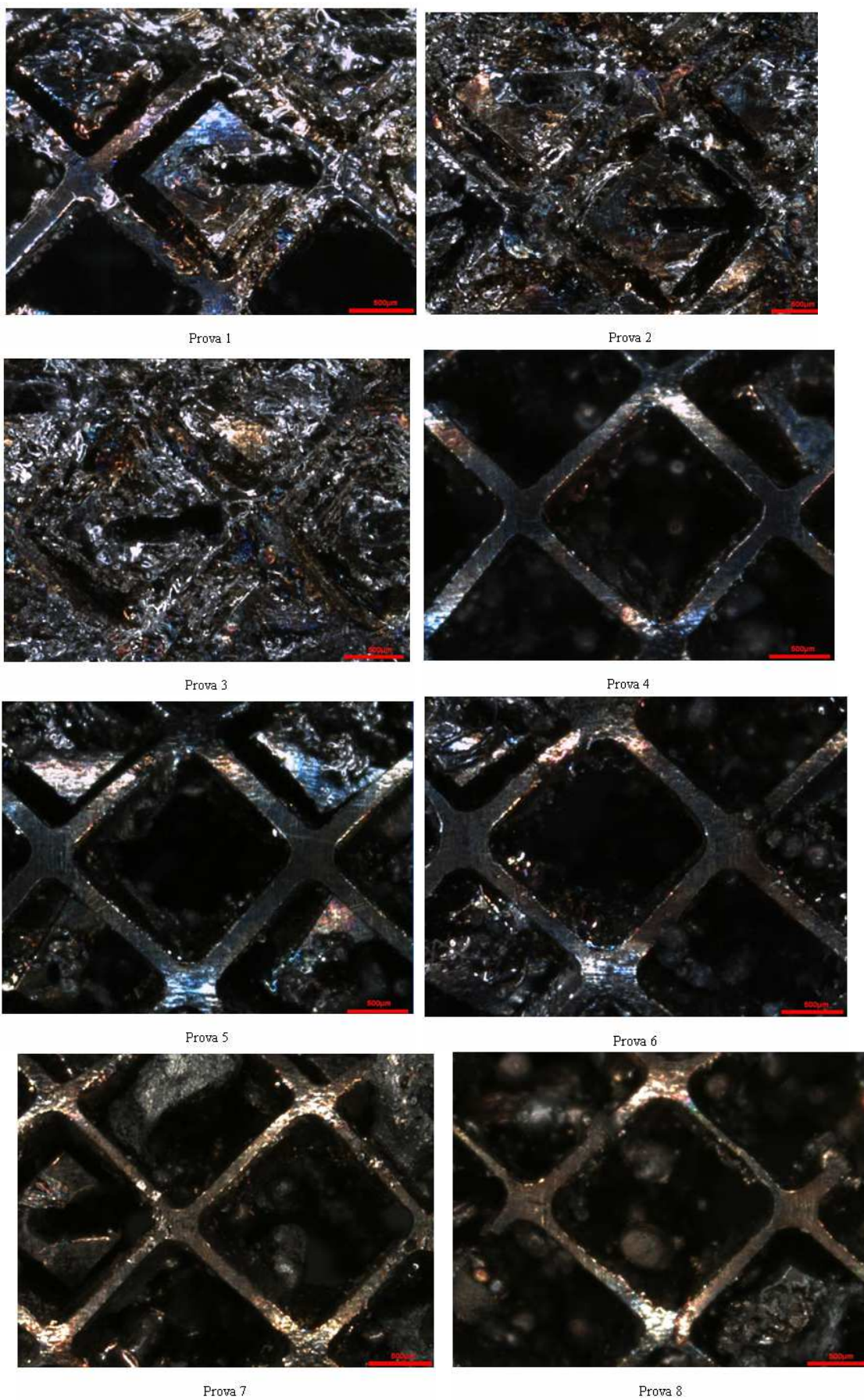


Figura 6. 4. Proves 1-8

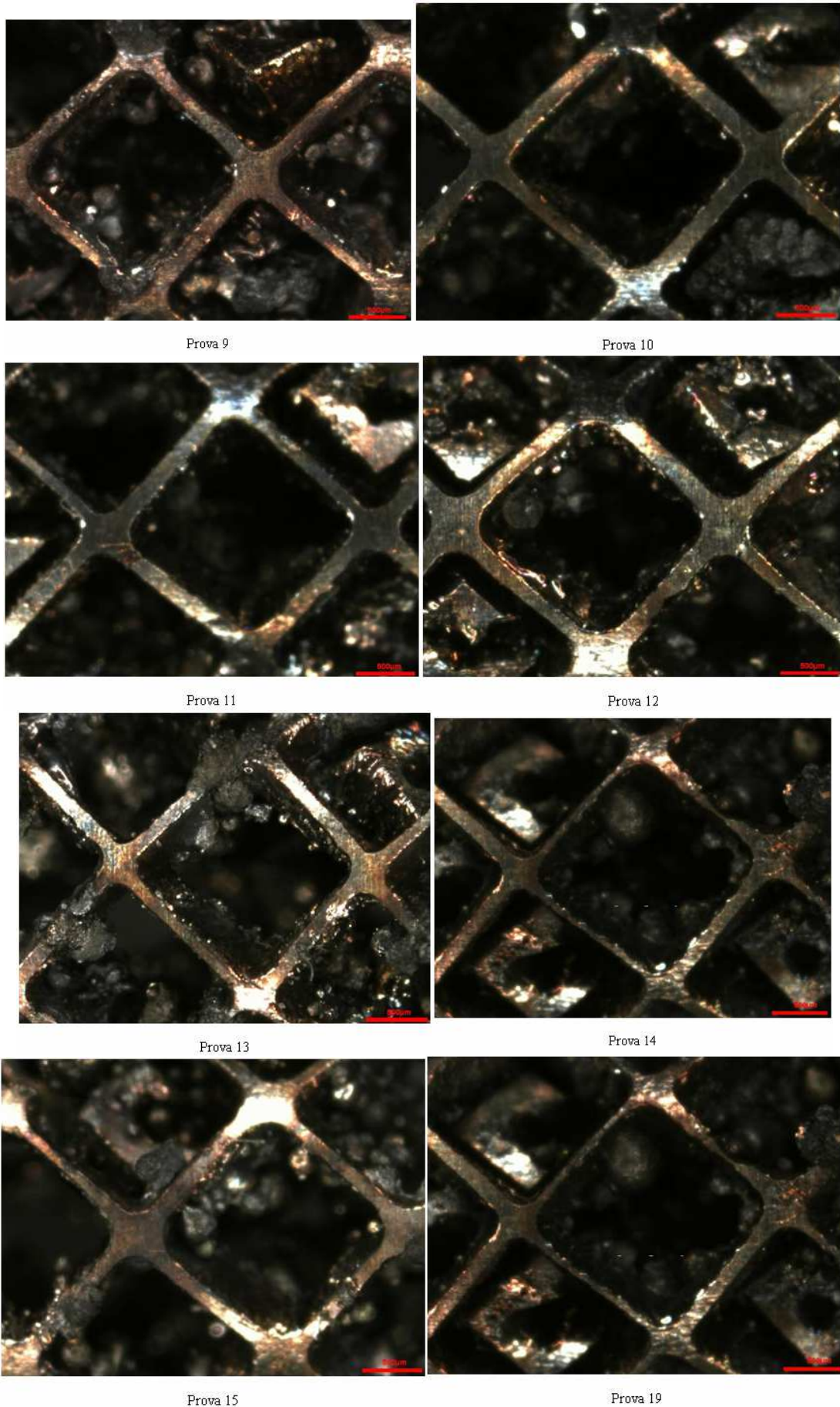


Figura 6. 5. Proves 9-15, 19

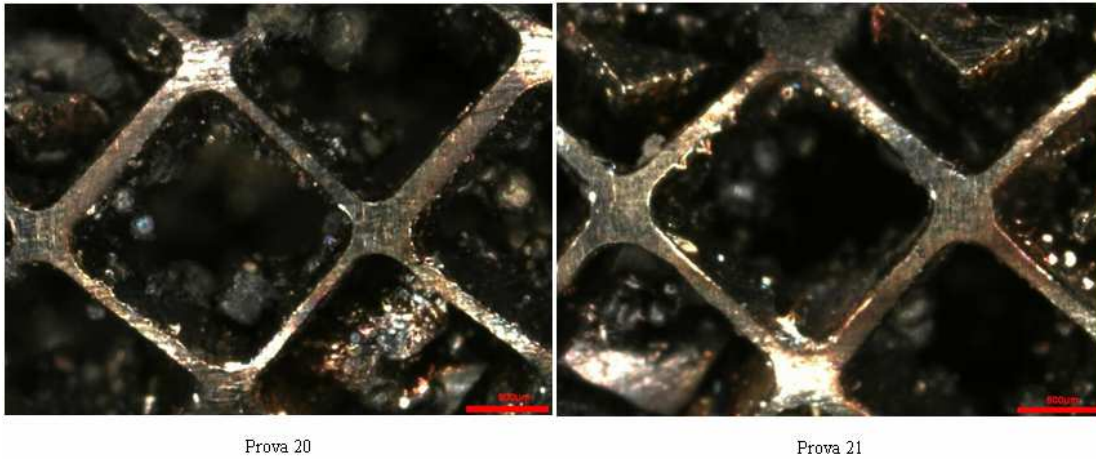


Figura 6. 6. Proves 20-21

El procediment d'extracció de dades que hem utilitzat ha estat:

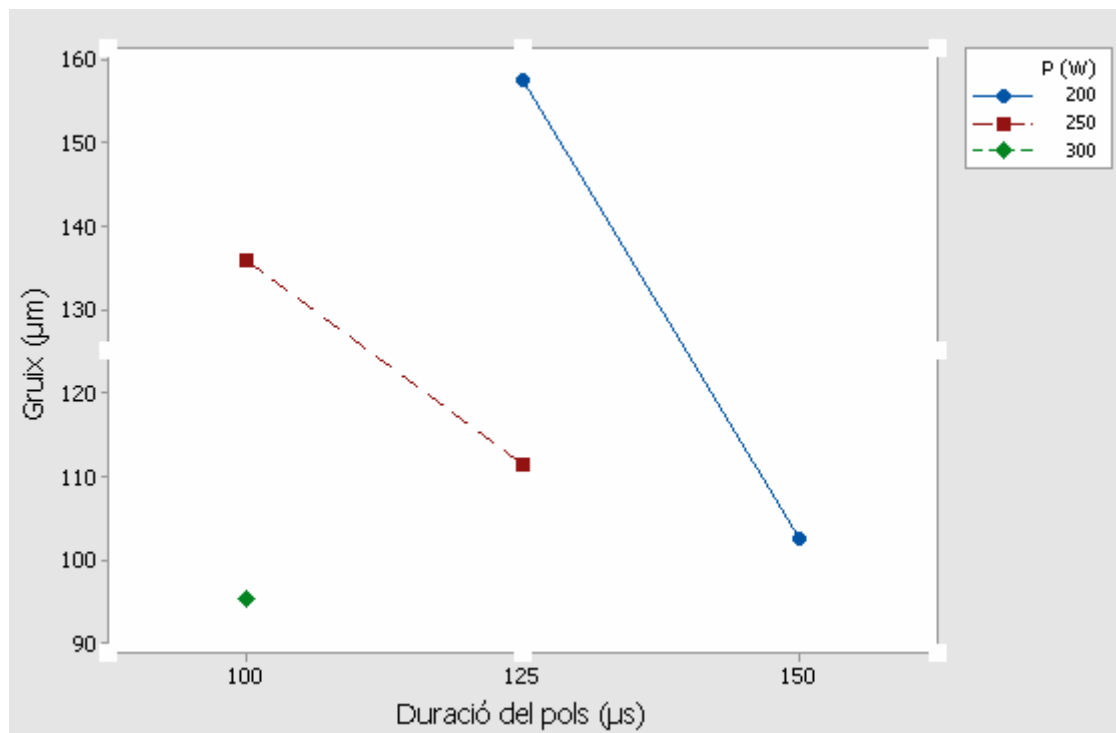
1. Mesurar varies vegades el gruix de cadascuna de les branques (quatre) de la geometria de l'*stent*.
2. Anotar aquestes mesures i fer-ne la mitjana per així obtenir el gruix mitjà de cada branca.
3. Per comparar les dimensions de cada branca entre elles calculem la **desviació estàndard** de les quatre mitjanes obtingudes al pas 2. Amb la desviació podrem veure si les quatre branques presenten un gruix similar (valor petit de la desviació) o diferent (valor gran de la desviació).

Observant la Figura 6.4 veiem que les proves 1, 2 i 3 el làser no ha assolit la profunditat necessària per foradar completament el gruix del tub. Això ha provocat que les geometries de la malla no quedin ben definides i no sigui possible mesurar el gruix de les branques (inexistents en aquests casos).

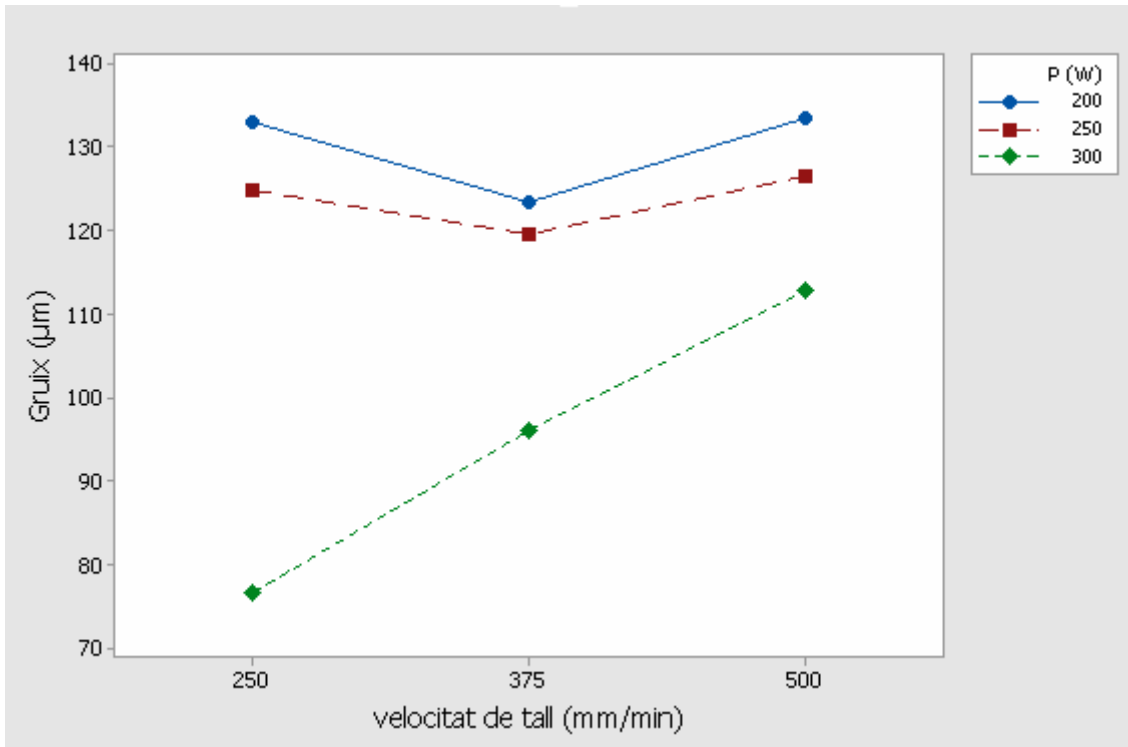
La Taula 6.3 mostra els resultats obtinguts de les mesures, la Gràfica 6.3 i 6.4 la relació dels paràmetres amb el gruix i la Gràfica 6.5 i 6.6 la relació amb la desviació estàndard.

Prov a	P	Pd	CD	CS	PF	P(bar)	Gruix	Desviació
1	200	100	30	250	3000	6	-	-
2	200	100	30	375	3000	6	-	-
3	200	100	30	500	3000	6	-	-
4	200	125	37,5	250	3000	6	162,17	2,84
5	200	125	37,5	375	3000	6	157,08	3,87
6	200	125	37,5	500	3000	6	153,42	5,20
7	200	150	45	250	3000	6	103,83	13,05
8	200	150	45	375	3000	6	89,83	21,66
9	200	150	45	500	3000	6	113,42	19,29
10	250	100	30	250	3000	6	138,67	2,50
11	250	100	30	375	3000	6	134,67	5,49
12	250	100	30	500	3000	6	134,17	3,48
13	250	125	37,5	250	3000	6	111,17	9,07
14	250	125	37,5	375	3000	6	104,25	23,02
15	250	125	37,5	500	3000	6	118,75	10,57
19	300	100	30	250	3000	6	76,67	35,22
20	300	100	30	375	3000	6	96,00	30,73
21	300	100	30	500	3000	6	112,83	13,82

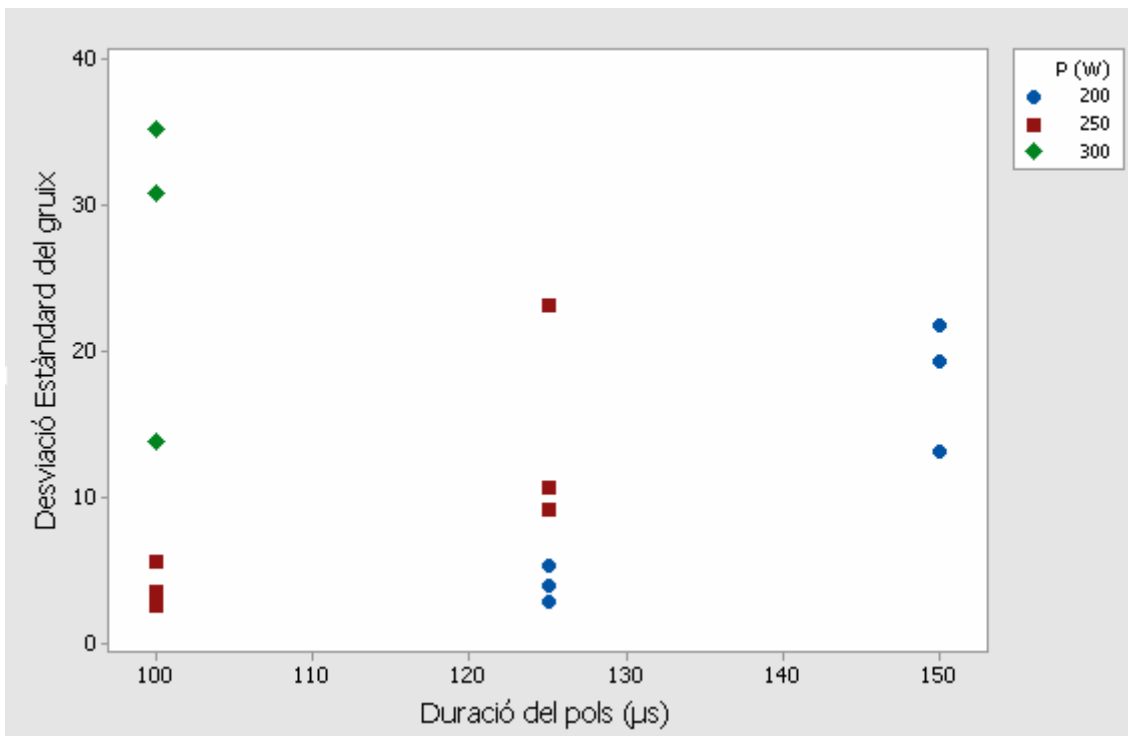
Taula 6. 3.Gruix i desviació de les branques



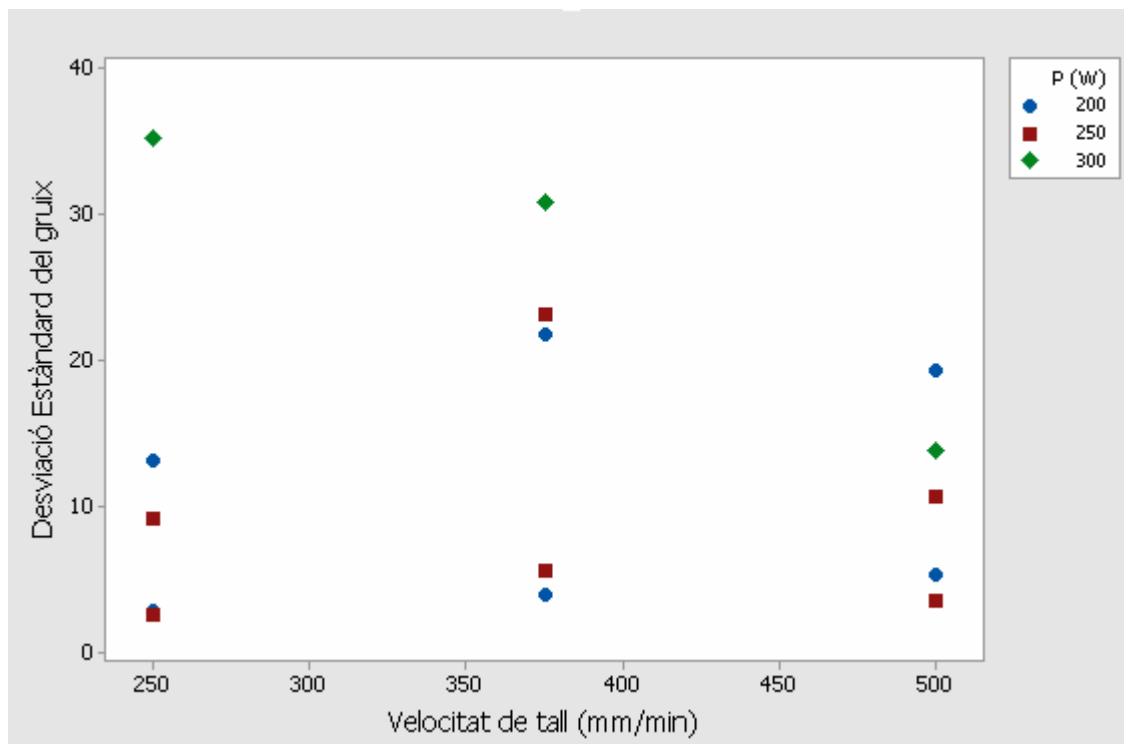
Gràfica 6. 3. Gruix vs Duració dels pols



Gràfica 6.4. Gruix vs Velocitat de tall



Gràfica 6.5. Desviació vs Duració del pols



Gràfica 6. 6. Desviació vs Velocitat de tall

La Gràfica 6.3 ens dona la mateixa informació que la 6.1 ja que com més gran sigui l'amplada de tall més petit serà el gruix de les branques. Si ens hi fixem aquest gràfic és l'invers de l'altre.

Igual que en l'amplada de tall la Gràfica 6.4 no ens transmet molta informació, però aquest cop sí que podem observar que les corbes de 200 i 250 W tenen la mateixa tendència, mentre que la de 300 W és totalment diferent. Les dues primeres presenten un mínim pronunciat aquest mínim correspon a les proves amb duració de pols elevada, fet que fa que el gruix sigui inferior (superior amplada de tall). Pel que la corba de 300 W no en podem treure cap valoració vàlida ja que la potència elevada té una influència molt gran com per distingir les aportacions dels altres paràmetres.

Per entendre els gràfics de desviació, primer hem de saber que ens interessa un valor d'aquesta el més proper a la unitat possible. Si la desviació fos 1 voldria dir que el gruix de les quatre branques seria idèntic, és per aquest motiu que ens interessa un valor de desviació reduït.

Observant la Gràfica 6.5 es torna a demostrar que la potència de 300 W no es pot considerar un paràmetre òptim de tall, ja que els valors de la desviació són elevats (a més de totes les problemàtiques dels casos anteriors). També es veu que per duracions de pols de 150 µs els valors de la desviació són massa elevats.

Respecte la Gràfica 6.6 tampoc en podem treure moltes conclusions sobre la influència de la velocitat de tall.

6.4. Valoració dels resultats

Un cop ja hem interpretat totes les gràfiques que relacionen els paràmetres hem arribat a les següents conclusions:

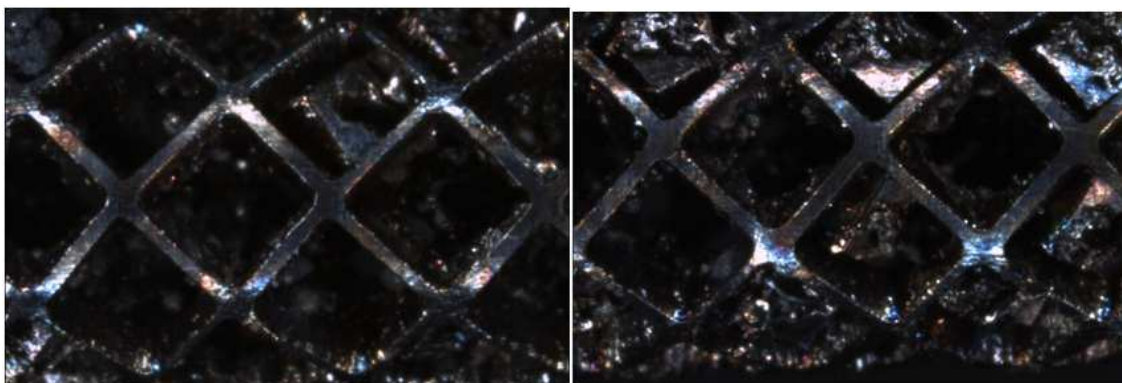
1. La potència de 300 W és massa elevada ja que té una influència desfavorable en totes les proves on s'ha utilitzat aquest paràmetre.
2. La duració de pols de 150 µs també provoca mals resultats degut a que augmenta considerablement l'amplada de tall
3. Les proves 1,2 i 3 no són vàlides ja que la combinació de baixa potència i reduïda duració de pols ha provocat que la profunditat de tall no pogués superar el gruix del tub i en conseqüència no s'ha pogut mecanitzar bé l'*stent*.

Tenint en compte aquests darrers punts, reduïm el nombre de proves vàlides fins a 9 i aquestes són les proves 4, 5,6, 10, 11, 12, 13, 14 i 15.

6.5. Qualitat de l'acabat

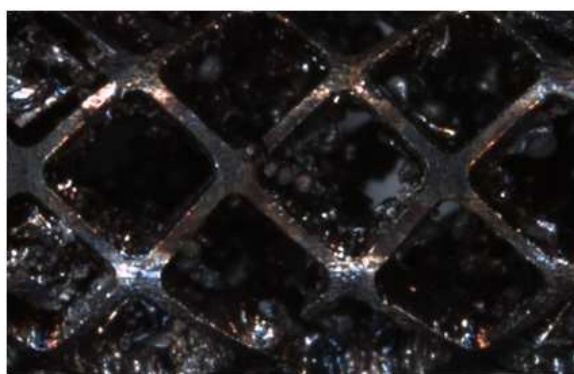
Per acabar el procés de selecció de proves, es vol fer de forma visual ja que amb les dades estadístiques potser se'n ha seleccionat alguna d'errònia. Es fa un seguiment de totes les imatges obtingudes amb el microscopi i s'extreuen conclusions de totes les proves que encara no s'han descartat.

Per analitzar la qualitat de l'acabat un farem mitjançant les imatges on es veuen gran part de la malla tubular. (Figura 6.

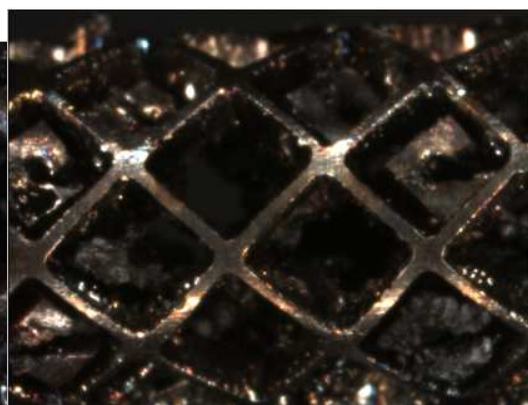


Prova 4

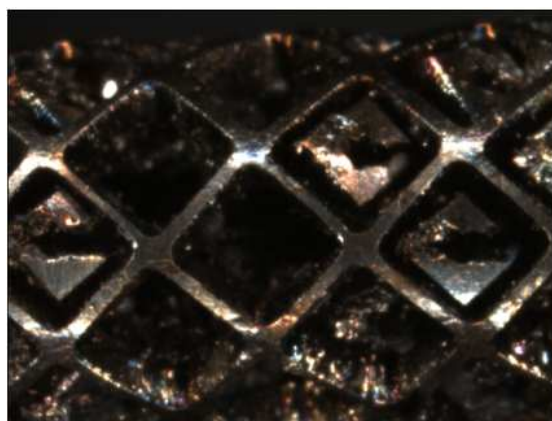
Prova 5



Prova 6



Prova 10

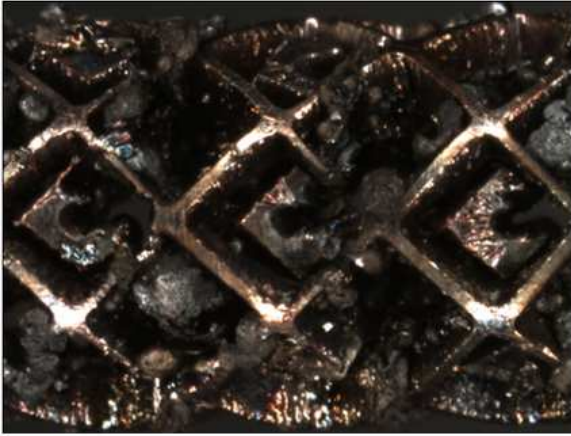


Prova 11

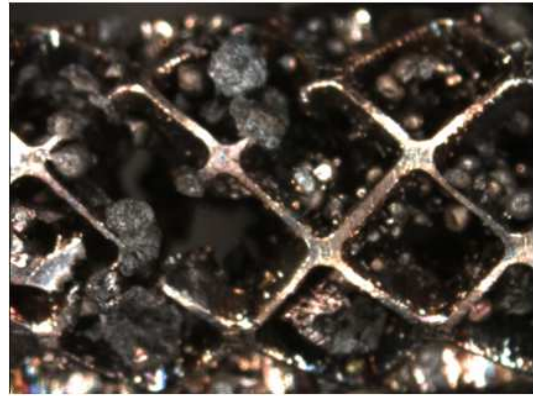


Prova 12

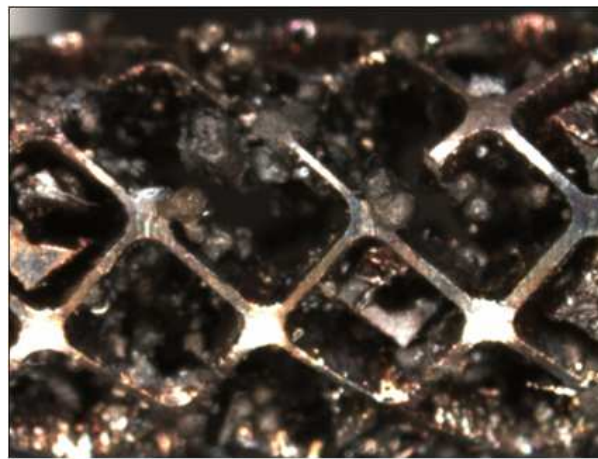
Figura 6. 7. Proves 4-6, 10-12



Prova 13



Prova 14



Prova 15

Figura 6. 8. Proves 13-15

Observant les imatges de la Figura 6.8 veiem que les proves 13, 14 i 15 presenten branques trancades per tant també queden descartades.

Cal comentar que si ens fixem en les imatges de l'amplada de tall (pg. 47-48) veiem que les proves amb alta velocitat de tall (500 mm/min) presenten més escòria al voltant del tall. Això és un motiu desfavorable però no el trobem prou rellevant com per descartar les proves.

6.6. Valoració final

Analitzant més a fons les proves que encara no s'han descartat ens n'adonem que presenten la mateixa combinació de paràmetres a excepció de la potència, les tres primeres treballen a 200 W i les tres darreres a 250 W.

Com ja hem comentat, un aspecte molt important de la mecanització d'*stents* és una alta precisió de tall, diàmetre de feix làser petit, per tant si ens fixem en aquesta condició les proves **4, 5 i 6** són les que presenten millors resultats.

7.ASSAIG DE COMPRESSIBILITAT

En el capítol 2 hem explicat com era el procés d'implementació d'un stent dins el cos humà. Varem comentar que un dels processos, angioplàstia de baló, consistia en dilatar des de dins l'stent mitjançant un globus fins el diàmetre calculat. Aquest procés s'utilitza per l'acer inoxidable ja que presenta un límit elàstic baix i per tant després de l'expansió manté el mateix diàmetre (deformació p`làstica).

Aquest capítol s'estudiarà el comportament que presenten dues geometries diferents, mecanitzades amb els mateixos paràmetres, quan les sotmetem a tracció. Tot i que els stents expansibles es troben sotmesos a esforços diferents a la tracció normal, considerem que els resultats s'aproximaran força.

7.1.Dissenys de les geometries

L'assaig de tracció es durà a terme sobre la geometria de la qual hem fet l'anàlisi de paràmetres de tall (rombes de 90°) i sobre una nova geometria que també és romboïdal però en aquest cas l'angle és de 60° i 120°.

Respecte el disseny del model CAD de la nova geometria varem haver d'adequar-lo de tal manera que les dues geometries presentessin el mateix gruix de branca teòrica el mateix nombre de rombes dins la malla.

Pel que fa el CNC tenim l'avantatge que no es distingeix molt de la clàssica i per tant només varem haver de modificar els valors de les coordenades X i Y de la geometria habitual.

7.2.Equipament d'assaig de tracció.

Tenint en compte les dimensions d'un stent, resulta obvi que les força de tracció no pot ser molt gran ja que sinó no en podríem analitzar els resultats del gràfic. És per aquest motiu que no ens servien les màquines de tracció que disposa el Grup de Recerca en Materials i Termodinàmica ja que són de dimensions de força massa grans.

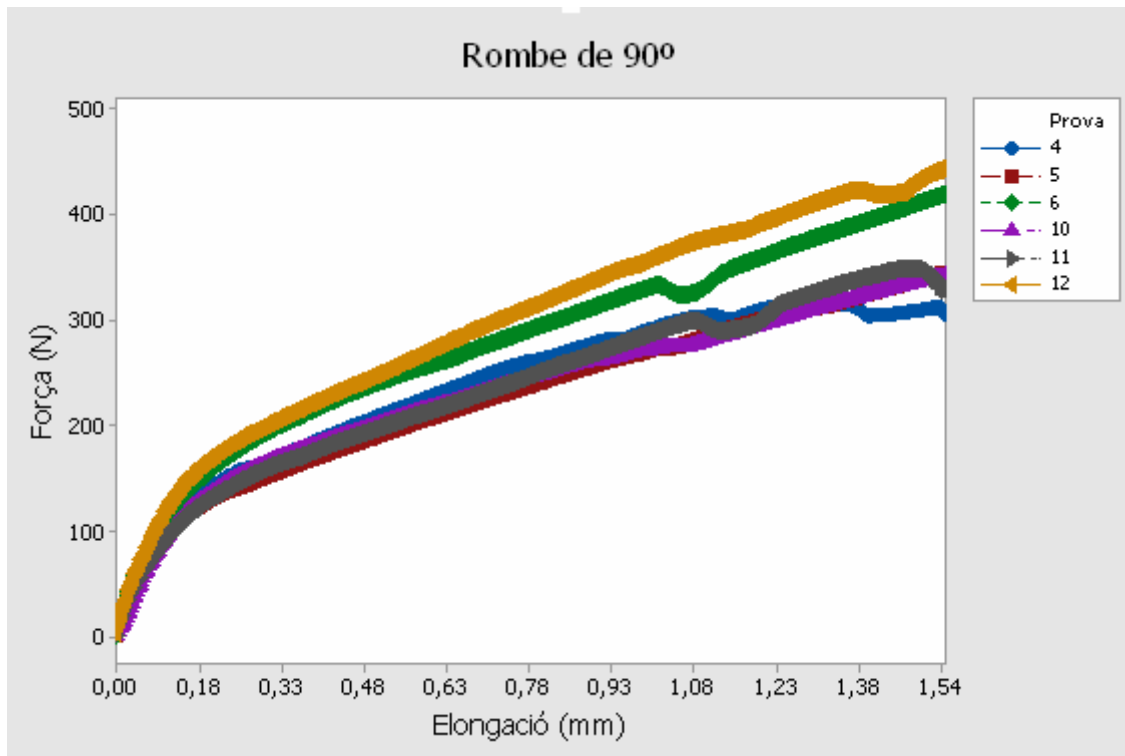
Així doncs l'assaig a tracció el varem fer mitjançant la **Màquina Universal d'Assajos Instron** (Figura 7.1) que disposa el grup de recerca de Laboratori d'Enginyeria Paperera i materials polímers.



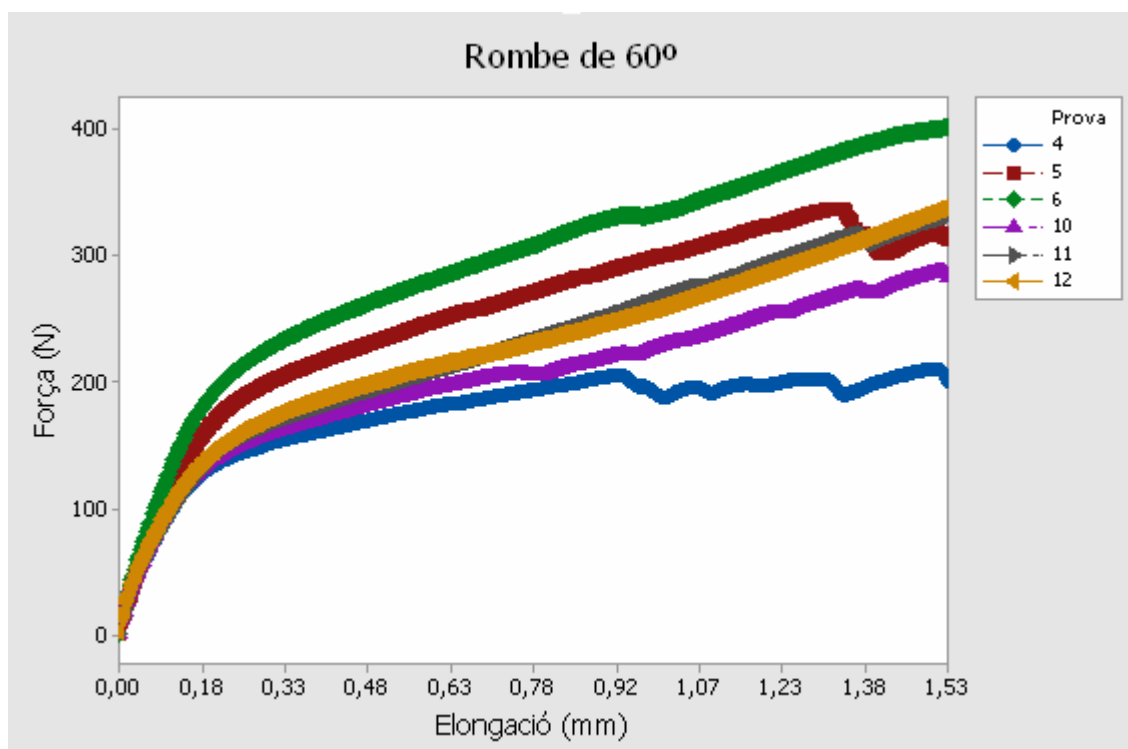
Figura 7. 1. Màquina Universal d'Assajos Instron

7.3. Anàlisi de l'assaig de tracció..

L'assaig a tracció es va fer sobre les proves amb el millor acabat aquestes són les proves 4-6, 10-12, ja que les altres tenien masses branques trancades. També es va realitzar un assaig a les proves 7 i 13 per demostrar que aquestes proves i les que només en varia la velocitat de tall no eren aptes per l'anàlisi a tracció ja que es partien amb massa facilitat. iuals es va aconseguir mecanitzar una malla tubular per tant, les proves 1-3, 16-18 i 22-27 no es tenen en compte. Es van fer dos assajos per cada prova i geometria diferent. La Gràfica 7.1 mostra el comportament de les proves de 90° i la Gràfica 7.2 el de les de 60°.



Gràfica 7. 1. Força-Elongació. Geometria 90°

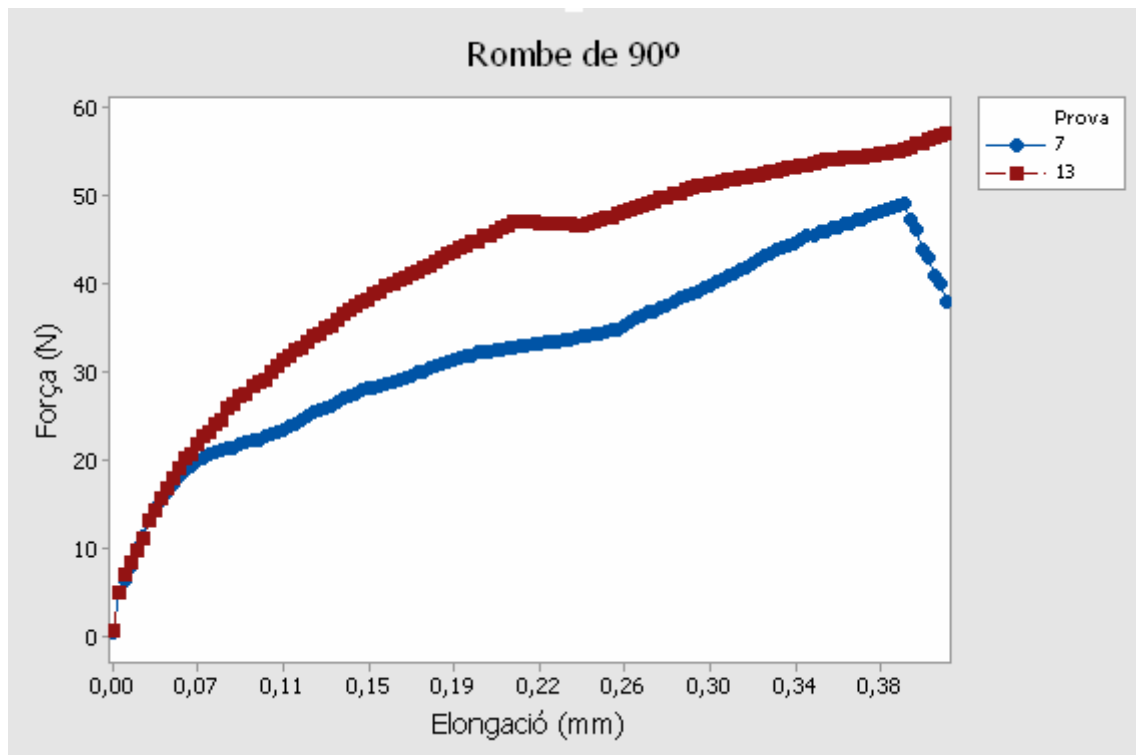


Gràfica 7. 2. Força-Elongació. Geometria 60°

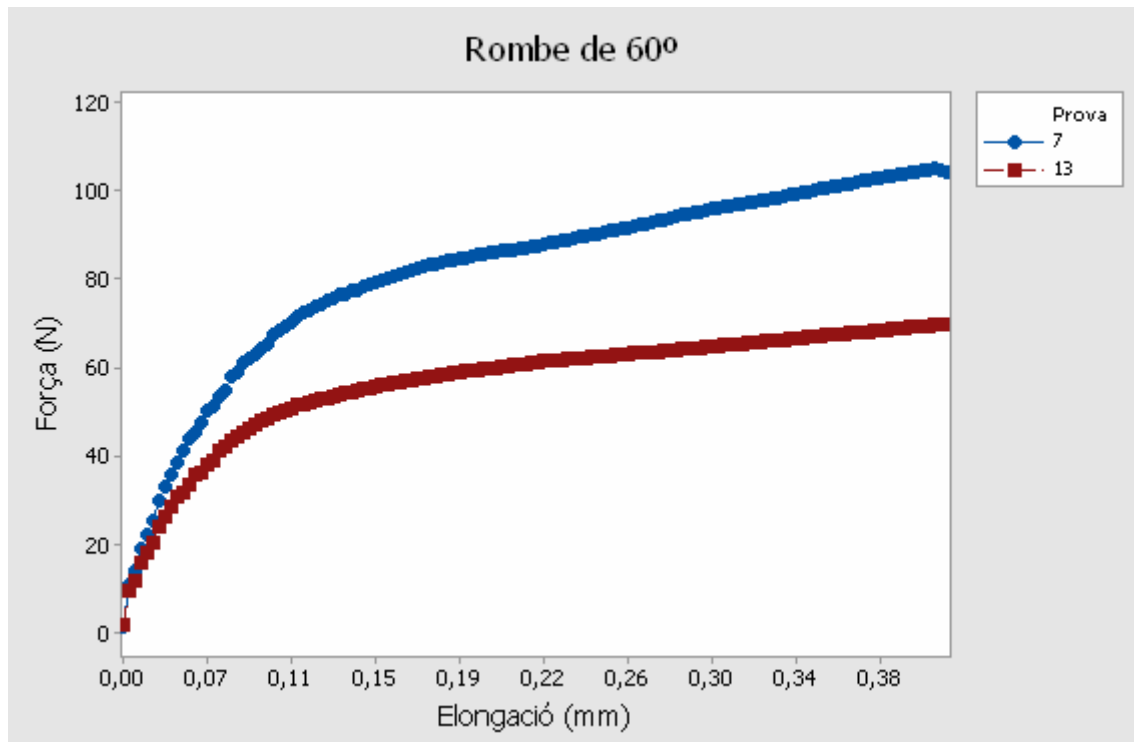
Comparant les dues gràfiques veiem que mentre que les corbes de la Gràfica 7.1 totes segueixen més o menys la mateixa tendència, les de la Gràfica 7.2 la distribució és més alta. Això és degut a que al modificar l'angle de la geometria (de 90° a 60°) provoca que l'àrea d'aquesta es redueix, aquest reducció implica que el mecanitzat làser necessiti de més precisió i per tant com que el procediment de mecanització va ser el mateix que en les proves de 90° no es va obtenir aquest grau de precisió extra.

En les gràfiques també es pot veure el moment de trencament de la primera branca que correspon a les valls que es formen de sobte.

També mostrarem les gràfiques corresponents a les proves 7 i 13 per tal de demostrar que la força que podrien suportar és mínima, (Gràfica 7.3 i 7.4)



Gràfica 7. 3. Força-Elongació. Geometria 90°



Gràfica 7. 4. Força-Elongació. Geometria 60°

Tal i com ja havíem predit el rang de forces d'aquestes proves és molt menor a les anteriors. Això és degut a que els paràmetres de mecanització eren defectuosos ja que les branques d'aquestes eren molt fines o bé ja estaven trencades.

No en podem extreure més conclusions ja que les proves de la segona geometria (60°) s'haurien d'haver realitzat adaptant el procediment de tall a les seves condicions. Però si que podem afirmar que l'*stent* és capaç de suportar esforços per sobre del límit elàstic, ja que totes les proves queda clarament reflectit que després del comportament lineal (comportament elàstic) de la corba encara no s'ha trencat cap branca.

8. RESUM ECONÒMIC

El cost de l'estudi considerant les despeses generals, el benefici industrial i l'IVA és de:

QUARANTA QUATRE MIL NOU CENTS SETANTA SIS euros amb CINQUANTA
TRES cèntims..... 44.976,53€

Pol Güell Bosch

Girona, 25 d'Agost de 2014

9.CONCLUSIONS

Les nombroses mostres realitzades amb el seu posterior estudi han permès comparar els paràmetres entre tots ells i extreure'n conclusions.

Nosaltres ens vam centrar en estudiar tres paràmetres i aquests eren la potència del làser, la duració del pols i la velocitat de tall..

El primer paràmetre s'ha demostrat que és molt influent sobre l'amplada de tall, i aquesta és una de les sortides més rellevants en el mecanitzat làser de precisió. Hem vist que per assolir una mínima amplada de tall s'ha de treballar amb la potència més baixa possible (200 W), que permeti foradar el material completament.

El segon paràmetre també hem vist que té una forta influència sobre l'amplada de tall, i al igual que la potència té una relació directament proporcional amb l'amplada. En aquest estudi s'ha escollit com a proves òptimes unes de les quals les seves combinacions no presentaven la duració de pols menor, però això és degut a que la potència té una major influència sobre l'amplada de tall i ha condicionat l'elecció de les proves. Per tant alhora de mecanitzar s'ha d'escollir, al igual que amb la potència, la duració de pols que permeti foradar completament el material.

El tercer paràmetre estudiat no n'hem pogut treure unes conclusions clares però hem vist que treballar a altes velocitats de tall és desfavorable davant la creació d'escòria superior,

Respecte els assajos de tracció podem afirmar que els *stents* fabricats podrien aguantar els esforços produïts pel globus de l'angioplastia de baló sense trencar-se durant el procés.

10.BIBLIOGRAFIA

Narendra B. Dahotre and Sandip P. Harimkar. Laser Fabrication and Machining of Materials. Springer. New York,. 2007.

George Chryssolouris. Laser Machining Theory and Practice. Springer. New York, 1991

Ankur Raval, Animesh Choubey, Chhaya Engineer, Devesh Kothwala. Development and assessment of 316LVM cardiovascular stents. Research and Development Division, Sahajanand Medical Technologies, Surat 395003, India. 2004

Hongyun Meng, JianhongLiao, YonghengZhou, QingmaoZhang. Laser micro-processing of cardiovascular stent with fiber laser cutting System. Laboratory of Laser Processing Technology, South China Normal University, Guangzhou 510631, PR China. 2009

K. F. Kleine^a, K. G. Watkins^b. Fiber Laser for Micro Cutting of Metals. ^aLaser Group, Guidant Corp., 3200 Lakeside Dr., Santa Clara, CA 95054, USA ^bLaser Group, Department of Engineering, University of Liverpool, Brownlow Street, Liverpool L69 3GH, UK. 2003.

Lin Li, M. Sobih, P.L.Crouse. Striation-free Laser Cutting of Mild Steel Sheets. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester, UK. 2007

M. Baumeister, K. Dickmann, T. Hout. Fiber laser micro-cutting of stainless steel sheets. Laser Center, University of Applied Sciences Muenster (LFM), Stegerwaldstrasse 39, 48565 Steinfurt, Germany. 2006.

N. Muhammad^a, D. Whitehead^a, A. Boor^b, L. Li^a. Comparison of dry and wet fibre laser profile cutting of thin 316L stainless steel tubes for medical device Applications. ^a Laser Processing Research Centre, School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, University of Manchester, P.O. Box 88 Sackville Street, M60 1QD, United Kingdom ^b

Swiss Tec AG, Bahnhofstrasse 7, FL-9494 Schaan, Principality of Liechtenstein, Switzerland. 2010

Weiping Liu ^a, Weichong Du ^b, Jianhong Liao ^c. Application of fiber laser used in the field of stent cutting and micro-machining. ^aDept of EE, Jinan Univ,Guangzhou,PR China (510632); ^bInnovation (Zhongshan) Techno., Ltd; ^c Information & Electron Technological Institute, South China Normal Univ.,Guangzhou(510631). 2005

Yann Desfeux, Estudio por elementos finitos de un tratamiento por angioplastia de una arteria. Projecte/ Treball fi de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. 2007

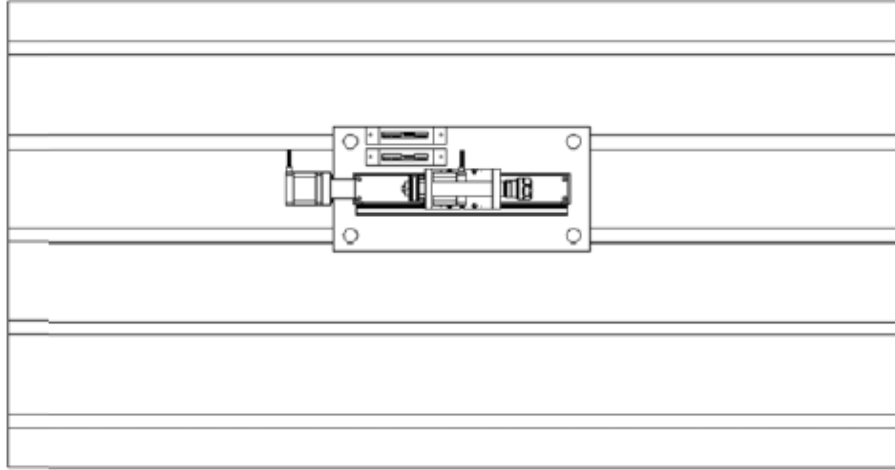
Y.P. Kathuria. Laser microprocessing of metallic stent for medical therapy. Department of Robotics, Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University Kusatsu-shi, Shiga-ken 525-8577, Japan. 2005

López, Dani, Estudi del procés de tall làser en l'obtenció de geometries stent en xapes. Projecte/ Treball Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 20013

Casellas, Gerard. Disseny d'un sistema de fabricació d'*stents*. Enginyeria Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2014

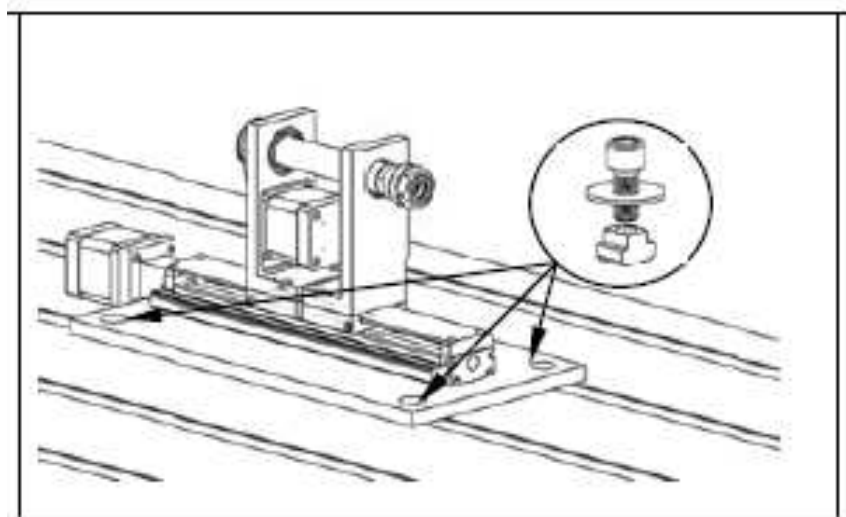
A. INSTRUCCIONS MUNTATGE DE L'UTILLATGE

1. Col·locar l'equip de forma aproximadament centrada sobre la taula (Figura A.1)



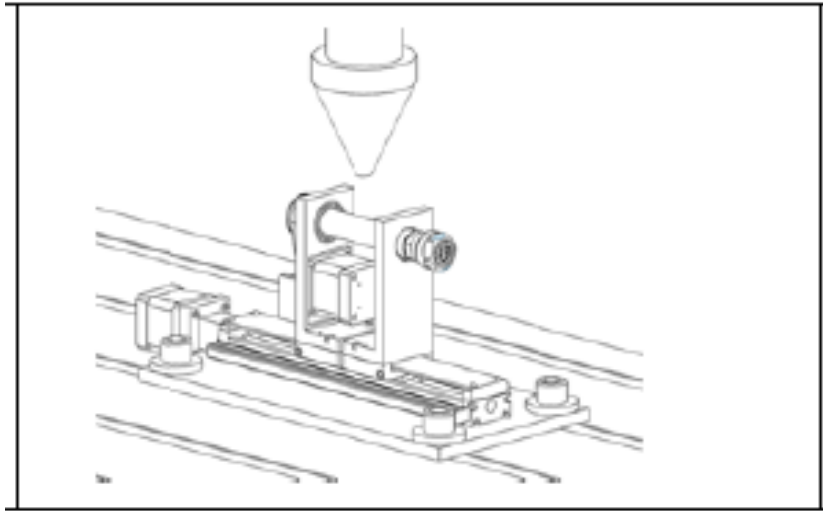
A. 1.

2. Col·locar sense fixar una femella corredora en T a un mínim de 3 punts de la base (Figura A.2)



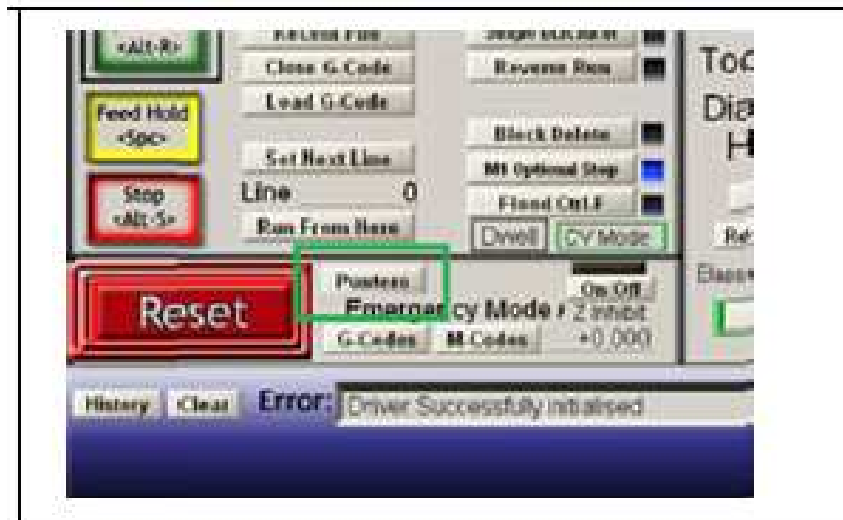
A. 2.

3. Engegar el centre de mecanitzat Kondia i desplaçar el punter làser fins a la part superior de l'utillatge (A.3)



A. 3.

4. Engegar l'ordinador que conté el software de control de l'utillatge (Mach3) i activar el punter làser (punt lluminós vermell) mitjançant el botó: *Puntero*. (A. 4)



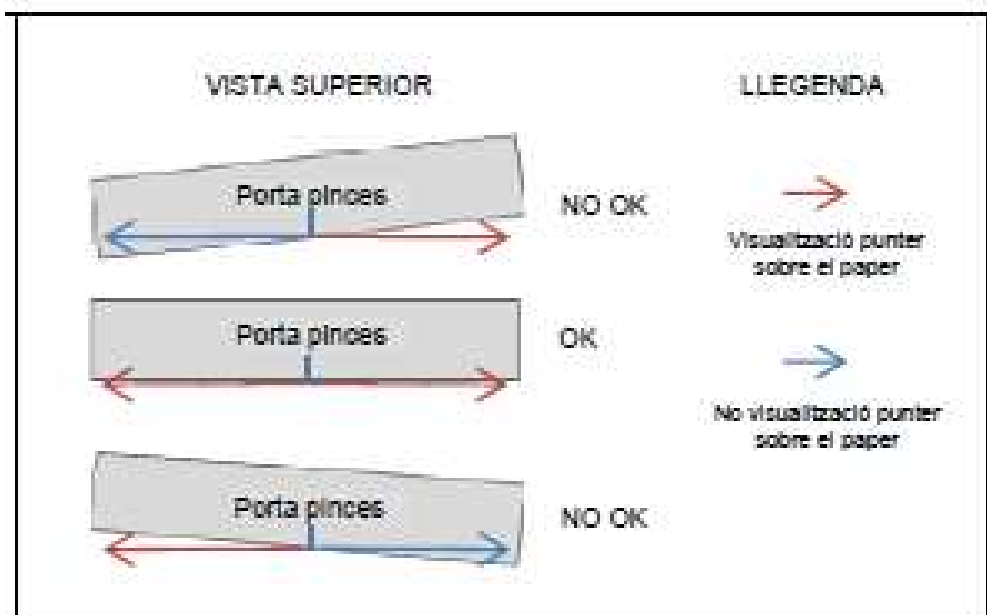
A. 4.

5. Col·locar un paper blanc per sota el portapines de l'utillatge i desplaçar el capçal làser en l'eix +Y fins a aconseguir visualitzar el punter sobre el paper, això voldrà dir que ens trobem a la tangent del tub del portapines. (Figura A.5)



A. 5.

6. Desplaçar el capçal en l'eix X per comprovar que està sobre la tangent. En cas contrari moure l'utillatge, mitjançant el software de control. Un cop estigui alineat, fixar els 3 cargols i anotar la coordenada Y de la màquina (Kondia). (Figura A.6)



A. 6.

7. Una vegada anotada la coordenada Y, repetim el procediment els punts 5 i 6 però ara a l'altre extrem del tub del portapinces. Anotar la coordenada -Y i calcular el centre de l'eix amb l'equació indicada (Figura A.7). Finalment, desplaçar el capçal sobre la coordenada calculada (Coordenada_y).

$$\text{Coordenada}_y = \frac{(+Y) + (-Y)}{2}$$

A. 7.

B. ESTUDI DE COSTOS

CONCEPTE	QUANTITAT	UNITATS	PREU	SUBTOTAL
Recerca informació (llibres, internet i altres)	50	Hores	10,00 €	500,00 €
Creació geometries 2D CAD	20	Hores	20,00 €	400,00 €
Fabricació de les mostres	40	Hores	20,00 €	800,00 €
Adquisició de dades	10	Hores	20,00 €	200,00 €
Estudi i anàlisi de resultats	10	Hores	20,00 €	200,00 €
Tubs Capilars 4x0.5 AISI 316	20	Metres	6,27 €	125,40 €
Amortització Làser Rofin FL x50	20%	Percentatge	150.000,00 €	30.000,00 €
Amortització Kondia HS1000	5%	Percentatge	100.000,00 €	5.000,00 €
Microscopi òptic esteroscòpic	2%	Percentatge	26.000,00 €	520,00 €
Màquina Unviuersal d'Assajos Instorn	2%	Percentatge	2.500,00 €	50,00 €
SUBTOTAL ACUMULAT				37.795,40 €
13% DESPESES				
6% BENEFICI INDUSTRIAL				
TOTAL				44.976,53 €