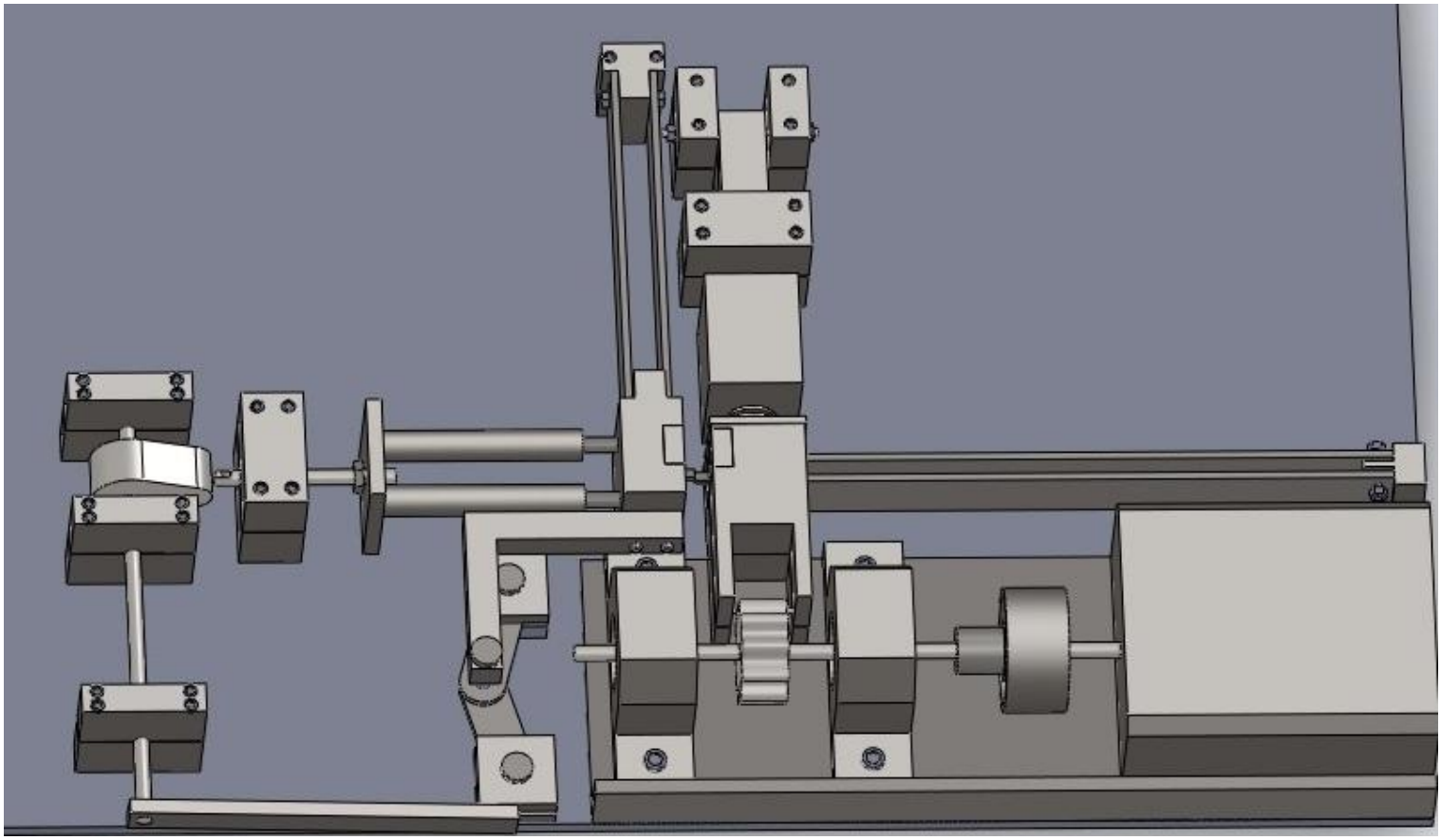
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μηχανή συγκόλλησης τριβής

Σχεδιασμός και λειτουργία στο solidworks



Ηλιάδης Νίκος 5351

Εισηγητής: Αχιλλέας Βαίρης

Περιεχόμενα:

Κεφάλαιο 1

Εξέδρα συγκόλλησης υψηλής συχνότητας γραμμικής τριβής

1.1 Λεπτομέρειες…… σελ 6

1.2 Σχεδιασμός…….....σελ 7

1.2.1 Επιλεγμένη μέθοδο κίνησης ταλάντωσης

1.2.2 Άλλες πτυχές του σχεδιασμού

1.3. Θέση…… σελ 12

1.3.1. Βελτιώσεις

1.3.1.1. Εξέδρα Τοποθέτησης

1.3.1.2 . Εξέδρα ενίσχυσης

1.3.1.3. Άλλες Βελτιώσεις Μηχανών

1.3.2. Όργανα

1.3.2.1. Μέτρηση ισχύος

1.3.2.2. Μετρήσεις γραμμικής μετατόπισης

1.4. Πειραματική διαδικασία……. σελ 18

1.4.1 Παρακολούθηση της διαδικασίας

1.5 Συμπεράσματα……. σελ 19

Κεφάλαιο 2

Παράμετροι 2D μοντέλων του ελαστικού σταδίου της γραμμικής συγκόλλησης τριβής χρησιμοποιώντας ANSIS (Πρόγραμμα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων).

2.1 Εισαγωγή …….. σελ 19

2.2 Προβλήματα διατύπωσης…….. σελ 20

2.3 Σύγκριση με πειραματικά δεδομένα…….. σελ 21

2.4 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσαρμογής……... σελ 22

2.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης…….. σελ 22

2.6 Συμπεράσματα…….. σελ 23

Κεφάλαιο 3

Ενεργειακό Ισοζύγιο της διαδικασίας της γραμμικής συγκόλλησης τριβής

3.1 Εισαγωγή…….. σελ 23

3.2 Προσδιορισμός της ισορροπίας ισχύος εξαρτημάτων……. σελ 23

3.3 Πεδίο θερμοκρασίας υπολογισμού…….. σελ 24

3.4 Εικασίες διορθωτικών τιμών T_{mean}…….. σελ 25

3.5 Πεδίο θερμοκρασία μοντελοποίησης για διάφορους κύκλους συγκόλλησης…. σελ 30

3.6 Περίληψη και συμπεράσματα……... σελ 30

Κεφάλαιο 4

Συγκόλληση υψηλής συχνότητας γραμμικής τριβής από κράμα τιτανίου

4.1 Εισαγωγή…….. σελ 31

4.2 Μηχανή γραμμικής συγκόλλησης τριβής…… σελ 33

4.2.1 Σχεδιασμός

4.3. Πειραματικά αποτελέσματα και συζήτηση…… σελ 33

4.3.1. Διαδικασία μοντελοποίησης

4.3.1.1. Φάση 1, αρχική φάση

4.3.1.2 .Φάση 2, φάση μετάδοσης

4.3.1.3. Φάση 3, φάση ισορροπίας

4.3.1.4. Φάση 4, φάση επιβράδυνσης

4.3.2 Επιπτώσεις συχνοτήτων για την επίτευξη συνθηκών συγκόλλησης

4.3.3 Σφυρηλάτηση

4.3.4 Εξώθηση υλικού

4.3.5 Μαζικές ταχύτητες ροής

4.3.6 Κοινή εκτίμηση αντοχής

4.4 Συμπεράσματα…….. σελ 38

Κεφάλαιο 5

Μοντελοποίηση της γραμμικής συγκόλλησης τριβής των τμημάτων του τιτανίου

5.1 Εισαγωγή……..... σελ 39

5.1.1 Φάση Ι. Η αρχική φάση

5.1.2 Φάση 2. Μεταβατική φάση

5.1.3 Φάση 3. Φάση ισορροπίας

5.1.4 Φάση 4. Φάση επιβράδυνσης

5.2 Αναλυτικά μοντέλα……. σελ 41

5.2.1 Παράμετροι του μοντέλου ροής θερμότητας

5.2.2 Μοντέλο ροής θερμότητας

5.2.3 Επικύρωσης του υποδείγματος της θερμοκρασίας

5.2.4 Αποτελέσματα εξώθερμης αντίδρασης

5.3 Αριθμητικό μοντέλο…… σελ 45

5.3.1 Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων

5.3.2 Πειραματική επαλήθευση των αριθμητικών μοντέλων

5.3.3 Συνθήκες θερμοκρασίας και στρες

5.3.4 Συνθήκες συγκολλησιμότητας

5.4 Συμπεράσματα……. σελ 52

Κεφάλαιο 6

Parts (34 Εξαρτήματα)……. σελ 54

Κεφάλαιο 7

Assemblies

7.1 Εξάρτημα 9 (assemdokimio dexia) τσόκ ταλάντωσης …….. σελ 96

7.2 Εξάρτημα 30 (assemdokimio) σταθερό τσόκ……. σελ 104

7.3 Εξάρτημα 14 (assemflywheel) σύζευξη άξονα…….. σελ 112

7.4 Εξάρτημα 28 (assemembolo) αξονικά έμβολα…….. σελ 114

7.5 Εξαρτήματα 21,22,19 (toggle assembly) μπλοκ εναλλαγής…….. σελ 115

7.6 Assembly (assem1new)…….. σελ 116

7.7 Assembly (σύνδεση cam)…… σελ 119

7.8 Άλλα που έγιναν μέσα στο assemend…….. σελ 121

8. ΜΗΧΑΝΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΕ ΤΡΙΒΗ……...σελ 126

1. Εξέδρα συγκόλλησης υψηλής συχνότητας γραμμικής τριβής

1.1 Λεπτομέρειες

Από την προηγούμενη εργασία είναι γνωστό ότι δεν υπάρχει γραμμική συγκόλληση τριβής των μετάλλων σε μια συχνότητα πάνω από 50 Hz , έχει καταγραφεί στην βιβλιογραφία. Οι πολύ λίγες διαθέσιμες μηχανές γραμμικής συγκόλλησης τριβής για τα μέταλλα λειτουργούν μέχρι περίπου αυτή τη συχνότητα, ενώ αυτές για τα πλαστικά έχουν μια σταθερή συχνότητα 120 ή 240 Hz (stokes,1988) και ένα εύρος μικρότερο από 5 mm.

Είναι σαφές ότι οι τρέχουσες προδιαγραφές της διαδικασίας βασίζονται σε αυτό που μπορεί να επιτευχθεί στην πράξη, η χρήση συμβατικών συστημάτων είναι μια κύρια μονάδα ικανή να αντέχει τις μεγάλες δυνάμεις και επιταχύνσεις που εμπλέκονται. Δικαιολογημένα, ως εκ τούτου, δεν υπήρξε διερεύνηση των παραμέτρων της διαδικασίας πέρα από την περιοχή που αναφέρονται παραπάνω.

Ο σχεδιασμός μιας εξέδρας υψηλής συχνότητας γραμμική τριβή συγκόλλησης ήταν με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε από την πρώτη διάταξη δοκιμής γραμμικής συγκόλλησης τριβής χτισμένη στο Πανεπιστήμιο του Μπρίστολ το 1987(Garton,1987). Η εξέδρα και οι τροποποιήσεις της έχουν σχεδιαστεί αποκλειστικά για τους σκοπούς της δοκιμής και ήταν μια ικανή γραμμική συγκόλληση τριβής των υλικών με μία περιοχή διεπιφάνειας των 120 mm^2, χρησιμοποιώντας μια μεταβλητή πίεση τριβή και τη σφυρηλάτηση πίεσης έως το μέγιστο των150MPa. Τα δείγματα θα μπορούσαν να ταλαντώνονται με ένα μεταβλητό πλάτος έως 5 mm και μια μεταβλητή συχνότητα έως 25 Hz (Figure 4).

PNEUMATIC RAM FOR FRICTION AND FORGING PRESSURES

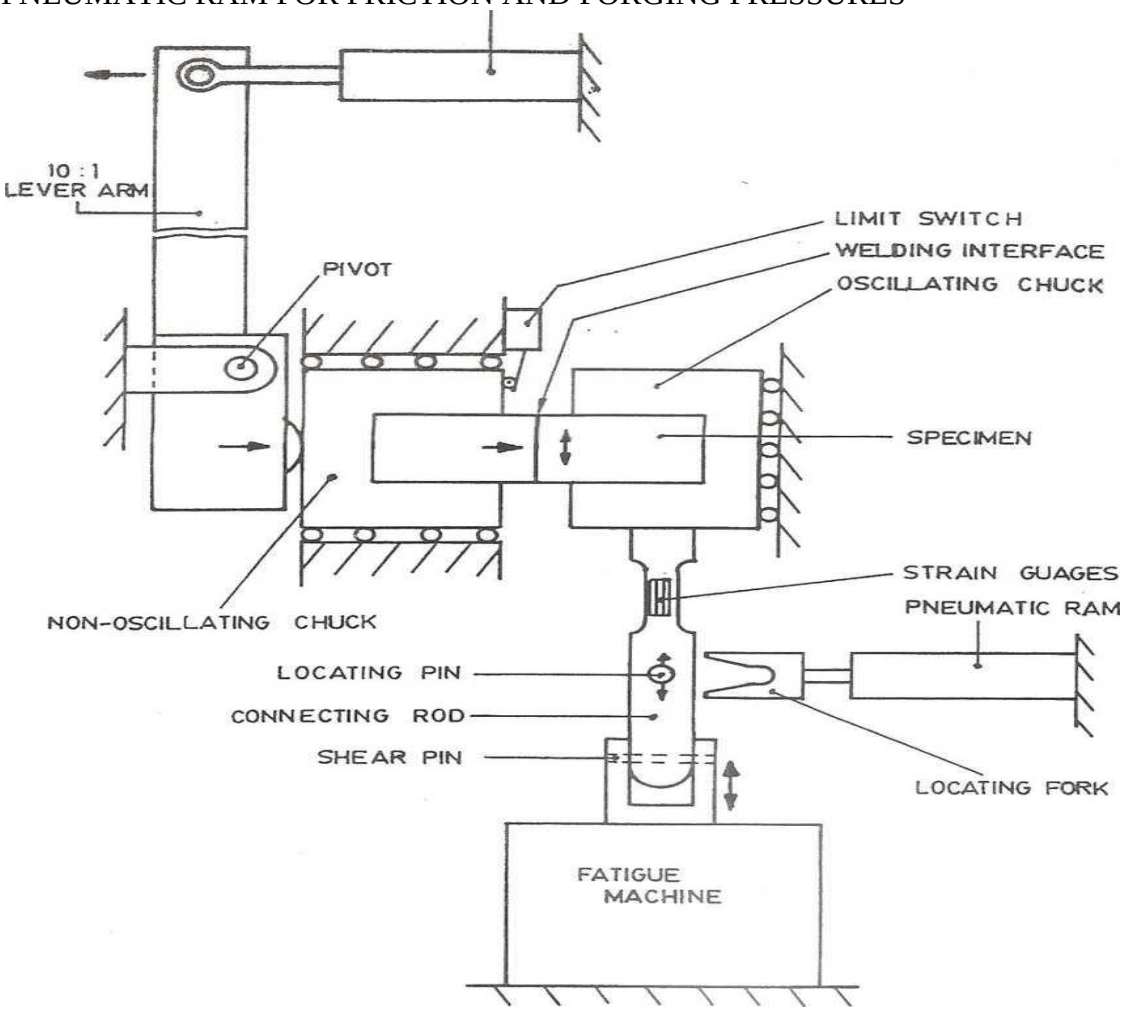


Figure 4 . Schematic General Assembly Of First Linear Friction Welding Ri<* (Garton,1987)

Αφού αξιολογήθηκε αυτή την πρώτη εξέδρα δοκιμών, οι ακόλουθες προδιαγραφές διατυπώθηκαν για την υψηλή συχνότητα γραμμικής τριβής συγκόλλησης εξέδρα (Phillips, 1992), που χτίστηκε για το έργο αυτό:

1. Εύρος φάσματος 0,05 mm – 0.92 mm
2. Εύρος συχνοτήτων 10 – 1000 Hz
3. Ελεγχόμενη ρύθμιση καύσης-off
4. Γρήγορη απεμπλοκή του συστήματος κίνησης
5. Ρυθμιζόμενη τριβή και πίεση σφυρηλάτησης
6. Σύστημα τσοκ για να κρατήσει τα δείγματα σταθερά κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.
7. Διάρκεια ζωής του μηχανήματος κόπωσης για 10^7 κύκλους (η 500 συγκολλήσεις ανα 1kHz)
8. Εύκολη φόρτωση και εκφόρτωση των δειγμάτων
9. Σταθερή ελάχιστη υστέρηση στη και ταλάντωσης τσοκ

1.2 Σχεδιασμός

Θεωρήθηκαν μια σειρά από μεθόδους για την ταλάντωση των δειγμάτων:

Μία μέθοδος για να επιτύχει αυτή τη στιγμή θα μπορούσε να είναι η χρησιμοποίηση ενός περιστρεφόμενου πιάτου swash για να μεταβάλλουμε το πλάτος. Αυτό θα παράσχει μια απείρως μεταβλητή ένταση μέσα στην επιλεγμένη περιοχή, και να μεταδώσει τη δύναμη ταλάντωσης στο δείγμα. Αυτή η διάταξη παράγει μια σχεδόν ημιτονοειδή κίνηση. Η σύλληψη του εύρος και της κίνησης επιτυγχάνεται με την επιστροφή του περιστρεφόμενο δίσκο σε επίπεδη θέση. Αν και με τη συμμετρία του αυτό το σύστημα είναι καλά ισορροπημένο, αυτό απαιτεί υψηλές ταχύτητες περιστροφής για την επίτευξη των προδιαγραφών των συχνοτήτων (πάνω από 60,000revs/min).

Άλλη προσέγγιση θα μπορούσε να είναι από ένα μηχανισμό στροφάλου rocker. Το πλάτος προσαρμογής θα επιτευχθεί με μεταβολή του μήκους των συνδέσμων. Ο μηχανισμός αυτός, ωστόσο υποφέρει από προβλήματα ισορροπίας, καθώς επίσης και από το ίδιο μειονέκτημα όπως και πριν, υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Η υστέρηση εδράνου και κάμψη που προκαλείται στις αρθρώσεις θα μπορούσε να προκαλέσει το χάσιμο της γραμμικής μετατόπισης, ειδικά στα μικρότερα πλάτη.

Μία τρίτη μέθοδος θα ήταν με έναν ολισθητήρα στροφάλου, όπου η περιστροφική κίνηση μετατρέπεται σε γραμμική κίνηση. Το πλάτος τροποποίησης επιτυγχάνεται με μεταβολή του μήκους της μανιβέλας. Η μέθοδος αυτή εξακολουθεί να χρειάζεται υψηλές ταχύτητες περιστροφής, και η ανάγκη να απεμπλακεί ταχέως το σύστημα κίνησης κατά τη διάρκεια του σταδίου σφυρηλατήσεως είναι ένα σημαντικό πρόβλημα που οφείλεται στην υψηλή κινητική ενέργεια που αποθηκεύεται.

Μια διαφορετική μέθοδος θα ήταν να χρησιμοποιήσετε ένα γραμμικό κινητήρα να ταλαντεύει το κινούμενο σφιγκτήρα και να παρέχει τις υψηλές δυνάμεις που είναι απαραίτητες. Ωστόσο, θα ήταν μάλλον δύσκολο να δημιουργήσει το υψηλό μαγνητικό πεδίο που είναι απαραίτητο για να πληροί τις προδιαγραφές.

Ένας άλλος τρόπος για να επιτευχθεί η επιθυμητή κίνηση ταλάντωσης θα ήταν με ένα έκκεντρο ώθησης-έλξης. Η διάταξη αυτή δεν μπορεί να γίνει εύκολα, και η ταχεία αποδέσμευση του συστήματος μετάδοσης κίνησης είναι δυσκίνητη.

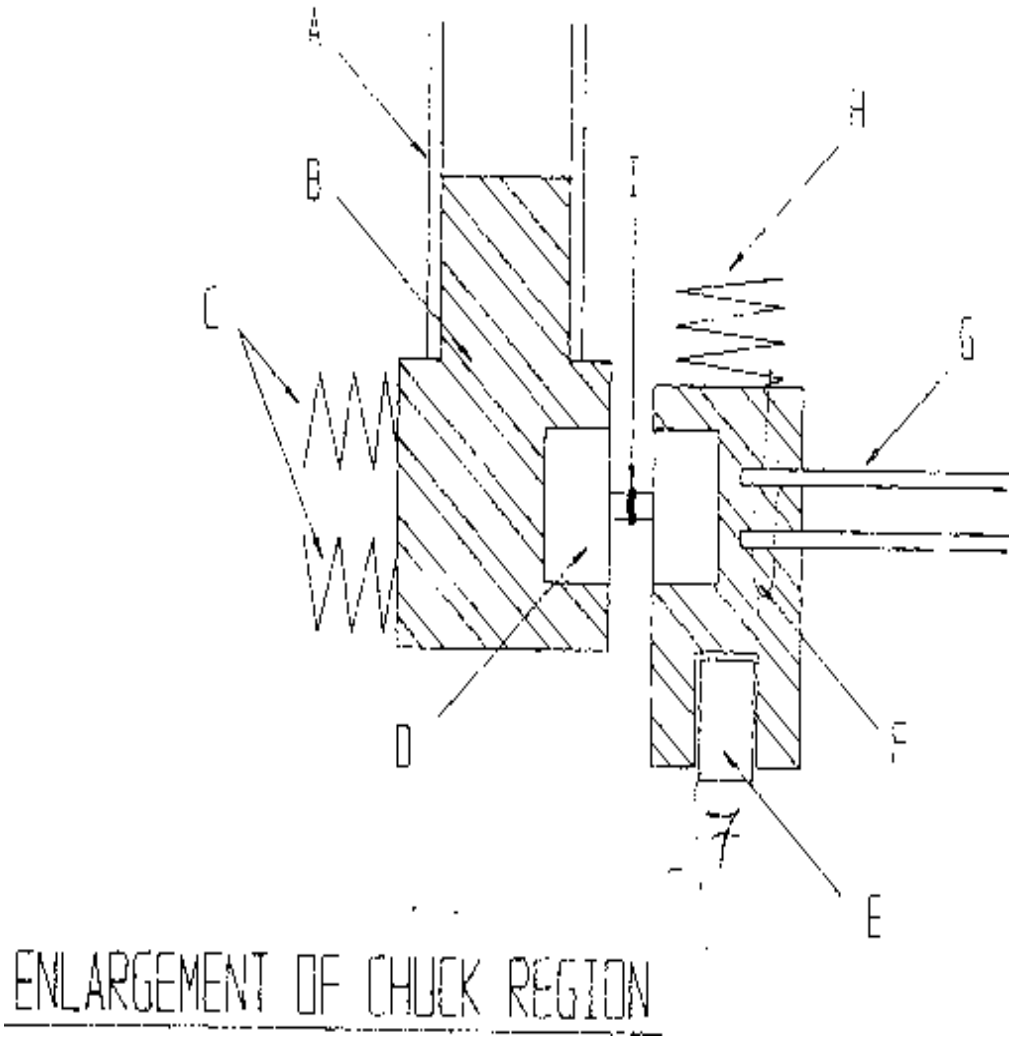
Η κίνηση ταλαντώσεως θα μπορούσε να παραχθεί στη διεπιφάνεια με τη βοήθεια μιας σύζευξης Oldham. Αυτό μεταδίδει την κίνηση μεταξύ των παράλληλων ατράκτων που μετατοπίζονται πλευρικά, για να παράγουν ημιτονοειδή κίνηση σε σχέση με ένα ενδιάμεσο στοιχείο.

Το μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φέρει τα υλικά που πρέπει να συγκολληθούν για να ξεκουραστούν. Το πολύ σύντομο χρονικό διάστημα που απαιτείται (λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο) είναι δύσκολο να επιτευχθεί, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα να καταστραφεί η άρθρωση.

Οι στόχοι σχεδιασμού παραπάνω που ήταν ικανό να παράγει 200 mm/sec ελάχιστη μέση ταχύτητα , όπως κρίνεται απαραίτητο (Garton, 1987) για τη συγκόλληση του τιτανίου και (Phillips,1992) παρήγαγε την πρώτη επιτυχημένη γραμμική τριβή υψηλής συχνότητας οξυγονοκόλληση . Υλικά που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό της εξέδρας επιλέχθηκαν για την αντοχή τους, ιδιότητες κόπωσης και χαμηλής αδράνειας.

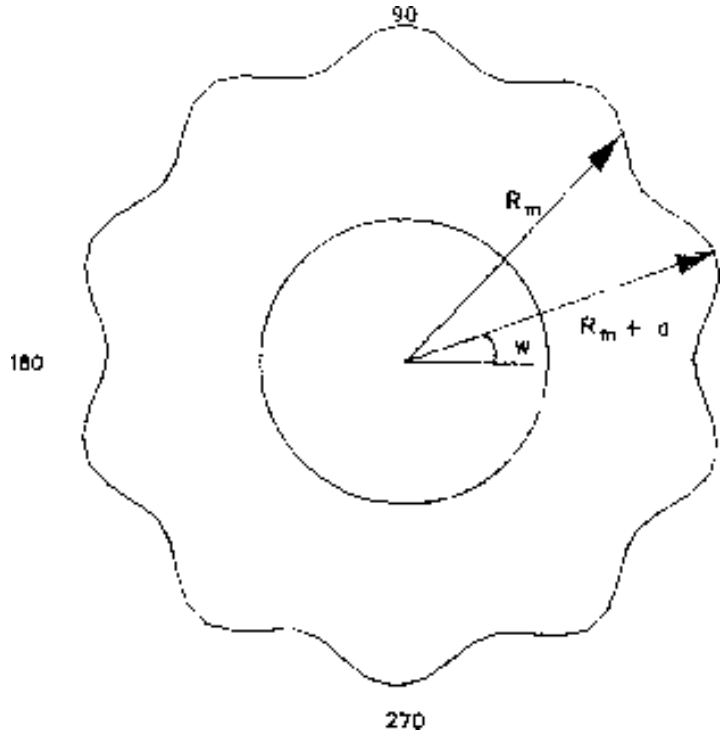
1.2.1 Επιλεγμένη μέθοδο κίνησης ταλάντωσης

Η διάταξη που επιλέγεται είναι τελικά εκείνη όπου το κινούμενο τσοκ ταλαντώνεται μόνο στο επίπεδο της ταλάντωσης, ενώ το άλλο παρέμεινε στάσιμο (βλέπε σχήμα 7 και στο σχήμα 6 για λεπτομέρειες). Ενα πολλαπλό λοβωτό έκκεντρο, ένα ακολούθου έκκεντρου και ένα ελατήριο επιστροφής που χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν την περιστροφική κίνηση που παράγεται από έναν κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος με το τσοκ. Αυτό επιτρέπει την σχετικά υψηλή συχνότητα ταλάντωσης σε μέτρια ταχύτητα περιστροφής του έκκεντρου. Ο τριφασικός AC κινητήρας ελέγχεται από έναν ελεγκτή αναστροφέα ο οποίος παρέχει τα μέσα για να μεταβάλλει την συχνότητα της διαδικασίας ταχύτητας. Υπάρχει ένα ανώτερο όριο στη συχνότητα που παράγεται, καθορίζεται από τη μέγιστη ταχύτητα του κινητήρα.



A. Parallel Beans
B. Static Chuck
C. Friction/Forge springs
D. Clamp
E. Cam Follower
F. Oscillating Chuck
G. Parallel Beans
H. Following Spring
I. Specimens

Figure 6 . Detail Of Chuck Region



Profile equation:-

$$r = R_m + a * \sin(nw)$$

r = cam profile

R_m= mean radius of the cam

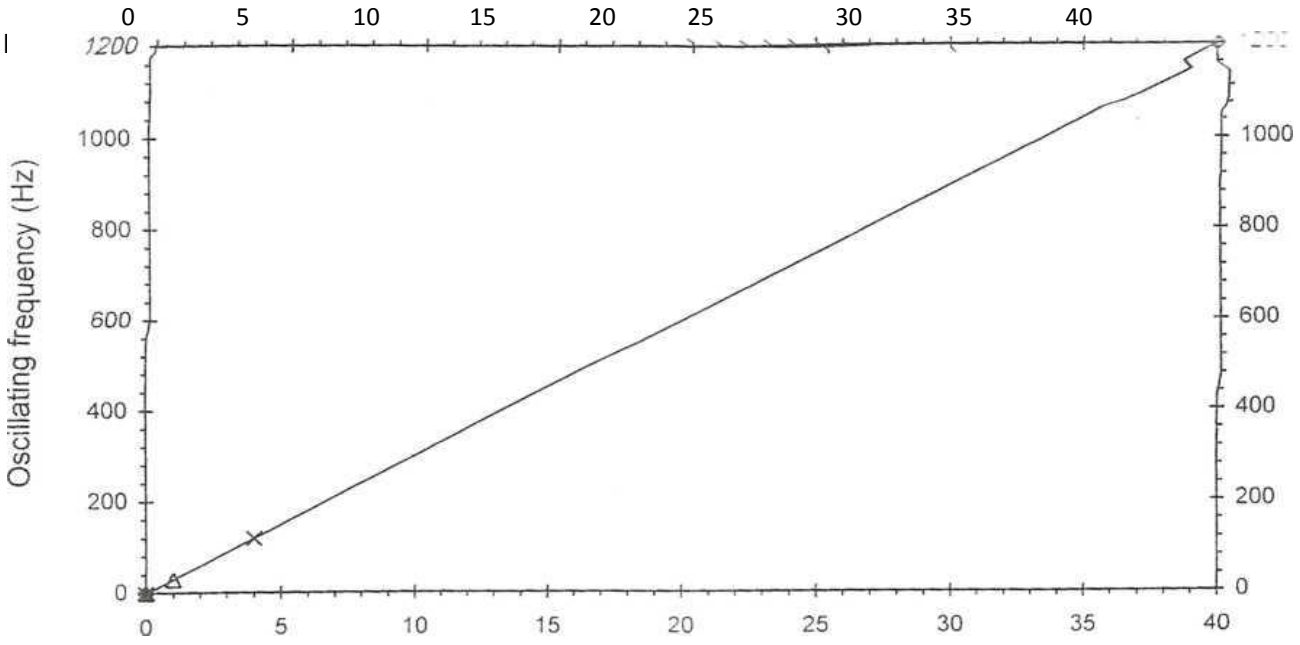
n= no. of lobes

w= angle

a= amplitude of sine wave

Figure 7 . Sketch Of The Sinusoidal Cam And Profile Generating Equation

Το έκκεντρο έχει ένα ημιτονοειδής κύμα που υπερτίθεται στην περιφέρειά του (Εικόνα 7) για να οδηγεί το ταλαντούμενο σφικτήρα. Αυτό το πολλαπλό λοβωτό έκκεντρο επιτρέπει μέτριες ταχύτητες του άξονα και εξαλείφει την ανάγκη για το στάδιο επάνω στο κιβώτιο ταχυτήτων αναγκαία στις προσεγγίσεις που περιγράφονται παραπάνω. Ένας αριθμός των δοντιών με διαφορετικό αριθμό και το πλάτος των λοβών παράγουν το απαιτούμενο εύρος συχνοτήτων και πλατών. Η διάταξη αυτή προβλέπει μόνο βήμα αλλαγών στο πλάτος και τα πολλαπλά λοβωτά δόντια πρέπει να αλλάξουν για διαφορετικά εύρη δοκιμών (Σχήμα 8). Ωστόσο, με σταθερό πλάτος δοντιών, η μεταβολή της συχνότητας δίνει τον έλεγχο του στο τρίψιμο της ταχύτητα, η οποία θεωρήθηκε ότι είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει αυτή τη διαδικασία.



1.2.2 Άλλες πτυχές του σχεδιασμού

Προκειμένου ο ταλαντούμενος σφικτήρας να ακολουθήσει το προφίλ έκκεντρου χρησιμοποιείται ένα ελατήριο μήτρας υψηλής συμπίεσης. Το ελατήριο παρέχει επαρκή δύναμη για να ξεπεράσει την τριβή στη διεπιφάνεια δείγματος, αναγκάζει τον σφιγκτήρα να ακολουθεί το περίγραμμα στο έκκεντρο και επιστρέφει τα δείγματα σε ευθυγράμμιση κατά την τελευταία φάση της διαδικασίας. Αυτό έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της μείωσης του κύκλου λειτουργίας στον κινητήρα και η ενέργεια που αποθηκεύεται χρησιμοποιείται για να προκαλέσει την διακοπή φάσης της διαδικασίας μέσω ενός μηχανικού συστήματος μοχλών.

Το κυριότερο πρόβλημα που παρατηρείται στην προηγούμενη γραμμική τριβή συγκόλλησης μηχανή που έχει κατασκευαστεί στο πανεπιστήμιο είναι η υστέρηση που προκαλείται από τα έδρανα στη μονάδα σύνδεσης. Στο τρέχον σχέδιο δύο κινούμενων και σταθερών τσοκ ήταν υποχρεωμένες να κινούνται κάθετα πάνω από μια μικρή απόσταση. Για την παροχή αυτής της μετατόπισης μακριές παράλληλες δοκοί συνδέονται με κάθε τσοκ. Αυτές έχουν χαμηλή ακαμψία στο επίπεδο της κίνησης. Η απαιτούμενη αποσκίρτηση υπαγορεύει το μήκος της κάθε δοκού, οι διατμητικές τάσεις λυγισμού ελήφθησαν υπόψη για τον καθορισμό του πάχους της δοκού.

Για να μειωθεί η εξάρτηση από εξωτερικές πηγές ενέργειας, χρησιμοποιείται υψηλής συμπίεσης ελατηρίων μήτρα για την παροχή της αξονικής πίεσης για συγκόλληση. Αυτή η πίεση θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στο στάδιο τριβής και στο στάδιο σφυρηλασίας της διαδικασίας. Η αξονική δύναμη επιτυγχάνεται με προένταση των ελατηρίων. Για την εφαρμογή της χειροκίνητης λειτουργίας η δύναμη σφυρηλάτησης επιλέγεται για την απλότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα έκκεντρο το οποίο δίνει την απαιτούμενη δύναμη με την περαιτέρω συμπίεση των ελατηρίων.

Η στιγμή που η απαιτούμενη αναστάτωση έχει επιτευχθεί όσον αφορά τα δείγματα μια εναλλαγή στο μηχανισμό μανδάλωσης (18 στο Σχήμα 5 και το σχήμα 9) ενεργοποιείται για να ταλαντεύεται πίσω την πλάκα βάσης του κινητήρα, φέρνοντας το έκκεντρο έξω από την επαφή με ακολούθου έκκεντρο. Τα δείγματα τίθενται σε ευθυγράμμιση μέσω ενός συστήματος μοχλών. Η δύναμη που χρησιμοποιείται για να ταλαντεύει την πλάκα του κινητήρα και την ευθυγράμμιση των δειγμάτων προέρχεται από την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο ελατήριο του σφιγκτήρα (8 στο σχήμα 5).

Οι δυνάμεις που παράγονται από το ταλαντούμενο ελατήριο του τσοκ αντέδρασαν με ένα μηχανικό σύστημα σύνδεσης το οποίο εφαρμόζει μία δύναμη προς την πλάκα βάσης του κινητήρα μέσω ενός μανδάλου εναλλαγής (Σχήμα 9). Αυτή η διάταξη επιτρέπει την ταχεία απομάκρυνση του οδηγήσεως έκκεντρου, όταν επιτευχθεί το επιθυμητό αξονικό κόντεμα.

Ο έλεγχος της αξονικής βράχυνσης των δειγμάτων επιτυγχάνεται με την προσάρτηση ενός βραχίονα με το σταθερό τσοκ που αντιδρά στην εναλλαγή. Όταν το στατικό δείγμα κινείται προς την κατεύθυνση του τσόκ ταλάντωσης , λόγω της αξονικής μείωσης της εναλλαγής μετατοπίζετε πέρα από το μέσο σημείο, όταν υπερβεί την κρίσιμη μετατόπιση, με αποτέλεσμα την γρήγορη απεμπλοκή του συστήματος μετάδοσης .Ένας ηλεκτρομαγνητικός συμπλέκτης θα είναι αποτελεσματικός, αλλά δεν έχει χρησιμοποιηθεί. Η επαφή του έκκεντρου πρέπει να αφαιρεθεί για να επιτρέψει στα δοκίμια να σταματήσουν στην απαιτούμενη θέση.

Ήταν αναμενόμενο ότι το φάσμα των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται θα διεγείρει μία ή περισσότερες από τις φυσικές αρμονικές μηχανές. Η απορρόφηση των κραδασμών θεωρήθηκε, αλλά ήταν αδύνατη. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός του γραμμικού τριβής συγκόλλησης εξέδρας συμπυκνώθηκε στη μείωση των επιπτώσεων των κραδασμών με ακαμψίας της δομής. Μία δομή οδηγό προστέθηκε στην κορυφή του τσόκ ταλάντωσης , για να περιορίσει τις δυνάμεις που δρουν συμμετρικά στο επίπεδο της ταλάντωσης.

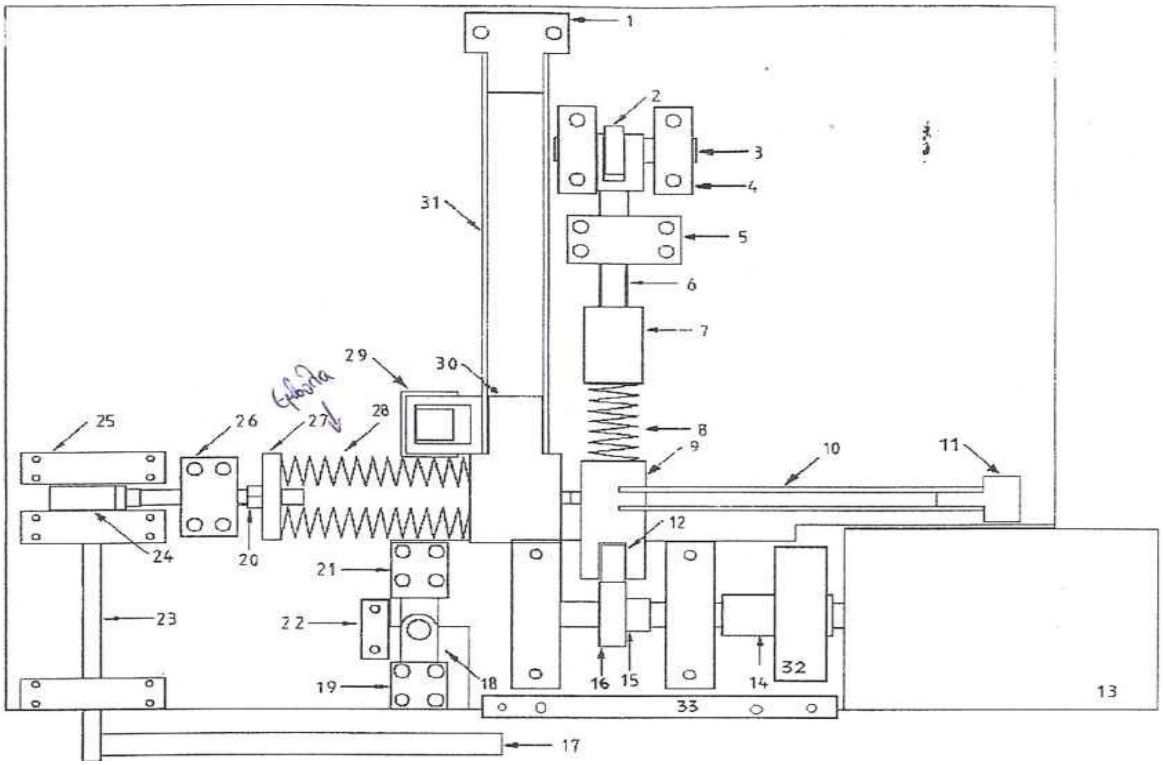


Figure 5 . High Frequency Linear Friction Welding Rig (Dimensions : 885 by 1000 mm)

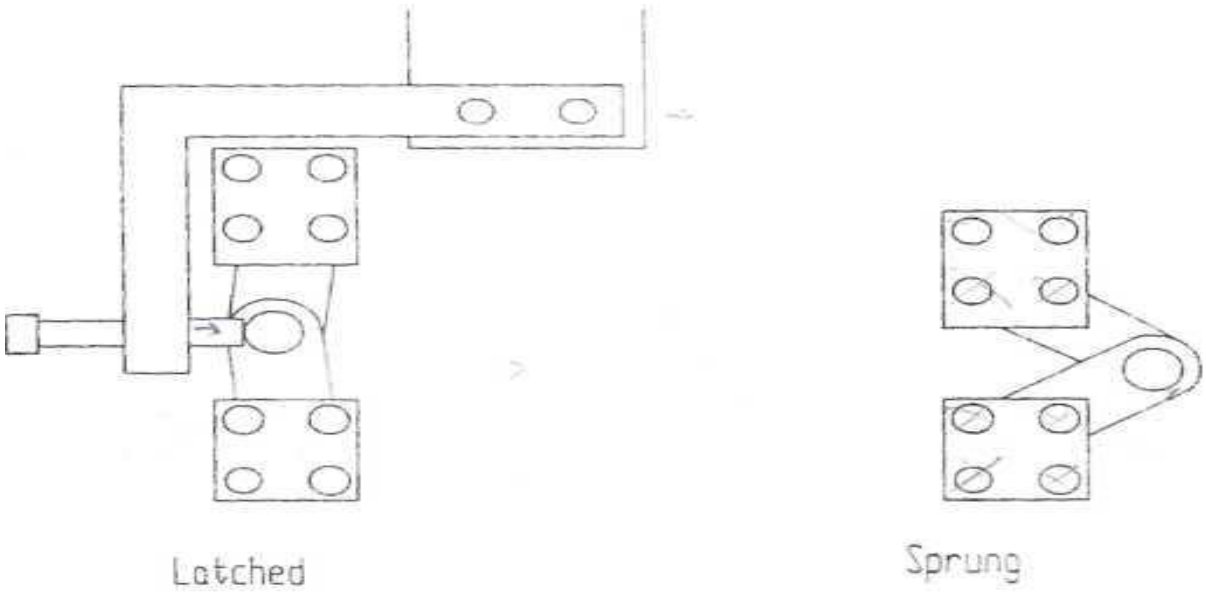


Figure 9 . Toggle

1.3. Θέση

Μετά το σχεδιασμό και την κατασκευή των υψηλής συχνότητας γραμμική τριβή εξέδρα συγκόλλησης το 1992 από τον Phillips, βελτιώσεις έχουν γίνει από τον συγγραφέα για να ενισχύσουν τη λειτουργία της μηχανής και να παρέχει παρακολούθηση της διαδικασίας. Ειδικότερα, η λειτουργία ενισχύθηκε με ενισχυτικά στοιχεία και για τη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου. Ο λειτουργικός φάκελος της μηχανής εντοπίστηκε για την πειραματική εργασία. Επιπροσθέτως προς αυτά, η εξέδρα συνδέθηκε με όργανα για να παρέχει δεδομένα σχετικά με τη δύναμη διάτμησης και τις αξονικές μετατοπίσεις κατά τη λειτουργία, καθώς και για να παρέχουν μια ακριβή μέτρηση της εφαρμοζόμενης τριβής και της σφυρηλάτησης της πίεσης.

1.3.1. Βελτιώσεις

1.3.1.1. Εξέδρα Τοποθέτησης

Η εξέδρα είχε στηρίζεται πάνω στο τσιμεντένιο πάτωμα το οποίο ενέτεινε το θόρυβο που παράγεται όταν η εξέδρα δονείται σε κατακόρυφη θέση. Για την απομόνωση της εξέδρας δονητικά, αυτό τοποθετήθηκε σε ένα μπλοκ σκυροδέματος με έναν κορυφαίο χυτοσίδηρο. Αυτή η σύζευξη της εξέδρας μείωσε τις φυσικές και συντονιστικές συχνότητες του συστήματος ως συνόλου, μειώνοντας ουσιαστικά το πλάτος των δονήσεων ειδικά στις συχνότητες στις οποίες αντήχησαν πριν. Το μπλοκ ζυγίζει περίπου ένα τόνο και είναι αποσυνδεδεμένη από το πάτωμα μαξιλάρια στήριξης μηχανής από καουτσούκ σε κάθε γωνία. Καουτσούκ μαξιλάρια είναι κατάλληλα για συχνότητες συντονισμού μεγαλύτερη από 10 Hz.

1.3.1.2 . Εξέδρα ενίσχυσης

16Η δομή της εξέδρας είχε δύο πλάκες χάλυβα στο πάνω και στο κάτω μέρος, με δοκούς που είναι κάτω από την πλάκα πυθμένα για περαιτέρω ακαμψία. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για να συνδέσει μαζί τα εξαρτήματα υπό μεγαλύτερη πίεση , και την αποτροπή μεγάλων στάσιμων κυμάτων. Η μισή δύναμη που μεταφέρουν τα στοιχεία συνδέθηκε με δύο από αυτές τις πλάκες, η υπόλοιπη συνδέεται μόνο με την πλάκα του πυθμένα , για λόγους προσβασιμότητας (Σχήμα 10) .

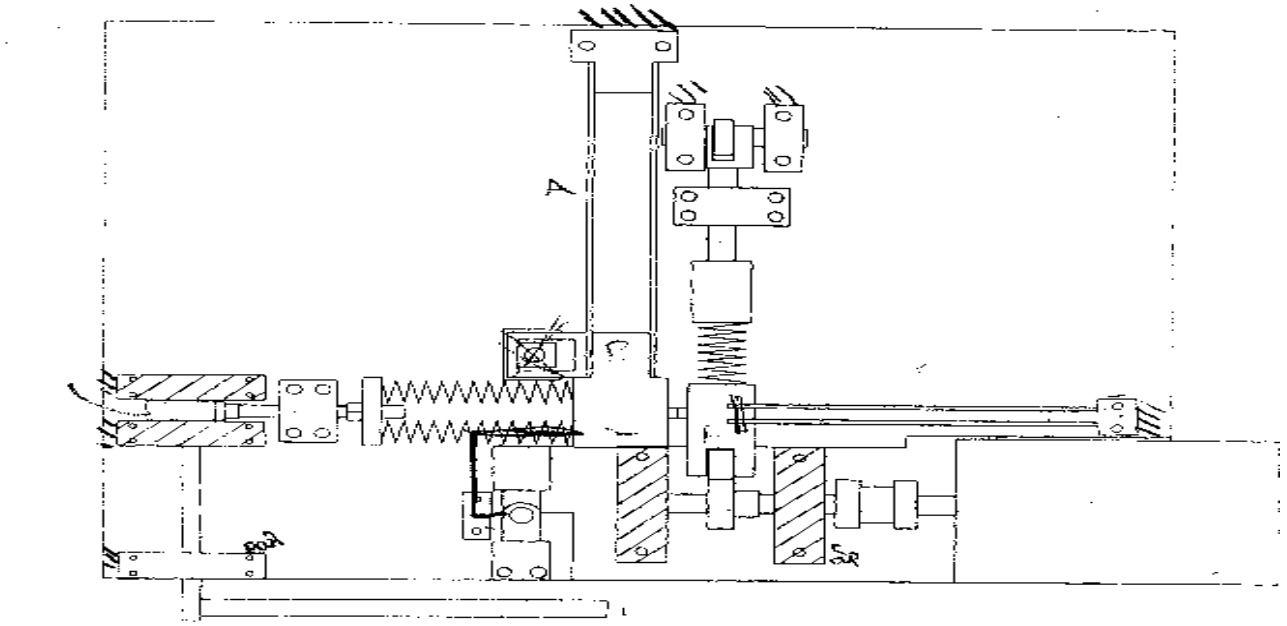
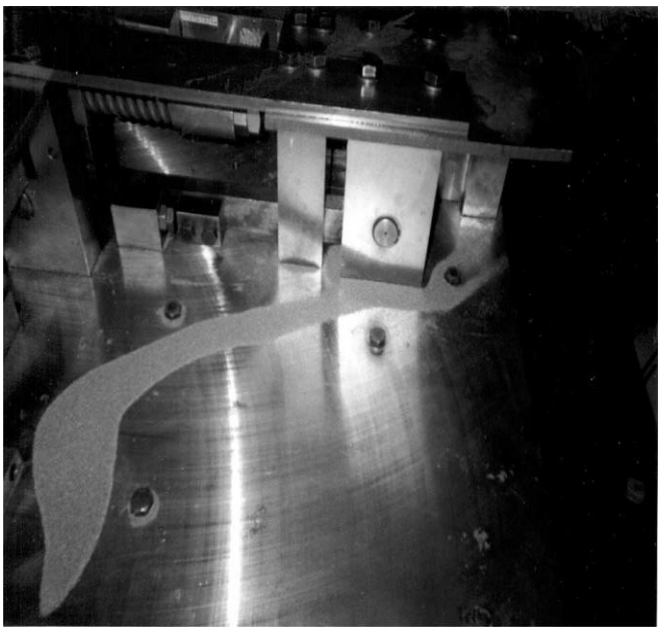


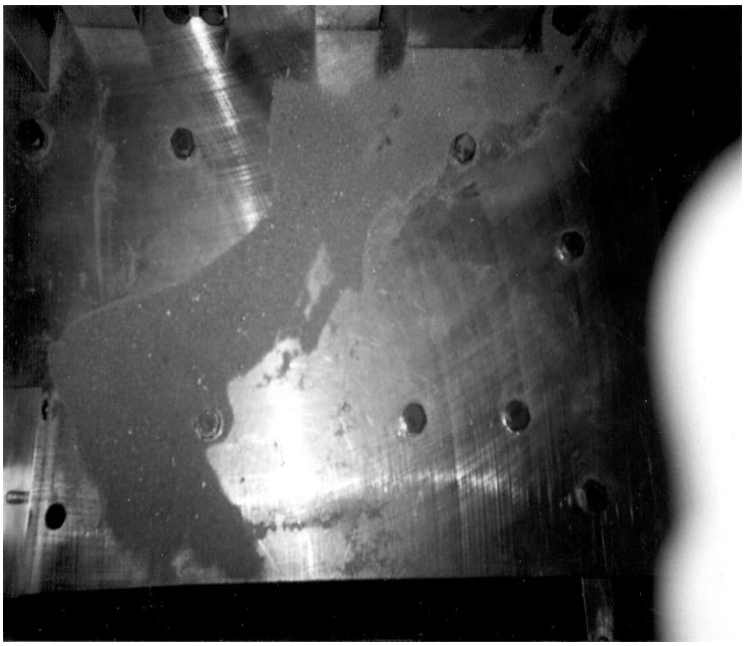
Figure 10 . Components Attached Solely to Base Plate

Μετά την εξέδρα τοποθετήθηκε στη συγκεκριμένη κατηγορία , η άνω πλάκα αφαιρέθηκε σε μια προσπάθεια να μειώσει τον εκπεμπόμενο θόρυβο και να βελτιώσει την πρόσβαση στη μηχανή , ενώ τρέχει . Η πλάκα βάσης της εξέδρας ήταν ενισχυμένη από δύο εγκάρσιες δοκούς .

Μια σειρά δοκών προστέθηκαν σε αντικατάσταση της άνω πλάκας που αφαιρέθηκε. Μια μεγάλη δοκός έχει σχεδιαστεί με το δεύτερο τρόπο λειτουργίας της καμπτικής δόνησης η οποία είναι μεγαλύτερη από 1 kHz . Με τον πρώτο τρόπο δεν θεωρήθηκε ότι η ακτίνα είχε καθοριστεί στο κέντρο του. Οι διαστάσεις της διατομής της άνω δοκού είναι 112 x 12 mm φλάντζα (βάσης) και 100 x 100 χιλ. ιστού (κάθετα). Αυτή η άνω δοκός (Σχήμα 11) συνδέει το μπλοκ τοποθεσίας ελατηρίων σταθερού τσοκ με το μπλοκ στήριξης ταλαντευόμενου τσοκ που παρέχει αυξημένη ακαμψία σε όλη την εξέδρα . Επίσης έχουν τοποθετηθεί στην κάτω πλευρά της , δύο μπλόκ από την αρχική πλάκα , το ένα για να κρατήσει η τριβή των ελατηρίων κατ 'ευθείαν και ένα για να συγκρατεί το στατικό τσοκ προς τα κάτω .

Επιπλέον, οι πλάκες από χάλυβα ενώνονται με παράλληλες δοκούς του στατικού τσοκ (1 στην Εικόνα 5) με τον μηχανισμό σύνδεσης (4 στο Σχήμα 5), και το μπλοκ του μηχανισμού σύνδεσης (4 στο σχήμα 5) στην άνω δοκό που τρέχει κατά μήκος της εξέδρας (Σχήμα 11). Τα δύο μπλοκ εναλλαγής συνδέθηκαν στην άνω δοκό με ατσάλινη πλάκα που φαίνεται από κάτω.





Λόγω της φύσης της λειτουργίας του μηχανήματος και την ελαφριά κατασκευή του, ο συντονισμός της δομής που στηρίζεται πάνω στην πλάκα βάσης επηρεάζει τη λειτουργία του μηχανήματος ως σύνολο. Στεγνή άμμος χρησιμοποιήθηκε για να εντοπίσει τους τομείς της πλάκας βάσης, που δονούνται περισσότερο. Όπως μπορεί να φανεί στο Σχήμα 12 και το Σχήμα 13 οι κίτρινες περιοχές όπου η άμμος συμπυκνώνεται, είναι οι κόμβοι των πολύπλοκων τρόπων δόνησης της πλάκας. Οι περιοχές όπου δεν υπάρχει κανένα κοίτασμα της άμμου, είναι εκεί όπου εμφανίζεται το μέγιστο πλάτος της ταλάντωσης. Προστέθηκαν οι βίδες που συνδέουν την πλάκα βάσης στις δοκούς στήριξης, που είναι κάτω από το μηχάνημα,. Το αποτέλεσμα της εν λόγω δράσης μπορεί να φανεί στο Σχήμα 14 και στο Σχήμα 15, όπου η περιοχή κάτω από δόνηση έχει μειωθεί δραματικά. Ως αποτέλεσμα, η περιοχή λειτουργίας της μηχανής περιορίστηκε σε κάτω από 175 Hz.

Η ευεργετική επίδραση αυτής της λειτουργίας ενίσχυσης επαληθεύτηκε (Σχήμα 16), όταν ένα επιταχυνσιόμετρο χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει την επιτάχυνση που βιώνεται από την ενίσχυση της δοκού η οποία διασχίζει την κορυφή του μηχανήματος, σε μια θέση πάνω από γραμμικά ρουλεμάν του ταλαντευμένου τσοκ του. Όταν η μηχανή λειτουργεί με έκκεντρο με 20 λοβούς, η οποία έχει ένα πλάτος ταλάντωσης 0,25 mm, οι αιχμές συντονισμού των 150 Hz και 200 Hz έχουν μειωθεί, μεταξύ 50 και 220 Hz η λειτουργία καθίσταται ομαλότερη. Η ίδια τεχνική έδειξε ότι στην περιοχή των 250 - 275 Hz παρουσιάζεται μεγάλη απήχηση, γεγονός που θα επηρεάσει την κίνηση του κινούμενου σφιγκτήρα και μεταβάλλει την αναμενόμενη αρμονική κίνηση.

Χρησιμοποιώντας ένα λέιζερ ταχύτητας (Σχήμα 17), η συμπεριφορά της δοκού παρατηρήθηκε για έκκεντρο με 40 λοβούς (με πλάτος της ταλάντωσης του 0,05 mm). Η ιδανική περιοχή που υπήρχε για το έκκεντρο με 40 λοβούς ήταν μέχρι 150 Hz, όπου παρατηρήθηκε η ίδια συμπεριφορά συντονισμού όπως εκείνη του έκκεντρου με 20 λοβούς. Λειτουργία σε συχνότητες άνω των 500 Hz αποδειχθεί ως μια σειρά συντονισμένων αιχμών.

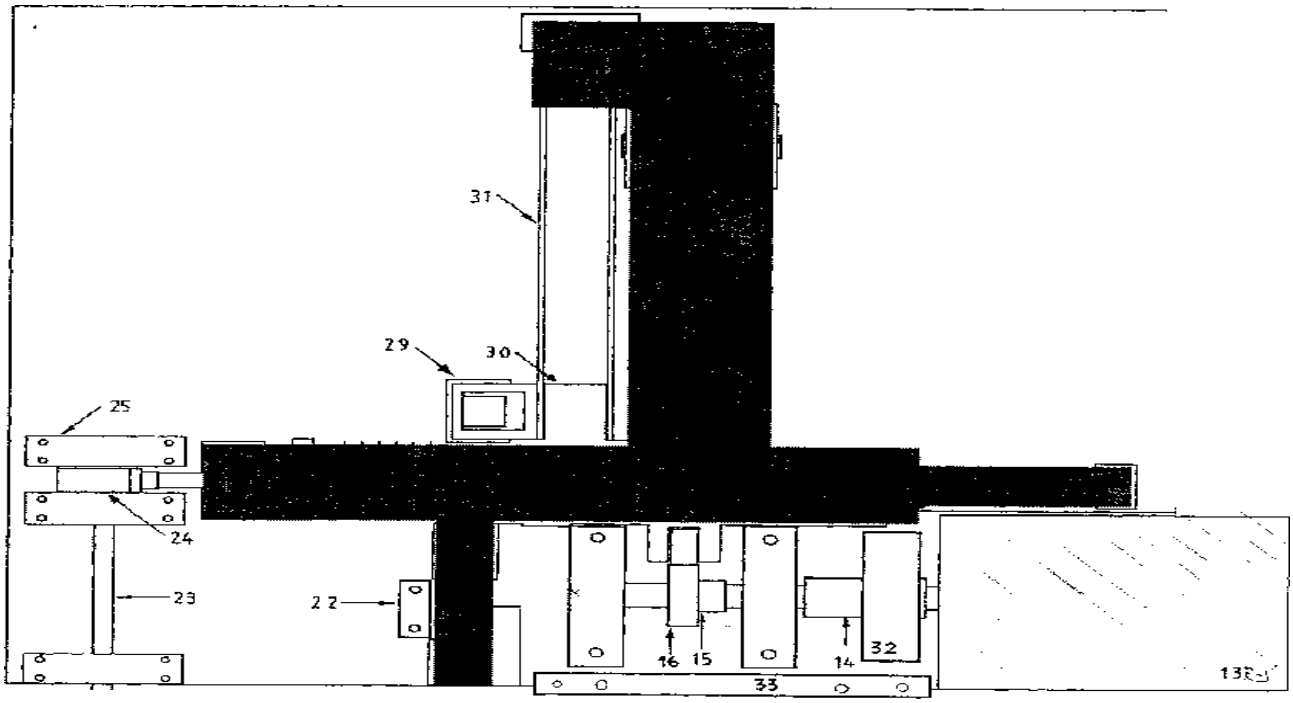
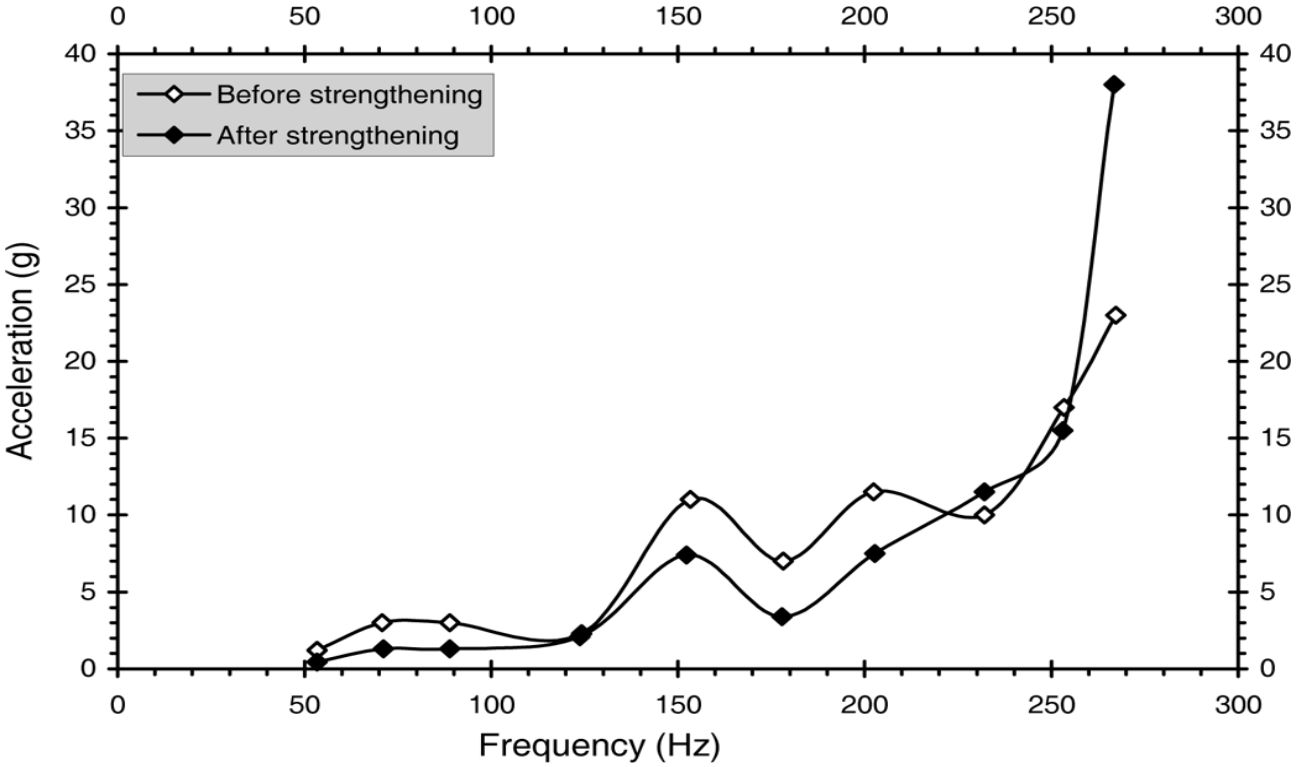


Figure 11 . Areas of the Rig Stiffened With Steel Beams

1.3.1.3. Άλλες Βελτιώσεις Μηχανών

Αρχικά παρήχθησαν τρία έκκεντρα (Πίνακας 1). Ένα νέο μοναδικό λοβωτό έκκεντρο προστέθηκε με πλάτος 3 mm. Αυτό έγινε για να διερευνήσει τη χαμηλή συχνότητα ,η υψηλή περιοχή έντασης που καλύφθηκε στο προηγούμενή γραμμική μηχανή χαμηλής συχνότητας έχει κατασκευαστεί στο Πανεπιστήμιο. Από τα τέσσερα διαθέσιμα έκκεντρα, τα πειράματα έγιναν με το ενιαίο και το έκκεντρο με 4 λοβούς (εικόνα 18 για συχνότητες λειτουργίας και ταχύτητες για κάθε έκκεντρο που χρησιμοποιείται).

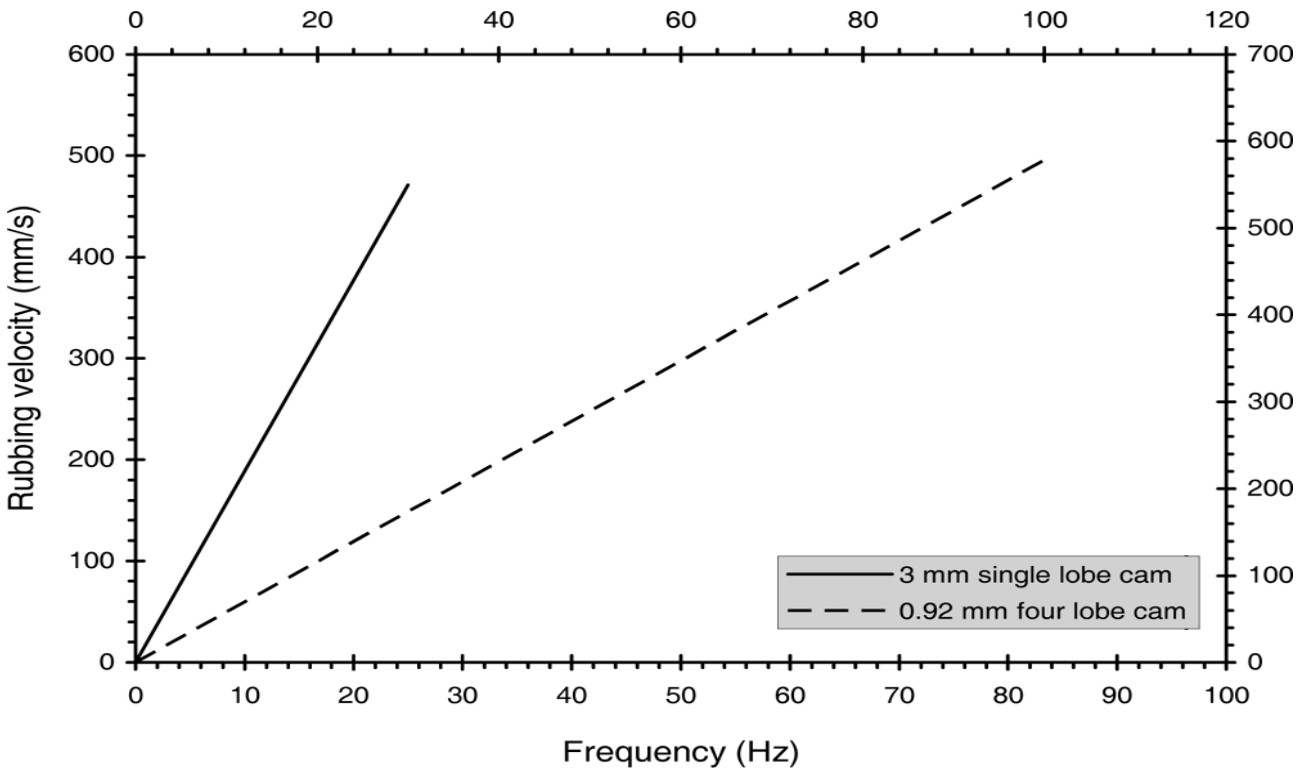
ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΟΒΩΝ	ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ (mm)
40	0.05
20	0.25
4	1.5
1	3



Εικόνα 12: Ανάλυση κραδασμών της μηχανής LFW .

Για την περαιτέρω ενίσχυση της λειτουργία του τσοκ ταλαντώσεως και την αύξηση της διάρκειας ζωής των συστατικών του, το ταλαντευόμενο τσοκ περιορίζεται περαιτέρω σε τέσσερα σημεία με τη βοήθεια των γραμμικών εδράνων, αντί του ενιαίου ρουλεμάν. Δύο τοποθετήθηκαν πάνω και δύο κάτω από το τσόκ ταλάντωσης, ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν μπορεί να κινηθεί εκτός από την οριζόντια κατεύθυνση. Αυτά τα γραμμικά ρουλεμάν αντιδρούν στις δυνάμεις κανονικά προς την κατεύθυνση της τριβής. Και οι 2 κύλινδροι και οι επίπεδες επιφάνειες που κυλούσαν είχαν σκληρύνει κατά 800 VPN.

Το σταθερό τσοκ συνδέεται με την εξέδρα με παρόμοιο τρόπο προς το ταλαντευόμενο τσοκ, με τη βοήθεια των δύο δοκών. Αυτά εχουν σχεδιαστεί για να είναι άκαμπτα στην κατεύθυνση παράλληλη προς το επίπεδο της κίνησης, και παρέχουν ελάχιστη αντίσταση σε κάθε κάθετες δυνάμεις. Αλλά αυτές οι δυνάμεις μπορεί να εμφανιστούν λόγω αστάθειας στη συγκόλληση ή στη συμπεριφορά του μηχανήματος. Για να περιοριστεί αυτό, χωρίς να επηρεάζει την ικανότητά της να κινηθεί προς την κατεύθυνση του τσοκ ταλάντωσης, το σταθερό τσοκ περιορίστηκε περαιτέρω στην κάθετη κατεύθυνση. Αυτό επιτεύχθηκε με την τοποθέτηση ενός μπλοκ στήριξης κάτω από αυτό. Το άνω μέρος του τεμαχίου καλύφθηκε από λιπαίνονται στερεή επιφάνεια (PTFE) για να ελαχιστοποιηθούν οι τυχόν δυνάμεις τριβής που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, όπως το σταθερό τσοκ κινείται προς την κατεύθυνση του τσοκ ταλάντωσης λόγω αξονικής συντόμευσης.



Εικόνα 14: Συχνότητες λειτουργίας και ταχύτητες τριβής για τα πλάτη της ταλάντωσης που χρησιμοποιούνται.

Η αρχική σύζευξη του άξονα του κινητήρα στην άτρακτο έκκεντρου πολλαπλών λοβών ήταν ένας μηχανικά χαλύβδινος σωλήνας με ένα τετράγωνο σφηνόδρομο που διατρέχει κατά μήκος του. Η εσωτερική διάμετρος ισούται με εκείνη του εκκεντροφόρου. Για να φιλοξενήσει το ελαφρώς μικρότερο άξονα του κινητήρα, ένα δακτυλιοειδές ένθετο είχε τοποθετηθεί στο εσωτερικό, ήμισυ του σωλήνα. Δύο κλειδιά τοποθετούνται σε κάθε άκρο και δύο βίδες ενήργησαν στον άξονα στην αντίθετη πλευρά από αυτή των κλειδιών. Λόγω της μεγάλης παρούσας ροπής, τα κλειδιά και η δίοδος υπέστησαν ζημιές με ένα κλειδί προφανώς συγκολλημένες στη θέση τους, και ο εκκεντροφόρος ήταν άσχημα φθαρμένος.

Η σύζευξη μεταξύ του άξονα του κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος και του εκκεντροφόρου άξονα είχε συνέπεια να αλλάξει. Η αναθεωρημένη σύζευξης αποτελείται από ένα σχιστό δακτύλιο πάνω από τον άξονα με δακτυλιοειδείς σφήνες. Οι δακτυλιοειδείς σφήνες σφίγγονται μαζί από κάθε άκρο της ζεύξης με κάλυμμα κεφαλής κοχλιών παράλληλο προς τον άξονα. Με αυτό τον τρόπο καταπονήσεις δεν είναι συγκεντρωμένες μέσα στο σφηνόδρομο, όπως και πριν, και η ροπή φέρεται από ολόκληρη την περιφέρεια του άξονα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε άρθρωση μεταξύ των δύο αξόνων πρέπει να είναι εύκολα αφαιρούμενη, καθώς χρειάζεται το έκκεντρο πολλαπλών λοβών να αλλάξει για πειράματα.

Ο εκκεντροφόρος επίσης μειώθηκε σε διάμετρο για να ταιριάζει με εκείνη του άξονα του κινητήρα.

Μια σφόνδυλος (32 στο σχ. 5) προστέθηκε στην εξέδρα στον άξονα του κινητήρα, μεταξύ του κινητήρα και της σύζευξης του κινητήρα. Ο σκοπός αυτού ήταν να παράσχει πρόσθετη ενέργεια κατά τη συγκόλληση με το έκκεντρο με 20 λοβούς. Η επιπλέον δύναμη ήταν απαραίτητη λόγω των αλλαγών στην αντίσταση τριβής μεταξύ των προς συγκόλληση τεμαχίων (9 και 30 στο σχ. 5), όταν η δύναμη του ελατηρίου επαναφοράς ορίστηκε υψηλή.

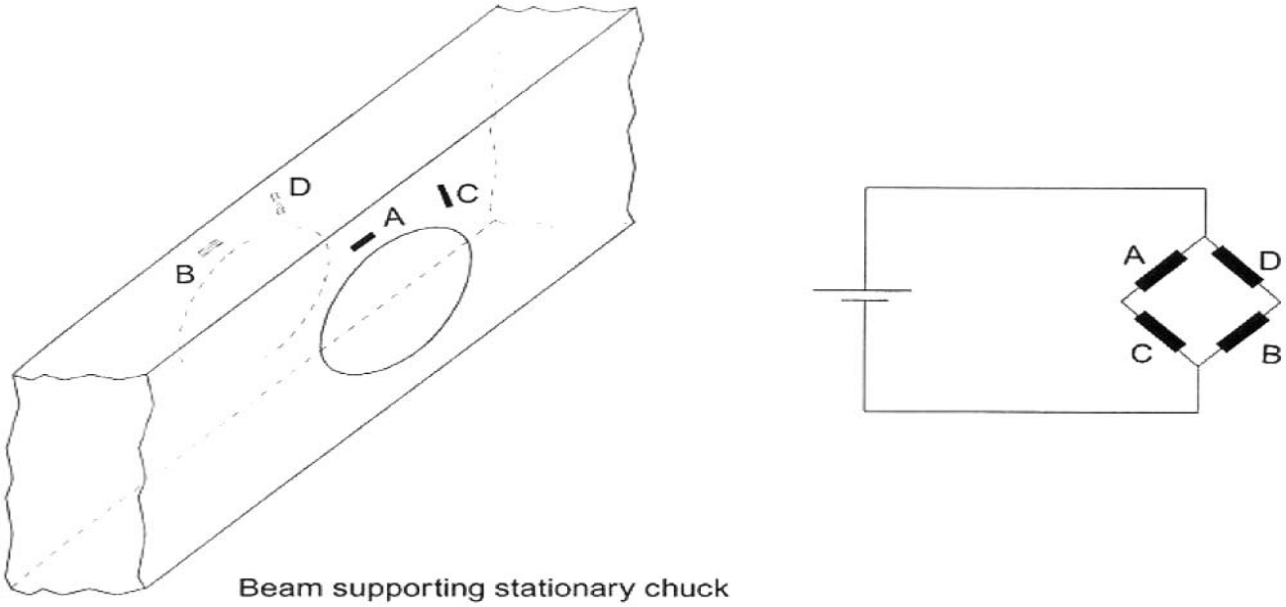
Ένα διαιρούμενο κολάρο κάτοχος δείγματος έγινε για να φιλοξενήσει τα μικρότερα δείγματα μεγέθους μπάρα . Αυτό έγινε για να επεκτείνει την πειραματική εργασία χρησιμοποιώντας αποδοτικά το διαθέσιμο κράμα τιτανίου.

1.3.2. Όργανα

1.3.2.1. Μέτρηση ισχύος

Οι παράλληλες δοκοί χάλυβα κρατώντας το στατικό τσοκ χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση της διατμητικής δύναμης που ενεργεί στη διεπιφάνεια τριβής (Σχήμα 19) με τη βοήθεια των μετρητών τάνυσης. Ο δείκτης καταπόνησης διαμόρφωσης της γέφυρας είναι τέτοιος, ώστε να αντισταθμιστεί για αλλαγές της θερμοκρασίας και στο μηδενικό λύγισμα και άθροισμα θλιπτικών στελεχών των δοκών. Κάθε δοκός έχει ένα ξεχωριστό δείκτης καταπόνησης διαμόρφωσης της γέφυρας, με το σήμα από κάθε γέφυρα ναι προστίθεται ηλεκτρονικά μετά από ενίσχυση (βλέπε Σχήμα 20 για το διάγραμμα βαθμονόμησης).

Η μεταβολή στην περιοχή των δύο δοκών υποστήριξης, παρόλο που παρέχεται ένα μέσο για να μελετήσει την δύναμη που ενεργεί στη διεπιφάνεια τριβής, μεταβάλλεται η συμπεριφορά του στατικού σφιγκτήρα. Στην πραγματικότητα αποδυνάμωσε το σταθερό τσοκ, με αποτέλεσμα να δονείται, αν χρησιμοποιούνταν πιέσεις τριβής πάνω από ένα ορισμένο όριο. Αυτή η κίνηση είχε ως συνέπεια την αποτελεσματική μείωση του πλάτους της ταλάντωσης. Αυτή η επίδραση ήταν έντονη στην περίπτωση των έκκεντρων πολλαπλών λοβών που χρησιμοποιείται για να εξερευνήσετε την περιοχή υψηλότερης συχνότητας άνω των 300 Hz (βλ. ενότητα "4.3.1.2.Rig Ενισχυτικό" στη σελίδα 35). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το ενιαίο έκκεντρο (3 mm) και το έκκεντρο με 4 λοβούς (0,92 mm).



Εικόνα 15: Όργανα μέτρησης της διατμητικής δύναμης

1.3.2.2. Μετρήσεις γραμμικής μετατόπισης

Αυτό επιτεύχθηκε με δύο LVDT μετατροπείς. Ο πρώτος χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει την αξονική βράχυνση των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης (βλέπε Σχήμα 21 για το διάγραμμα βαθμονόμησης). Αυτό επιτεύχθηκε με καταχώρηση της μετακίνησης του σταθερού τσοκ κατά τη διάρκεια πειραμάτων σε σχέση με το σταθερό τσοκ συγκράτησης (βλέπε κεφάλαιο "4.3.1.2.Rig Ενισχυτικό" στη σελίδα 35). Ο άλλος μετατροπέας χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει την αρχική συμπίεση των ελατηρίων δύναμης τριβής, έτσι ώστε να ερμηνεύσει με ακρίβεια την αρχική πίεση που εφαρμόζεται, καθώς και τη δύναμη σφυρηλάτησης προσωπικού στο τέλος της διαδικασίας (βλέπε Σχήμα 22 για το διάγραμμα βαθμονόμησης).

Τα δεδομένα αξονικού κοντέματος παρέχουν μια ακριβή ιστορία της πίεσης τριβής που εφαρμόζεται στα δείγματα. Μεταβολές της πίεσης τριβής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καθώς τα 2 δείγματα μειωθούν λόγω υλικού πλαστικής εξώθησης, το οποίο με τη σειρά του αναγκάζει τα ελατήρια πίεσης τριβής να επεκτείνουν και να μειώσουν την εφαρμοζόμενη πίεση.

1.4. Πειραματική διαδικασία

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στους 20^{o}C και επικρατούν ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα δείγματα όλων των υλικών ήταν μηχανικά έως 10mm (L) με 6 χιλιοστά (W) διαστάσεων, όπου το μήκος (L) του δείγματος στην κατεύθυνση της κίνησης. Η παρακάτω διαδικασία έγινε κατά τη διάρκεια της δοκιμής Ti6Al4V [4]:
1. Βεβαιωθείτε ότι το ελατήριο επαναφοράς έχει αποδεσμευτεί πλήρως.
2. Ασφαλίστε το μηχανισμό εναλλαγής.
3. Ρυθμίστε την επιθυμητή αξονική βράχυνση.
4. Τοποθετήστε τα δείγματα στο τσοκ, και εξασφαλίστε ότι έχουν σφίξει αρκετά για να σταματήσει την περιστροφή.
5. Τοποθετήστε σύσφιξη δεσμών πέρα από την κορυφή της εξέδρας και της βίδας τους.
6. Σφίξτε ελατήριο επαναφοράς στην επιθυμητή δύναμη, για να ωθήσει το τσοκ ταλάντωσης σε επαφή με το έκκεντρο ανά πάσα στιγμή.
7. Σφίξτε το αξονικής δύναμης ελατήριο για να ορίσετε την επιθυμητή πίεση τριβής.
8. Εκκινήστε τον κινητήρα μέχρι την επιθυμητή ταχύτητα. Η συγκόλληση αρχίζει.
9. Όταν απεμπλακεί το έκκεντρο, εφαρμόζεται δύναμη σφυρηλάτησης αν χρειαστεί.

Εγχειρίδιο λειτουργίας της μηχανής επιλέχθηκε, σε αντίθεση για αυτοματοποιημένο έλεγχο , για την απλότητα του σχεδιασμού και θέση της στην πειραματική διάταξη.

1.4.1 Παρακολούθηση της διαδικασίας

Η διαδικασία παρακολουθείται με καταγραφή της αξονικής μετατόπιση του στατικού τσοκ και η δύναμη διάτμησης ασκείται στη διεπιφάνεια τριβής. Η γέφυρα μετρητή τάσεως καταγράφει την πίεση που προκαλείται στις δοκούς του στατικού τσοκ από τη δύναμη διάτμησης. Λόγω της κατασκευής της εξέδρας, η πίεση τριβής ,εφαρμόζει αλλαγές κατά τη διάρκεια της λειτουργία με το υλικό εξώθησης στη διεπιφάνεια τριβής. Δεδομένου ότι τα δύο δείγματα μειώνονται, τα ελατήρια πίεσης τριβής επεκτείνουν την μείωση της πίεσης τριβής. Η ιστορία αξονικής μείωσης παρέχεται από ένα LVDT που παρέχει τα αναγκαία στοιχεία για τον υπολογισμό της αλλαγή της πίεσης τριβής, και την εκτίμηση της στο συντελεστής τριβής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Η διατρητική δύναμη καταγράφεται μαζί με την κανονική δύναμη που εφαρμόζεται στα
δείγματα που τρίβονται, χαρακτηρίζουν την κατάσταση στρες κατά τη διεπιφάνεια (Εικ. 17). Η φαινομενική μετατόπιση του μηδενός σε ίχνος διατμητικής δύναμης οφείλεται στην μη πλήρης ακύρωση των στελεχών της κάμψης στους δοκούς του στατικού τσοκ (στοιχείο 31 στο σχήμα. 5) τα οποία ελήφθησαν υπόψη στη βαθμονόμηση.
Στο ΣΧ. 17 ένα διάγραμμα της θερμοκρασίας από ένα τεστ που έγινε σε συχνότητα ταλάντωσης των 10Hz όπως φαίνεται. Η διασταύρωση του θερμοστοιχείου αρχικά ήταν 0,7 χιλιοστά πιο μακριά από το τρίψιμο διεπαφών και το πείραμα έγινε με βαθμιδωτή πίεση τριβής, προφίλ για να ερευνήσει τις θερμοκρασίες επιτεύχθηκε κατά τα διάφορα στάδια της διαδικασίας. η θερμοκρασία αιχμής που επιτυγχάνεται κατά την έναρξη αντιστοιχεί σε 630^{o}C και αντιπροσωπεύει μέγιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της αρχικής φάσης γραμμικής συγκόλλησης τριβής. Μετά από αυτό το στάδιο, η πίεση τριβής αυξήθηκε για την εξώθηση να λάβει χώρα και στην θερμοκρασία αιχμής που καταγράφηκε ήταν 840 ^{o}C .

Αυτό επιτεύχθηκε όταν το θερμοστοιχείο έφτασε την διεπιφάνεια, μετά από κάποιο υλικό εξωθήθηκε από τις πλευρές. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι θερμοηλεκτρικές μετρήσεις μπορούν να δώσουν υποεκτιμήσεις των πραγματικών συνθηκών λόγω του περιορισμένου ελέγχου κατά τη διάρκεια της θερμικής αδράνειας, του χρόνου απόκρισης και της τοποθέτησης του διασταυρωμένου δείγματος.

1.5 Συμπεράσματα

Μια χαμηλή υστέρηση της μηχανής συγκόλλησης γραμμικής τριβής είναι ικανή να συγκολλήσει με διαφορετικά πλάτη ταλάντωσης για συχνότητες υψηλότερες από εκείνες που διατίθενται και έχουν σχεδιαστεί στο εμπόριο . Η μηχανή είναι ικανή να παράγει την ελάχιστη μέση ταχύτητα που κρίνεται αναγκαία για τη συγκόλληση του τιτανίου. Η μείωση του φάκελου λειτουργίας της μηχανής περιόρισε τις ταλαντώσεις συντονισμού με ενίσχυση της εξέδρας σε επιλεγμένες περιοχές. Το μηχάνημα ήταν διασωληνωμένο να παρακολουθεί θερμοκρασίες, την κάμψη του δείγματος και τις δυνάμεις της συγκόλλησης.

2 Παράμετροι 2D μοντέλων του ελαστικού σταδίου της γραμμικής συγκόλλησης τριβής χρησιμοποιώντας ANSIS (Πρόγραμμα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων)

2.1 Εισαγωγή

Για την πρόοδο του κλάδου των αερομεταφορών, νέες τεχνολογίες είναι απαραίτητες για την κατασκευή μιας νέας γενιάς κινητήρων αεριοστρόβιλου (GTE), προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ώθηση ανά λίβρα των ικανοτήτων βάρους. Ειδικότερα, ένας τρόπος για να πάρετε ελαφριές μηχανές GTE είναι η εφαρμογή της τεχνολογίας γραμμικής τριβής συγκόλλησης (LFW) προς την παρασκευή των GTE πτερυγίων αντί φρεζαρίσματος τους από στερεά κενά. LFW που επιτρέπει η τεχνολογία, επίσης την επισκευή των κατεστραμμένων πτερυγίων αντί της αντικατάστασης ολόκληρου του συγκροτήματος.
Η γραμμική συγκόλληση τριβής (LFW) είναι ένας τύπος τριβής συγκόλλησης , στην οποία μία συγκόλληση μεταξύ των τμημάτων σχηματίζεται εφαρμόζοντας μία δύναμη συμπίεσης ενώ κινείται με έναν παλινδρομικό τρόπο λειτουργίας.
Υπάρχουν τέσσερα στάδια (φάσεις) της διαδικασίας LFW. Στο αρχικό στάδιο τα δείγματα αγγίζονται υπό πίεση και αρχίζει η σχετική κίνηση τους, η οποία συνοδεύεται από μία μείωση της επιφανειακής τραχύτητας στην διεπιφάνεια της συγκόλλησης λόγω της φθορά από τριβή. Κατά το μεταβατικό (ελαστικό) στάδιο υπάρχει θερμότητα που παράγεται από την τριβή και την ελαστική παραμόρφωση των δειγμάτων. Όταν η πλαστική παραμόρφωση συμβαίνει στην φάση ισορροπίας που ακολουθεί, η οποία χαρακτηρίζεται από την αξονική βράχυνση λόγω της μετατόπισης του πλαστικού υλικού από τη ζώνη επαφής σε μορφή λάμψης. Στο τελικό στάδιο (σφυρηλάτησης) η μηχανική κίνηση σταμάτησε γρήγορα και η πρόσθετη πίεση σφυρηλάτησης μπορεί να εφαρμοστεί για να σχηματίσουν μια κοινή συγκόλληση.
Η διατύπωση ακριβών μαθηματικών και ηλεκτρονικών υπολογιστών μοντέλων είναι το αντικείμενο της παρούσας λεπτομερής μελέτης αυτής της διαδικασίας. Για απλότητα η προσομοίωση της διαδικασίας LFW διαιρείται σε διάφορα στάδια, και σε αυτό το έγγραφο, θα εξεταστεί μόνο η προσομοίωση του ελαστικού σταδίου της LFW με αριθμητικά μοντέλα χρησιμοποιώντας το μηχανικό πακέτο ANSYS .
Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε πειραματικά δεδομένα και θα διερευνήσει την επίδραση διαφόρων παραμέτρων σχετικά με την διάρκεια του ελαστικού σταδίου.

2.2 Προβλήματα διατύπωσης

Η αναλυτική προσομοίωση του ελαστικού σταδίου LFW είναι ένα σύνθετο πρόβλημα, δεδομένου ότι περιλαμβάνει πολλά φυσικά φαινόμενα:
1) Διαδικασίες θέρμανσης και ψύξης, όπου το οι νόμοι της θερμοδυναμικής εφαρμόζονται.
2) Ελαστικές παραμορφώσεις (χρησιμοποιώντας τους νόμους ελαστικότητας).
Στο πακέτο μηχανικής ANSYS Mechanical η σχέση μεταξύ των νόμων της μηχανικής και θερμοδυναμικής γίνεται μέσω δύο μηχανισμών. Ο πρώτος μηχανισμός είναι η θερμοελαστική παραμόρφωση, η οποία ασχολείται με την ελαστική παραμόρφωση και την θερμική διαστολή, περιγράφεται από την άποψη της εσωτερικής τάνυσης του στρες.

$\sigma_{ικ}= Kα(T-T_0)*\delta_{ικ}+ Kε_{ιι}* \delta_{ικ}+ 2μ (ε_{ικ}-1/3\ \delta_{ικ}*ε_{ιι})$
όπου α - συντελεστή θερμικής διαστολής, K^{-1}
K-μέτρο ελαστικότητας Pa,
μ - μέτρο διάτμησης, Pa

Δεύτερον, γίνεται μια σύνδεση με μια εξωτερική θερμότητα FFR πηγής στην εξίσωση που περιγράφει την παραγωγή θερμότητας λόγω τριβής. Ο νόμος τριβής επιλέγεται το μοντέλο ακολουθεί
Amontons-Coulomb νόμο:

$T_{fr} = λ(T)\ P_n$
όπου T_{fr} - ισοδύναμη διατμητική τάση, Pa
λ (T) - συντελεστής τριβής, ο οποίος εξαρτάται από τη θερμοκρασία
Pn - πίεση, κανονικά προς το επίπεδο κίνησης (ισοδυναμεί με δύναμη αντίδρασης), Pα

Μια εξωτερική πηγή θερμότητας δίνεται από:

$F_{fr} = T_{fr} *K_f*ν$
όπου kf - το ποσοστό της ενέργειας της τριβής που μετατρέπεται σε θερμότητα
v - ταχύτητα ολίσθησης, m / s.

Ένα δισδιάστατο θερμικό-μηχανικό πρόβλημα της διαδικασίας μεταξύ δύο ορθογώνιων δείγματα με περιοχή εγκάρσιας διατομής θεωρείτε ίσο με 338 mm2. Το άνω δείγμα ολισθαίνει επί της επιφανείας του κατώτερου δείγματος σύμφωνα με το άνω άκρο του άνω κινούμενου δείγματος με έναν ημιτονοειδή νόμο με συχνότητα f και πλάτος a. Η εφαρμοσμένη κίνηση σταδιακά και αυξάνεται γραμμικά από μηδέν έως μια μέγιστη τιμή A μέσα t_0 = 0,1 s από την αρχή της διαδικασίας. Αυτό είναι παρόμοιο με την πραγματικότητα, καθώς η πραγματική κίνηση των τριβομένων δειγμάτων στο μηχάνημα LFW πραγματοποιείται με έναν σταδιακό τρόπο. Τα δείγματα επίσης συμπιέζονται από μία κανονική δύναμη, η οποία αυξάνει γραμμικά από F_0 = 15 kN για την F1 σε ένα ποσοστό VF = 100 kN / s. Το κάτω μέρος του κάτω δείγματος είναι σταθμευμένο.
Η αρχική θερμοκρασία του δείγματος είναι ομοιόμορφη στους 293 K (θερμοκρασία δωματίου).
Η διαδικασία αυτή θεωρείται αδιαβατική. Το υλικό του μοντέλου θεωρείται ότι είναι ισότροπο και ελαστικό χρησιμοποιούνται οι ιδιότητες του κράματος VT6.Ο συντελεστής τριβής λ (T) ακολουθεί μία γραμμικά αυξανόμενη λειτουργία θερμοκρασία, η οποία βασίζεται στα προκαταρκτικά πειραματικά αποτελέσματα:
$λ(T)=0,3*10^{-4}(T-273)$.

2.3 Σύγκριση με πειραματικά δεδομένα

Για αυτά τα πειραματικά δείγματα χρησιμοποιήθηκε κράμα τιτανίου VT6 (ίδια βασική σύνθεση όπως Τί-6AI-4ν). Η συγκόλληση διεξάγεται σε μια μηχανή LFW για να εξασφαλιστεί η ορθή εφαρμογή των κατάλληλων συνθηκών συγκόλλησης.

Για σκοπούς επαλήθευσης το μοντέλο του υπολογιστή συγκρίνεται σε πειραματικά δεδομένα. Η διάρκεια της διαδικασίας πριν το αξονικό κόντεμα αρχίσει (2η φάση) επιλέχθηκε ως στόχο τη λειτουργία Φ αριθμητικών πειράματος. Το κριτήριο για την έναρξη της αξονικής βράχυνσης επιλέχθηκε να είναι ο συντελεστή kp, ο οποίος καθορίζει το κλάσμα των κόμβων με την γραμμή επικοινωνίας , φθάνοντας την απόδοση του στρες.

Ο στόχος της λειτουργίας Φ εξαρτάται από τις παραμέτρους της διαδικασία συγκόλλησης: την κανονική δύναμη F1, το πλάτος της ταλάντωσης A και την συχνότητα ταλάντωσης f. Για να εκτιμηθεί η επίδραση της αυτές οι παράμετροι για Φ, σχεδιάστηκε σε δύο επίπεδα πλήρους παραγοντικού πειράματος του τύπου 23. Τα ορια λειτουργίας της μηχανής της σχετικής ταχύτητας μπορούν να περιορίσουν την έκταση της μεταβολής που μπορεί να επιλεγεί για την συχνότητα και το εύρος όταν σχεδιάζουμε ένα τέτοιο πείραμα. Σε αυτό το παραγοντικό σχεδιασμό των μεταβλητών παραμέτρων έχουν επιλεγεί να είναι F1, το ένα προϊόν f, και η περίοδος ταλάντωσης 1 / f.

Ο στόχος της λειτουργίας Φ είναι η διάρκεια της ελαστικής φάσης. Αυτός ο χρόνος αντιστοιχεί στην αρχή του αξονικού κοντέματος εξαιτίας της παραμόρφωσης (προκειμένου να ληφθεί υπόψη το πειραματικό σφάλμα ως κριτήριο ορίστηκε στο 1% αρχικού δείγματος του μήκους συντόμευσης). Η μήτρα από τα σχεδιασμένα πειράματα, για μια σειρά από παραμέτρους συγκόλλησης, καθώς και το μήκος του χρόνου ελαστικής φάσης (με το αντίστοιχο του διάστημα εμπιστοσύνης) δείχνονται στον Πιν. 1.

Matrix of experimental design			**Welding parameters**			**Elastic stage duration**	
X1(F1)	***X2(A·f)***	***X3(1/f)***	***F1*, kN**	***A*, mm**	***f*, Hz**	***ts* = *to***	**± *dt*, s**
-1	-1	-1	25	1,5	50	0,309	0,059
1	-1	-1	40	1,5	50	0,399	0,037
-1	1	-1	25	2,3	50	0,632	0,059
1	1	-1	40	2,3	50	0,780	0,025
-1	1	1	25	2,5	30	0,352	0,021
1	-1	1	40	2,5	30	0,378	0,041
-1	1	1	25	3,8	30	0,591	0,039
1	1	1	40	3,8	30	0,685	0,081

Κατά τη διάρκεια της ενέργειας που παράγεται από τριβής μιας LFW πηγαίνει σε θερμότητα και στην εξομάλυνση της επιφανειακής τραχύτητας του δείγματος, έτσι το μοντέλο πρέπει να λαμβάνει υπόψη την KF παράμετρο - το ποσοστό της ενέργειας τριβής μεταφέρεται σε θερμότητα (βλ. Εξ. (1)). Η παράμετρος kf επηρεάζει άμεσα την ποσότητα της θερμότητας και κατά συνέπεια τη διάρκεια της διαδικασίας πριν από την έναρξη της αξονικής συντόμευσης.

Σε αριθμητικά πειράματα επιλέχθηκε ο στόχος της συνάρτησης Φ (A, f, F1,kf, kp). Οι παράμετροι kp και kf μεταβαλλόταν ώστε να επιτύχουν έναν αγώνα μεταξύ των τιμών των Φ του στόχου λειτουργίας- και πειραματικώς υπολογισμένο χρονικό διάστημα ts. Δεδομένου ότι υπάρχει ένα σύνολο τιμών (kp, KP) για κάθε σύνολο παραμέτρων διεργασίας (A, f, F1) τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα πρέπει να συγκρίνονται με τα πραγματικά πειράματα και επομένως τον προσδιορισμό ενός κοινού χώρου σε παραμετρικό χώρο (kp, kf), ο οποίος πληροί όλα τα πειραματικά δεδομένα.

Από αυτές τις μελέτες μοντελοποίησης της εξάρτησης λήφθηκε στόχος συνάρτησης Φ σχετικά με τις παραμέτρους kp, kf (Σχήμα 1α).

Χρησιμοποιώντας μια τμηματικά γραμμική παρεμβολή για κάθε kp τιμή, ορίστηκε a ζεύγος τιμών KF όταν η διάρκεια στο ελαστικό στάδιο Φ συνέπεσε με τα ανώτερα (Φ1 = t0 + dt) και κάτω (Φ2 = t0 - dt) όρια του διαστήματος εμπιστοσύνης ts. Εμφανίζονται οι τιμές πάνω σε ένα γράφημα συντεταγμένων (kp, KP), οι δύο καμπύλες που ελήφθησαν για τα άνω και κάτω όρια Φ1 Φ2 του διαστήματος εμπιστοσύνης. Οποιοδήποτε σημείο της περιοχής οριοθετείται από τις καμπύλες αυτές, η αξία της λειτουργίας του στόχου έγκειται εντός των διαστήματος εμπιστοσύνης ts, έτσι για τις αντίστοιχες τιμές από kp, kf τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συμπίπτουν με τα πειραματικά δεδομένα λαμβάνοντας υπόψη το πειραματικό σφάλμα (βλέπε πίνακα 1).

2.4 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσαρμογής

Την περαιτέρω αύξηση στην ακρίβεια της πρόβλεψης των παραμέτρων kp και kf, περιοχές που οριοθετήθηκαν από τις καμπύλες Φ1 και Φ2 σε παραμετρικό χώρο (kp, kf) κατασκευάστηκαν για όλα τα σύνολα των παραμέτρων A, f και F1 από Πίνακα 1. Είναι πρακτικά αδύνατο να προσδιοριστεί η συνολική αξία κάθε παραμέτρου εφαρμογής για όλα τα σύνολα των παραμέτρων. ως εκ τούτου οι παράμετροι (kp, kf) εξαρτώνται από τις αξίες της A, f και F1. Καθώς μπορεί να δει κανείς ότι υπάρχουν δύο περιοχές όπου υπάρχει επικάλυψη. Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των δύο περιοχών είναι με την αξία της κανονικής δύναμης F1. Τα βέλτιστα ζεύγη τιμών (kp, κστ) είναι κοντά στο διάστημα μεταξύ των τιμών (kp = 25%, KF = 38%) και (kp = 60%, kf = 42%) για την F1 = 40 kN και μεταξύ των τιμών (kp = 0%, kf = 44%) και (kp = 40%, KF = 49%) για ένα F1 = 25 kN. Δεν υπάρχει εξάρτηση των παραμέτρων (kp, kf) στο A και f, έτσι kp kp = (F1) και KP = KF (F1). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παράμετρος kf επηρεάζει σε ένα κυρίαρχο τρόπο με το στόχο λειτουργία Φ.

Με βάση αυτά τα δεδομένα υπήρξαν οι ακόλουθες λειτουργικές εξαρτήσεις μεταξύ παραμέτρων προσαρμογής και κανονικής δύναμης F1 (σε kN):

$k_p=1/3(5F_1-65)\%$ $k_f=(60-1/2F_1)\%$ (5)

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι η παράμετρος kf εξαρτάται σημαντικά από την δύναμη F1. Μείωση της F1 οδηγεί σε αύξηση της kp. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι με υψηλότερη αξία της κανονικής δύναμης ένα μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας τριβής πηγαίνει να μειώσει την τραχύτητα της επιφάνειας του δείγματος. Στη συνέχεια Εξ. (5) η παράμετρος kf δεν μπορεί να υπερβαίνει το 60%, λόγω του χαμηλότερου όριο της F1που είναι αναγκαίο για την επίτευξη συνθηκών συγκόλλησης VT6. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να διερευνηθεί περαιτέρω το αποτέλεσμα των χαμηλών τιμών της F1. Αλλά για το εύρος των τιμών δύναμης μελετήθηκαν, οι παράμετροι τοποθέτησης, που ορίζονται από την Εξ. (5), είναι καλή ποσοτική συμφωνία με πειραματικά δεδομένα που είναι εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης της TS.

2.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Οι μέγιστες τιμές για τη θερμοκρασία και το στρες εμφανίζονται σε όλη την επιφάνεια επαφής, και όπως ήταν αναμενόμενο αλλάζουν γραμμικά με το χώρο.

Για τις μεγαλύτερες τιμές της κανονικής δύναμης η κατανομή των τάσεων και της θερμοκρασίας στην περιοχή επαφής γίνεται πιο ομοιόμορφη, ενώ μια μικρότερη τιμή της κανονικής δύναμης οδηγεί σε μια υψηλότερη βαθμίδα θερμοκρασίας, υποδεικνύοντας ότι η πλαστική παραμόρφωση θα αναπτυχτεί μέσα σε μικρότερες περιοχές και να μην είναι σε όλα μεγαλύτερα τμήματα της διεπιφάνειας συγκόλλησης. Κατά συνέπεια, το αριθμητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από την ελαστική φάση υποδηλώνει ότι η χρήση μεγαλύτερων κανονικών δυνάμεων LFW είναι περισσότερο προτιμότερη καθώς παράγει ένα πιο ομοιόμορφο προτιμότερο θερμοκρασιακό πεδίο της διεπιφάνειας.

2.6 Συμπεράσματα

Αυτό το έγγραφο δείχνει ότι είναι κατάλληλο να μελετηθούν μόνο δύο παράμετροι προκειμένου να επιτευχθεί μια καλή ποσοτική συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και των πειραματικών δεδομένων. Η λειτουργική εξάρτηση των παραμέτρων προσαρμογής προσδιορίσθηκε με φυσιολογική δύναμη, η οποία οδηγεί σε ένα μοντέλο για ένα ευρύ εύρος των παραμέτρων της διεργασίας. Αυτό το μοντέλο μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως μια βάση για την ανάπτυξη ενός επαρκούς δισδιάστατου αριθμητικού μοντέλου της πλήρους διαδικασίας LFW.

3 Ενεργειακό Ισοζύγιο της διαδικασίας της γραμμικής συγκόλλησης τριβής

3.1 Εισαγωγή

Η συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας και της πλαστικής παραμόρφωσης κατά τη διάρκεια της γραμμικής συγκόλλησης τριβής οδηγούν σε μεταβολής της δομής της συγκόλλησης και της ζώνης θερμότητα (HAZ), σχηματίζοντας παραμένουσες τάσεις. Το πεδίο θερμοκρασίας στη γραμμική συγκόλληση τριβής έχει αποτελέσει το αντικείμενο της μοντελοποίησης σε χαρτιά που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της θερμοκρασίας των αναλυτικών λύσεων και της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων.
Η εξάρτηση του συντελεστή τριβής στη θερμοκρασία που χρησιμοποιείται στο μεγαλύτερο μέρος αυτών των χαρτιών για τον ορισμό οριακών συνθηκών στο επίπεδο της επαφής των συγκολλημένων δοκιμίων. Ερευνά τις οριακές συνθήκες στην επίπεδο των συγκολλημένων αρμών με βάση την ανάλυση της ενεργειακής ισορροπίας στην περιοχή σχηματισμού της ραφής συγκόλλησης. Η κατανομή της θερμότητας περιγράφεται σε αναλυτική λύση για την περίπτωση της μονοδιάστατης θερμικής αγωγιμότητας.

3.2 Προσδιορισμός της ισορροπίας ισχύος εξαρτημάτων

Απώλειες ενέργειας, που παρήχθησαν από τους υδραυλικούς κυλίνδρους περιέχονται στην θέρμανση των τεμαχίων εργασίας, λάμψης, απώλειες χάσαμε από τις επιφάνειες με συναγωγή και ακτινοβολία. Οι απώλειες δύναμης συσσωρεύουν θερμότητα στο εσωτερικό των συγκολλημένων εξαρτημάτων μέσω
του μηχανισμού της θερμικής αγωγιμότητας, η απώλεια θερμότητας είναι στο κάτω μέρος της ειφάνειας λόγω της ακτινοβολίας και της συναγωγής, και τις απώλειες δύναμης με μέταλλο, εξωθώντας το σε λάμψη. Έτσι, η εξίσωση ισορροπίας της δύναμης έχει τη μορφή:

$P_{inp} + P'_{inp} = P_{out} + P_{out}^{vol} + P_{out}^{surf}$ (1)

P_{INP} - ισχύς εισόδου από την ταλάντωση υδραυλικού κυλίνδρου.
Pinp' – ισχύς εισόδου από τη συντόμευση υδραυλικού κυλίνδρου.
Poutλ – η δύναμη αγωγιμότητας που χάνετε.
Poutvol - απώλειες ισχύος με μέταλλο, εξωθείται σε σε λάμψη.
Poutsurf - απώλειες ενέργειας από τις επιφάνειες από την ακτινοβολία και συναγωγή.

Αυτό το χαρτί εκτίμησης των συστατικών χρησιμοποιεί δεδομένα που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συγκόλλησης. για συγκρίσιμες προσπάθειες, μετατοπίσεις του δίσκου βράχυνσης είναι μικρές σε σύγκριση με την κίνηση ταλάντωσης του ενεργοποιητή, αντίστοιχα το $P_{INP'}$ είναι αμελητέο σε σύγκριση με το P_{INP}. Οι απώλειες ενέργειας κατά μέρος της επιφάνειας είναι επίσης μικρές σε σύγκριση με των άλλων συνιστωσών της εξίσωσης (1). Εξαιρουμένων συγκέντρωσης του PINP »και Poutsurf εξίσωση (1) γίνεται:

$P_{inp} = P_{out}^{vol} + P_{out}^{\lambda}$ (2)

Οι απώλειες ισχύος με μέταλλο, που εξωθήθηκαν σε λάμψη, μπορούν να υπολογιστούν με τη γνώση του ποσοστού της βράχυνσης, και την θερμοκρασία του εξωθημένου μετάλλου:

$P_{out}^{vol} = dz/dt * A * c\rho * (T_{mean} - T_0)$ (3)
dz/dt= ποσοστό βράχυνσης.
A= διατομή των δειγμάτων συγκόλλησης.
Cρ= Θερμοχωρητικότητα όγκου.
T_{mean}= μέση θερμοκρασία του εξωθούμενου μετάλλου.
T_0= Θερμοκρασία δωματίου.
Η ισχύς της θερμότητας, που παράγεται στις συγκολλημένες επιφάνειες, μπορεί να υπολογιστεί:

$P_{inp} = F_t * d_x/d_t$ (4)
dx/dt - ταχύτητα ταλάντωσης υδροηλεκτρικής κυλίνδρου.
Ft – δύναμη διατμισης σχετικά με τις συγκολλημένες επιφάνειες.
Η δύναμη διάτμησης επί των συγκολλημένων επιφανειών μπορεί να υπολογιστεί:

$F_t = F_\chi - m(d^2x/dt^2)$ (5)
d^2x/dt^2= επιτάχυνση της ταλάντωσης υδροηλεκτρικού κυλίνδρου.
m = μάζα της δόνησης μονάδων.
F_χ= δύναμη που παράγεται από την ταλάντωση του υδροηλεκτρικού κυλίνδρου.

Όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία των (2) - (5) σχέσεων μπορούν να υπολογιστούν με τα συνημμένα διαγράμματα LFW διαδικασίας , και δεδομένου της τιμής του T_{mean}. Δεδομένου ότι οι τιμές όλων των παραμέτρων των (2) - (5) ποικίλλουν πιο κοντά σε μια ημιτονοειδή μορφή, η τιμή της ισχύος εισόδου είναι ο μέσος όρος κατά την περίοδο των ταλαντώσεων. Οι τιμές Tmean είναι άγνωστες και μπορεί να διαφέρουν στο στάδια της διαδικασίας. Στην προτεινόμενη μέθοδο, η μέση θερμοκρασία του εξωθημένου μετάλλου, είναι στην πραγματικότητα ίδια της αρχικής προσεγγίσεως, θεωρείται ότι είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της όλης διαδικασίας συγκόλλησης, και πρέπει να καθορίζεται με μια επαναληπτική διαδικασία.

3.3 Πεδίο θερμοκρασίας υπολογισμού

Η υπολογιζόμενη τιμή του $P_{out\lambda}$, καθορίζει την ένταση της εργασίας των θερμαινόμενων κομματιών, και έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του πεδίου θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Με σκοπό ότι εμείς θα χρησιμοποιήσουμε το σύστημα υπολογισμού της θέρμανσης της ράβδου
(μονοδιάστατη μεταφορά θερμότητας).
Κατά τη διαδικασία της συγκόλλησης τριβής η θερμότητα εξάγεται στο επίπεδο των τεμαχίων επαφής, και εκτείνεται σε μία κατεύθυνση κάθετη προς το επίπεδο του αρμού. Υπό αυτές τις προϋποθέσεις, η διάδοση θερμότητας περιγράφεται από τη διαφορική εξίσωση:

$dT/dt = \lambda/c\rho\ (d^2t/dx^2) - bT$ (6)

Επιπλέον, η συσκευή της μαθηματικής φυσικής επιτρέπει την απόκτηση αναλυτικών λύσεων. Έτσι, η λύση των εξίσωση (6), ανάλογα με την περίπτωση ανέρχεται σε χρόνο t = 0 στο τμήμα της ράβδου με συντεταγμένες z = 0, το ποσό της θερμότητας Q εισέρχεται αμέσως. Η συνάρτηση είναι:

$\Delta T = Q/ c\rho f\sqrt{4\pi at} * \exp(-z^2/4at - bt)$ (7)

Προκειμένου να ληφθεί μια έκφραση που περιγράφει τη πεδίο θερμοκρασίας από το τρέχουσα πηγής θερμότητας για ένα μεγάλο χρόνο, η συνάρτηση (7) πρέπει να ενταχθεί με την πάροδο του χρόνου.
Έτσι, μία εξίσωση που περιγράφει την κατανομή της θερμοκρασίας στην ράβδο που θερμαίνει σταθερά 2-D την πηγή θερμότητας. Η συνάρτηση είναι:

$T = T_0 + 1/ c\rho f\sqrt{4\pi at}\int q(\tau)/\sqrt{t-\tau\alpha} * \exp(-z^2/(4a(t-\tau) - b(t-\tau))* dt$ (8)

q (τ) - Ο νόμος της μεταβολής που εξάγει η δύναμη με το χρόνο.
t - Χρόνος θέρμανσης.
F - Διατομή της ράβδου.
a - Συντελεστής θερμικής διαχυτότητας.
β - Συντελεστής επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας.
c - ικανότητα θερμότητας.
ρ – Πυκνότητα.
T_0 - Αρχική θερμοκρασία.

Το πεδίο θερμοκρασίας στο στάδιο της θέρμανσης σε συνθήκες χωρίς πλαστική ροή του μετάλλου μέσα στην άρθρωση θα μπορούσε να είναι περιγραφεί από αυτή την εξίσωση (8).
Από την πλαστική ροή στην κοινή κατανομή της θερμότητας στο τεμάχιο έχει αλλάξει - η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της τριβής και της πλαστικής παραμόρφωσης μεταδίδεται όχι μόνο βαθιά μέσα στο τεμάχιο λόγω της θερμότητας, αλλά παρασύρεται με τη μάζα του εξωθούμενων μετάλλων. Ως εκ τούτου, η προσέγγιση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας στην πηγή των πλαστικών παραμορφώσεων. Ωστόσο, το μήκος της πηγής των πλαστικών παραμορφώσεων στην κατεύθυνση κάθετη προς το επίπεδο της διεπιφάνειας είναι μικρό, το πλάτος των συνθηκών συγκόλλησης για τη συγκόλληση των κραμάτων τιτανίου δύο φάσεων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,5 .. 0.6 mm, το οποίο είναι 0,25 ... 0,30 χιλιοστά σε ένα κομμάτι.
Προφανώς, η προτεινόμενη προσέγγιση καθίσταται δυνατή για τον υπολογισμό του πεδίο της θερμοκρασίας, όχι μόνο κατά το στάδιο της θέρμανσης, αλλά επίσης και κατά το στάδιο του υλικού εξώθησης. Σε αυτήν την περίπτωση, η ταχύτητα ίση με τον ρυθμό καθίζησης πρέπει να ανατεθεί στην πηγή θερμότητας. Η κατανομή θερμοκρασίας στην ράβδο, που θερμαίνεται από ένα διακινούνται πηγή θερμότητας περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$T = T_0 + 1/ c\rho f\sqrt{4\pi at}\int q(\tau)/\sqrt{t-\tau\alpha} * \exp((z-fz(\tau))^2/(4a(t-\tau) - b(t-\tau)))* dt$ (9)
fz(τ)= Ο νόμος της μετακίνησης της πηγής θερμότητας.

Η εξάρτηση από το fz (t) έχει γίνει δεκτή σύμφωνα με τα διαθέσιμα πειραματικά στοιχεία για την καθίζηση κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

3.4 Εικασίες διορθωτικών τιμών Tmean.

Κατά τον υπολογισμό της εκτιμώμενης κατανομής θερμοκρασίας T (z, t) και το πλάτος της συγκόλλησης θα μπορούσε να αξιολογηθεί η τιμή S του επιλεγμένου T_{mean}. Για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητο να συγκρίνουν τα μέγεθος της P_{outvol} σε σταθερή κατάσταση με τη υπολογιζόμενη τιμή της θερμικής ενέργειας:

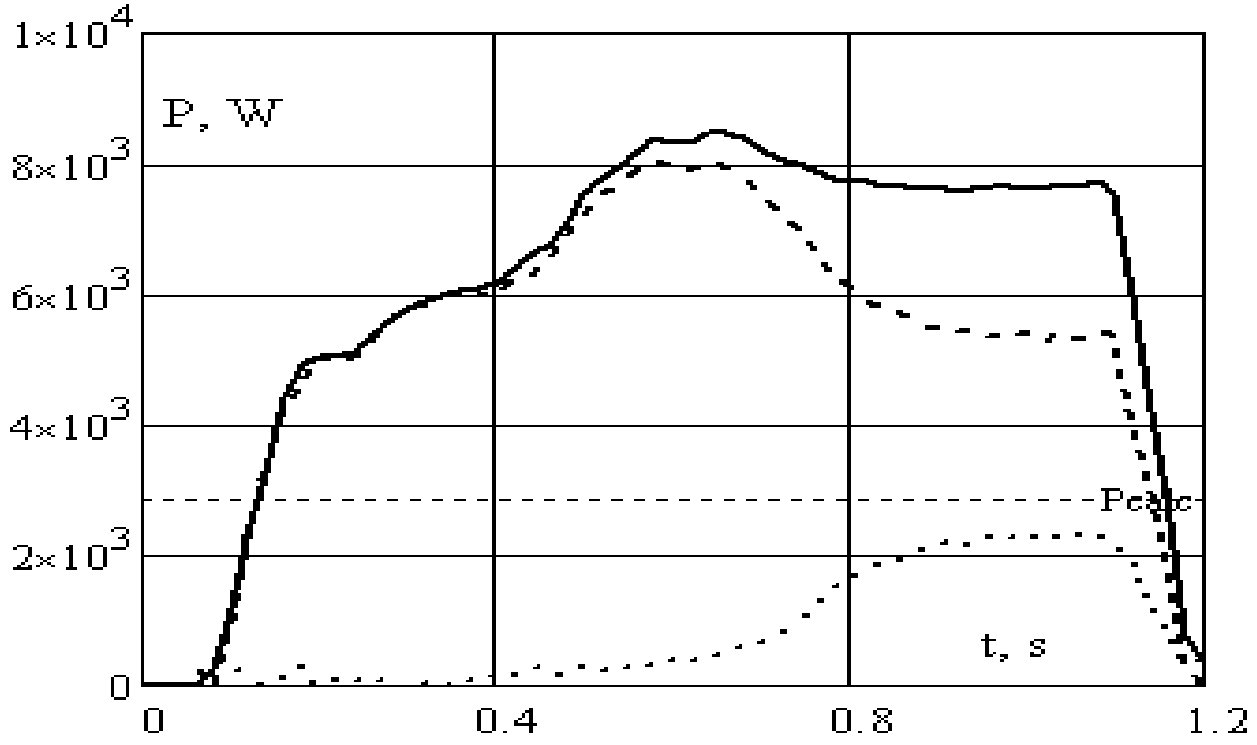
$Pcalc = sdt/dz* F* c\rho\int (T- T_0)dz$ (10)

Η προτεινόμενη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί το πεδίο θερμοκρασίας για τη συγκόλληση των τριών διαφορετικών συνδυασμών κύκλων συγκόλλησης (συνημμένο πίνακα 1). Στον πίνακα 1 s είναι το πλάτος της συγκόλλησης και h – ύψος κοντέματος.

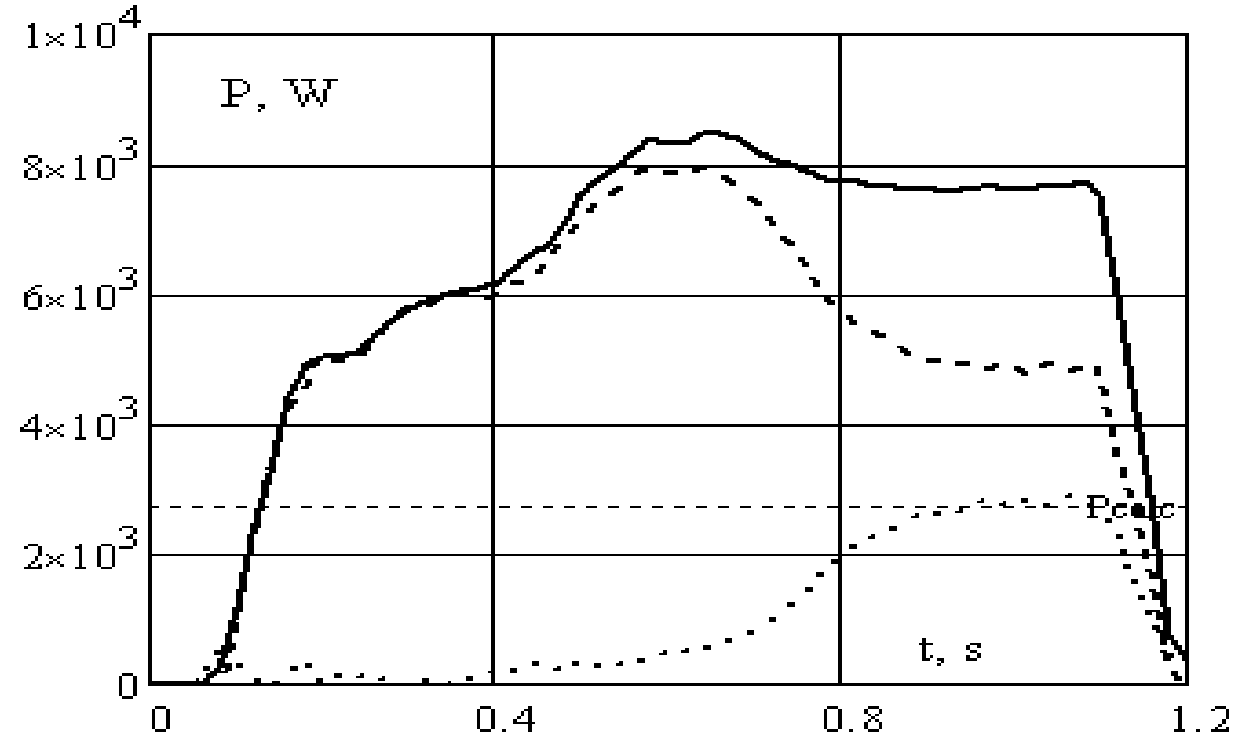
Πίνακας 1: Παράμετροι κύκλων συγκόλλησης

	α , mm	f , Hz	Fz, K_N	h, mm	s, mm	T_{mean}, K
Welding cycle (a)	2.3	50	40	2	0.62	1300
Welding cycle (b)	2.0	50	35	2	0.65	1350
Welding cycle (c)	2.5	30	25	2	0.68	1350

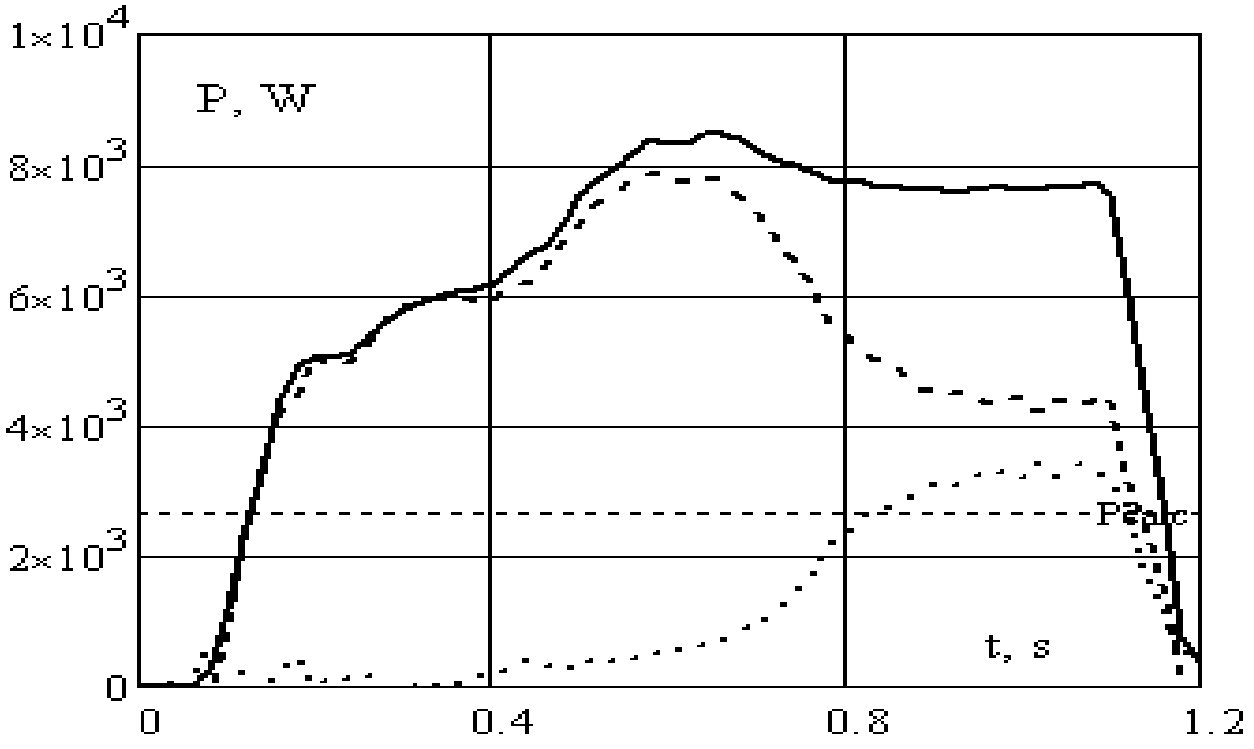
Αλλαγές στις συνιστώσες καμπυλών της δύναμης ισοζυγίου που έχουν κατασκευαστεί για τις εξεταζόμενους συνδυασμούς παραμέτρων ,φαίνονται στο ΣΧ. 1. Η τιμή της P_{CALC} υποδεικνύεται με τις γραφικές παραστάσεις σαν διακεκομμένη γραμμή. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του πεδίου της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης φαίνονται στο ΣΧ. 2 και 3.



A)



β)



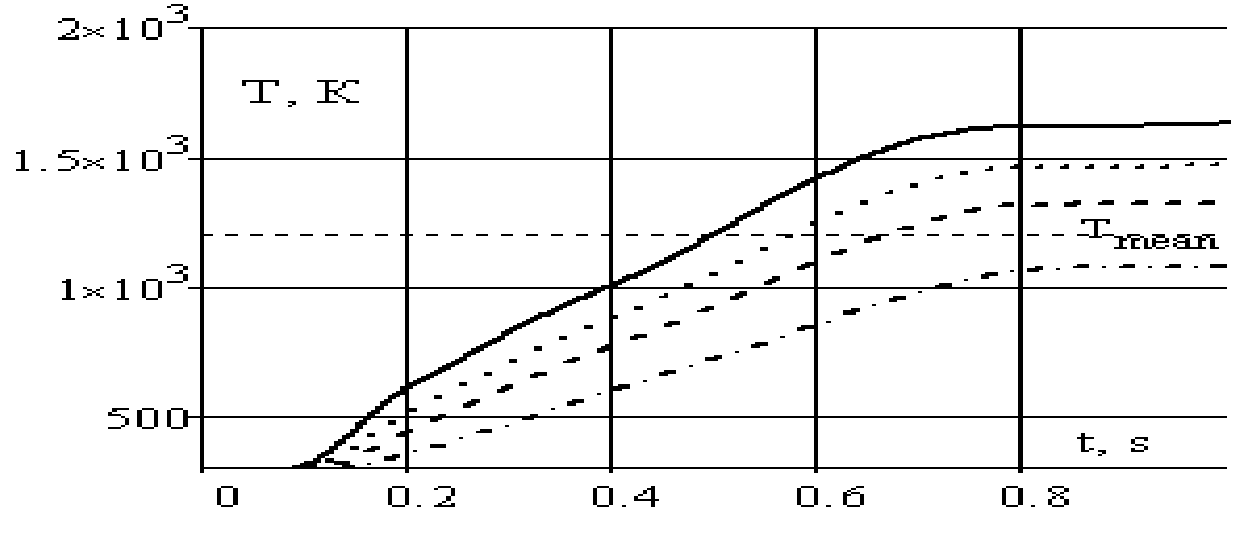
γ)

___ Ισχύς εισόδου

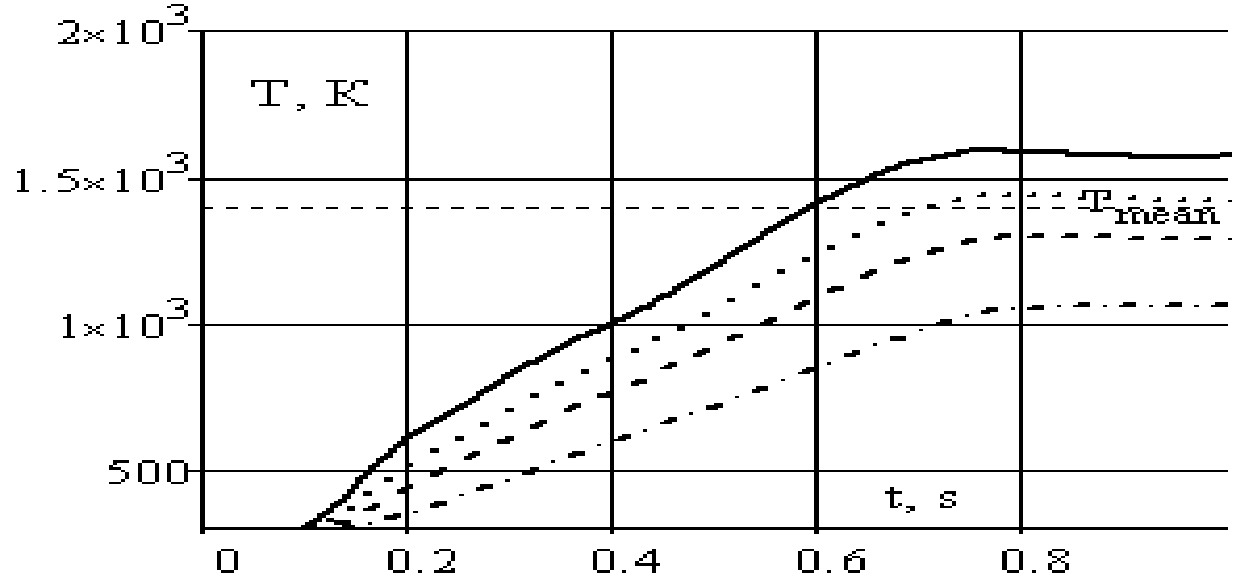
..... Χαμένο υλικό από το μέταλλο εξώθησης.

---- Θερμοχωρητικότητα δαπανήθηκαν για τεμάχια

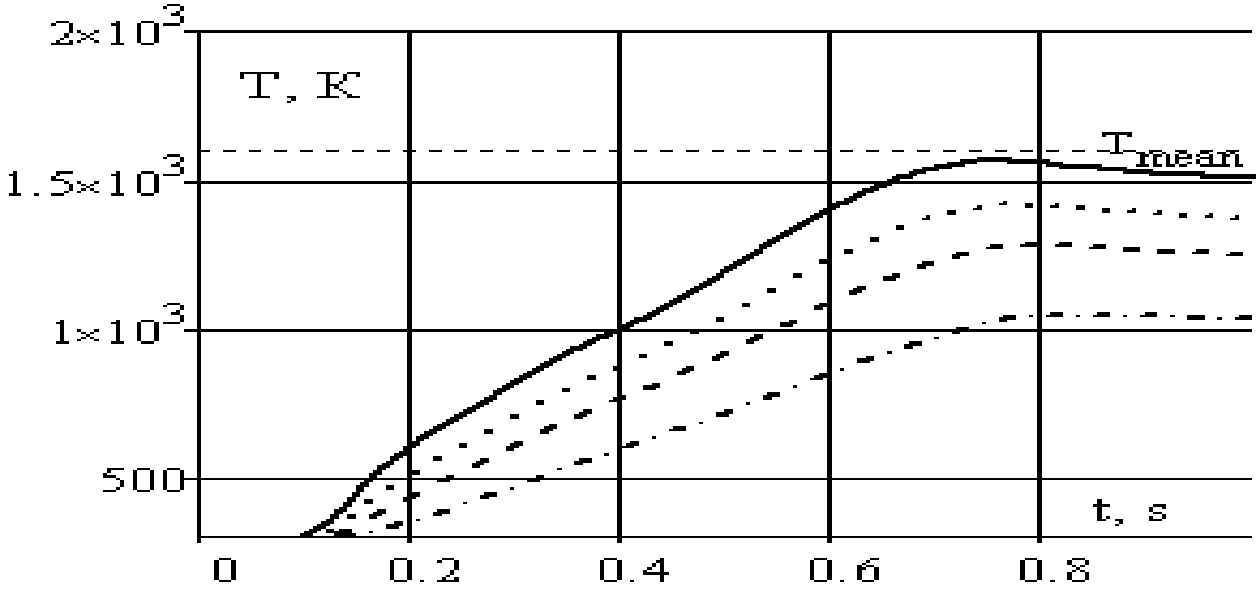
ΣΧ. 1. Αλλαγή των συνιστωσών της ισορροπίας δυνάμεων στην εξίσωση (2) για τον κύκλο συγκόλλησης με διαφορετικούς συνδυασμούς παραμέτρων συγκόλλησης. (τα σχήματα πάνω)



(α)



(β)



(γ)

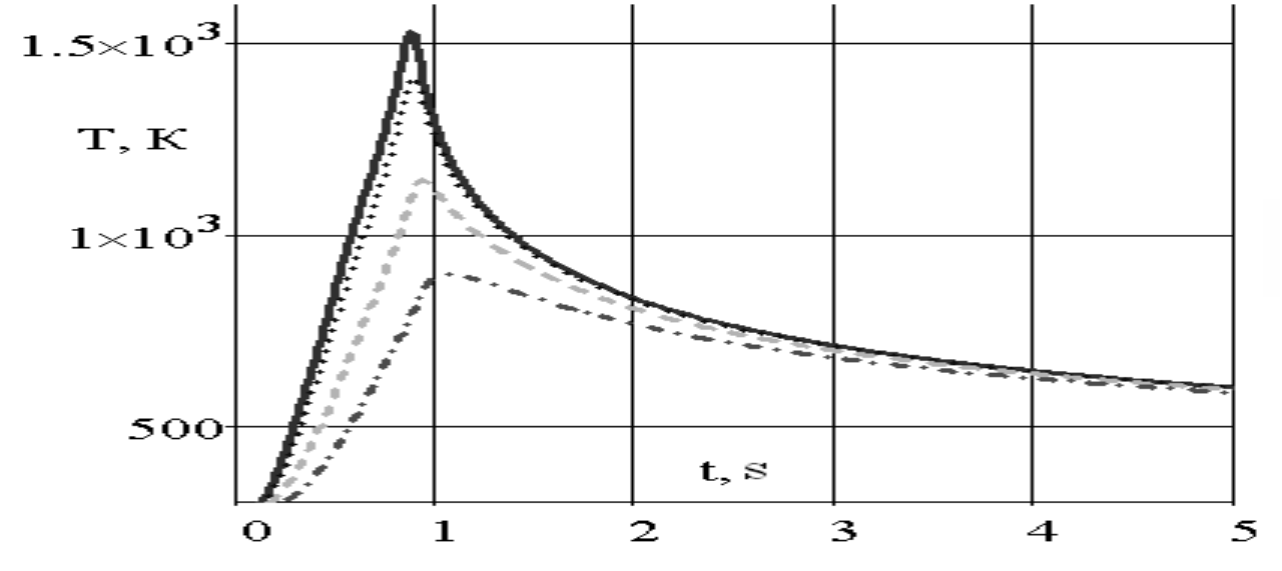
___ Τμήμα της άρθρωσης

..... 0,25 χιλιοστών από το τμήμα της άρθρωσης

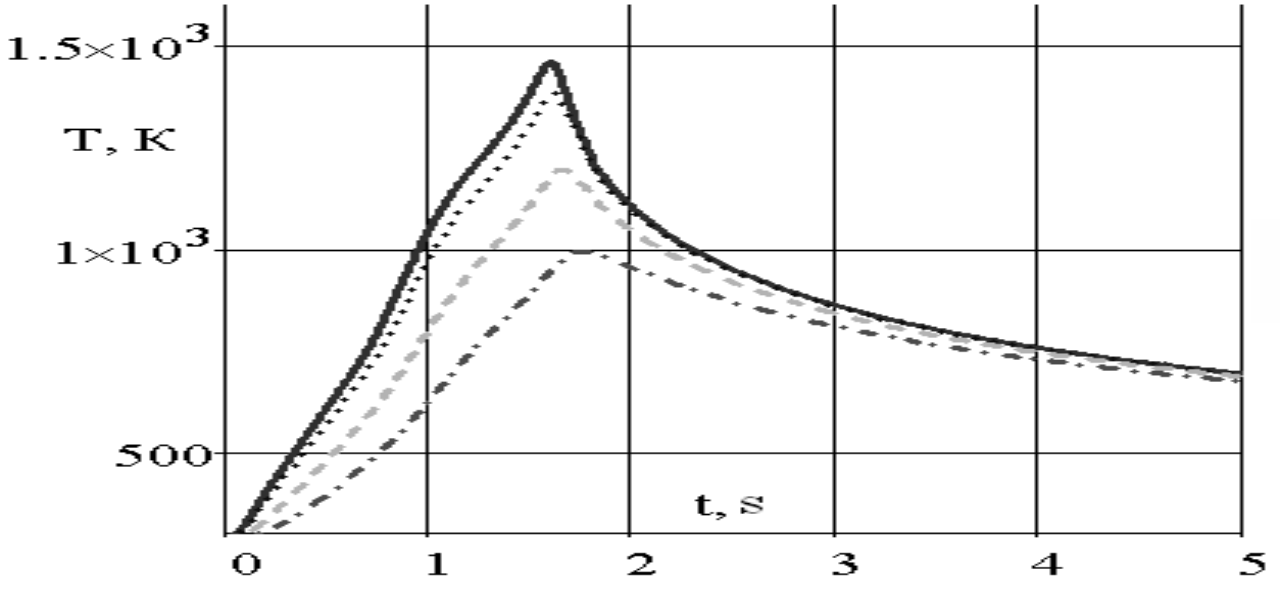
----- 0,5 χιλιοστών από το τμήμα της άρθρωσης

- - - 1,0 χιλιοστών από το τμήμα της άρθρωσης

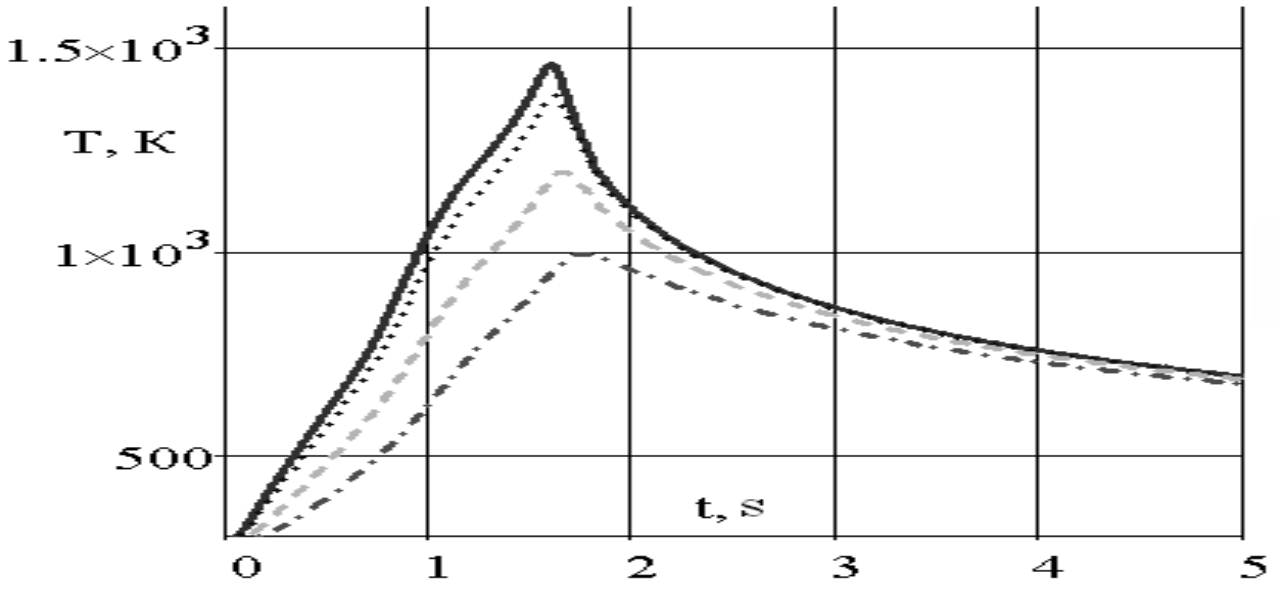
ΣΧ. 2. Αλλαγή της θερμοκρασίας που υπολογίστηκε σε διατομές σε διαφορετικές αποστάσεις από το επίπεδο της άρθρωσης για τη συγκόλληση με διαφορετικές τιμές των παραμέτρων συγκόλλησης.



(α)



(β)



(γ)

__ Τμήμα της άρθρωσης
..... 0,25 χιλιοστών από το τμήμα της άρθρωσης
----- 0,5 χιλιοστών από το τμήμα της άρθρωσης
.. - - - 1,0 χιλιοστών από το τμήμα της άρθρωσης

ΣΧ. 3. Θερμικοί κύκλοι διατομών που βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από το κοινό.

3.5 Πεδίο θερμοκρασία μοντελοποίησης για διάφορους κύκλους συγκόλλησης.

Οι κύκλοι συγκόλλησης (α) και (γ) αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές F_Z και a × f του υπό διερεύνηση εύρους. Όπως φαίνεται στο σχήμα. 1 η αύξηση του F_Z και a × f οδηγεί στην αύξηση της ισχύος εισόδου και στη μείωση του χρόνου συγκόλλησης. Όπως φαίνεται από το Σχήμα. Α η διακύμανση στις καμπύλες θερμοκρασίας για γραμμικές τριβής συγκόλλησης είναι συνεπής με την αποδεκτή θεωρία της θερμικής διεργασίας στο τμήμα συγκόλλησης όλη τη διάρκεια της υπό θέρμανσης, σχεδόν σταθερής περιόδου κατάστασης και της περιόδου εξισορρόπησης της θερμοκρασίας.
Στην περίπτωση (α) σε μία χαμηλότερη τιμή της μέσης θερμοκρασίας η θερμοκρασία Tmean στο επίπεδο της διεπιφάνειας ήταν υψηλότερη. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε υψηλότερες βαθμίδες θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια συγκόλλησης για τους "σκληρούς" κύκλους συγκόλλησης και τις παραδοχές που υιοθετήθηκαν κατά τον υπολογισμό.
Στο αρχικό στάδιο της γραμμικής συγκόλλησης τριβής θερμότητας είναι που προκαλείται κυρίως από την τριβή στην άρθρωση, και την προσέγγιση μιας πηγής θερμότητας 2-D που αντιστοιχεί στην πραγματικές συνθήκες. Στο στάδιο του σταθερού σχεδίου, ο κυρίαρχος μηχανισμός είναι η διάχυση της ενέργειας κατά τη διάρκεια της μηχανικής πλαστικής παραμόρφωσης, η θερμότητα στην περίπτωση αυτή κατανεμήθηκε σε ολόκληρο τον όγκο που εμπλέκεται σε μια ιξωδοπλαστικη ροή. Το συνημμένο καθεστώς είναι μια συμπυκνωμένη πηγή θερμότητας, αντί να διανέμεται, δίνει υπερεκτιμήσεις τιμών της θερμοκρασίας στο σημείο συγκόλλησης, και για την εκτίμηση της θερμικής κατάστασης στη ζώνη συγκόλλησης είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί η μέση θερμοκρασία Tmean.

3.6 Περίληψη και συμπεράσματα

1. Κατά τη διάρκεια της ισορροπίας γραμμικής τριβής συγκόλλησης έχει καθιερωθεί μεταξύ των ταλαντώσεων των εισροών ενέργειας από τη μία, αντίθετα, η ενέργεια εξόδου της ζώνης συγκολλήσεως στη ανάφλεξη, που εκτρέπεται προς το τεμάχιο εργασίας από την άλλη πλευρά. Περισσότερο από το 1/3 των εισροών έρχεται με την ανάφλεξη στην περίπτωση των εξεταζόμενων συνδυασμών παραμέτρων του κύκλου.
2. Παρά τη μικρή διάρκεια του κύκλου, κατά τη διάρκεια της διαδικασία συγκόλλησης οι διαδικασίες υπό θέρμανση πηγαίνουν σε πλήρες φορά και εγκαθίσταται ημιστατικό πεδίο θερμοκρασίας.
3. Η προτεινόμενη μέθοδος επιτρέπει την ανάλυση της κινηματικής και της δύναμη παραμέτρων, που καταγράφηκαν κατά τη γραμμική συγκόλληση τριβής ,η εκτίμηση του κλάσματος της θερμικής ενέργειας στην ανάφλεξη εκτρέπει, και μια μονοδιάστατη θερμοκρασία διανομής στη ζώνη συγκόλλησης T (z, t).

4 Συγκόλληση υψηλής συχνότητας γραμμικής τριβής από κράμα τιτανίου

4.1 Εισαγωγή

Έχει γίνει γνωστό για ένα μεγάλο χρονικό φορά ότι η μηχανική ενέργεια που παράγεται στην αντιμετώπιση τριβής μεταξύ συνεχούς κινούμενων επιφανειών ότι μετατρέπεται σε θερμότητα. Στις περισσότερες περιπτώσεις η θερμική ενέργεια που παράγεται θεωρείται ως ανεπιθύμητη, αλλά υπό ελεγχόμενες συνθήκες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενώσει υλικά όπως στην περίπτωση της συγκόλλησης τριβής.
Η συγκόλληση τριβής είναι μια διαδικασία στερεάς κατάστασης για την ένταξη υλικών μαζί, μέσω της στενής επαφής από πλαστικοποιημένη επιφάνεια. Η κατάλληλη κατάσταση διεπιφάνειας παράγεται από τη θερμότητα και από επαφή τριβής όπως κινείται ένα εξάρτημα με επαφή πίεσης με την επιφάνεια ζευγαρώματος. Η συγκόλληση συνήθως ενοποιείτε από τη δύναμη σφυρηλάτησης, που εφαρμόζεται μετά την παύση της σχετικής κίνησης. Η άρθρωση που δημιουργήθηκε, έχει μια περιορισμένη ζώνη επίδρασης της θερμότητας, και τα εκθέματα υλικού πλαστικής παραμόρφωσης γύρω από τη συγκόλληση η οποία έχει εξωθηθεί λόγω των υψηλών εσωτερικών πιέσεων.
Υπάρχουν τρεις βασικές παραλλαγές της συγκόλλησης τριβής: περιστροφική, τροχιακή και γραμμική (Σχήμα Ι). Η περιστροφική συγκόλληση τριβής, είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος, όπου το αντικείμενο εργασίας περιστρέφεται καθώς τα δύο τεμάχια εργασίας ενώνονται κάτω από την πίεση τριβής.
0 Η τροχιακή παραλλαγή της συγκόλλησης τριβής μπορεί να ενώσει στενά μη κυκλικά μέρη, όπως τα δύο εξαρτήματα που περιστρέφονται στην ίδια κατεύθυνση με την ίδια ταχύτητα, αλλά με τους άξονές τους να έχουν αντισταθμιστεί, με αποτέλεσμα να έχουμε ομοιόμορφη μιας κατεύθυνσης σχετική ταχύτητα μεταξύ των δύο κατεργαζόμενων τεμαχίων πάνω από την συνολική έκταση διεπιφάνειας. Όταν η κίνηση των εξαρτημάτων παύει στην τελευταία αυτή περίπτωση, τα τμήματα πρέπει να είναι σωστά ευθυγραμμισμένα για το σχηματισμό συγκολλήσεως.
Σε γραμμική συγκόλληση τριβής, το ένα μέρος κινείτε σε σχέση με το άλλο με μία γραμμική παλινδρομική λειτουργία υπό πίεση τριβής.
Η γραμμική συγκόλληση τριβής είναι μια σχετικά νέα διαδικασία που αποσκοπεί στην επέκταση των υφιστάμενων εφαρμογών για περιστροφική συγκόλληση τριβής μη αξονοσυμμετρικών εξαρτημάτων. Ωστόσο, οι δύο διαδικασίες διαφέρουν σημαντικά στη λειτουργία της εισαγωγής της θερμότητας και στο πεδίο του στρες που επιβλήθηκε στην πλαστικοποιημένη στρώση [Ι], και συνεπώς υπάρχοντα μαθηματικά μοντέλα για περιστροφική συγκόλληση τριβής δεν ισχύουν άμεσα για γραμμική συγκόλληση τριβής.
Η πιο ομοιόμορφη διεπιφανειακή παραγωγή ενέργειας υπάρχει σε γραμμική τριβή συγκόλλησης που μπορεί να ευθύνεται για τις υψηλότερες συγκολλήσεις ακεραιότητας οι οποίες σχετίζονται με τη διαδικασία.
Σε αντίθεση με την περιστροφική συγκόλληση τριβής όπου ένα σημαντικό ποσό της εργασίας έχει δημοσιευθεί, λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες στη βιβλιογραφία σχετικά με την γραμμική συγκόλληση τριβής. Τα διαθέσιμα δημοσιευμένα στοιχεία επικεντρώνονται κυρίως στα θερμοπλαστικά και στις παραμέτρων συγκόλλησης τους. Ωστόσο, τέτοια πλαστικά είναι διαφορετικά από τα συνήθη μέταλλα που υπάρχουν μόνο δύο διακριτές φάσεις, στερεή ή υγρή.
Πρόωρες αναφορές της συγκόλλησης τριβής των μετάλλων που χρησιμοποιούναι την τροχιακή μηχανή συγκόλλησης, που καλύπτει το εύρος των χαμηλών συχνοτήτων (Μέχρι 25 Hz), αν και παρουσιάζει τα αποτελέσματα των πειραμάτων με διάφορα υλικά, δεν παρέχει θεωρητικά μοντέλα για την κατανόηση της διαδικασίας. Ταυτόχρονα μια αληθινή μηχανή παλινδρομικής συγκόλλησης χτίστηκε στο Πανεπιστήμιο του Bristol για να μελετήσει την χαμηλή συχνότητα συγκόλλησης γραμμικής τριβής Ti 6AI 4V.
Το συμπέρασμα ήταν ότι η επιτυχής συγκολλήσεις κατά την πρόσκρουση τιμών ενέργειας σε σύγκριση προς την αρχική αντοχή του υλικό θα μπορούσε να επιτευχθεί σε χαμηλές ταχύτητες τριβής.

Πιο πρόσφατα το κράμα AI-Fe-V-Si 8009 έχει συγκολληθεί σε 50 Hz, όπου παρατηρήθηκε ότι ένας λιγότερο έντονος κύκλος θέρμανσης σε γραμμική συγκόλληση τριβής, σε σύγκριση με την αδράνεια συγκόλλησης της τριβής, απαιτείται για να προκαλέσει μαλάκωμα στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη.

Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στα διαφορετικά προφίλ θερμοκρασίας που δημιουργούνται στις δύο διαδικασίες, ιδίως τη μη γραμμική θερμική ισχύ εισόδου σε περιστροφική συγκόλληση τριβής, λόγω της μεταβολής της ταχύτητα τριβής με την ακτίνα. Σε περιστροφικό συγκόλληση τριβής, η μέγιστη θερμοκρασία παράγεται μακριά από το κέντρο του δείγματος, ενώ σε γραμμική συγκόλληση τριβής έχει αποδειχθεί ότι είναι στο κέντρο [I] της ζώνης και κατά συνέπεια, της αντοχής συγκόλλησης.

Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί [5], ότι στην ένωση Ti-14-21 και Ti-6242CS ,τη έκθεση σε supertransus θερμοκρασίες και τη ταχεία μείωση της θερμοκρασίας σε μικρότερη από τη θερμότητα ζώνης, ενθαρρύνει μικροδομικές παραλλαγές με μαρτενσιτικά προϊόντα. αυτό παράγει εντοπισμένη σκλήρυνση στη διεπιφάνεια συγκόλλησης, η οποία μπορεί να κάνει τις αρθρώσεις ισχυρές, αλλά με μικρότερη αντοχή, έτσι ώστε η παρουσία από μια μικρότερη ζώνη επίδρασης της θερμότητας σε γραμμική συγκόλληση τριβής να μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ακεραιότητα των συγκολλήσεων σε υλικά που υπόκεινται φάση μετασχηματισμού εντός του φάσματος θερμοκρασίας της διαδικασίας, εκτός εάν μετά τη διαδικασία θερμικής επεξεργασίας χρησιμοποιηθεί.

Παρά τα σχετικά μεταλλουργικά προβλήματα, η γραμμική τριβή συγκόλλησης είναι μια διαδικασία που έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε εφαρμογές αεροδιαστημικής βιομηχανίας για την προσαρμογή των πτερυγίων για δίσκους και στη μεταγενέστερη επισκευή κινητήρων αεροσκαφών, και στην κατασκευή aero δαχτυλίδιών κινητήρα [6].

Ωστόσο, η περιοχή συχνοτήτων έχει διερευνηθεί μέχρι τώρα εμπορικά και πειραματικά (25 -30 Hz) ,είναι σχετικά χαμηλή και το πλάτος της ταλάντωσης είναι σχετικά υψηλό (2-3 ram), ενώ δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι αυτές οι παράμετροι είναι οι βέλτιστες. Έχει αποδειχθεί [3], ότι μία κρίσιμη ροή θερμότητας απαιτείται για την συγκόλληση με επιτυχία Ti 6AI 4V.

Αυτή η ροή θερμότητας είναι ανάλογη προς το αξονικό φορτίο, το πλάτος και της συχνότητας ταλάντωσης. Προκύπτει ότι η αύξηση της συχνότητας για ένα δεδομένο πλάτος της ταλάντωσης μπορεί να επιτρέψει τις αξονικές δυνάμεις που πρέπει να μειωθούν, καθιστώντας δυνατή να ενταχθεί σε σχετικώς ευαίσθητα εξαρτήματα όπως πτερύγια, με επιτυχία, χωρίς λυγισμό. Ωστόσο, οι δυνάμεις αδρανείας αυξάνονται ως το τετράγωνο της συχνότητας που σημαίνει ότι θα χρειαστεί ιδιαίτερη προσοχή στη μέθοδο εκμετάλλευσης. Αντιστρόφως, εάν το πλάτος της ταλάντωσης μειώνεται, η συχνότητα θα πρέπει απαραίτητα να αυξηθεί αναλογικά LBR και το ίδιο αξονικό φορτίο, που οδηγεί σε παρόμοια συμπεράσματα. Αυτή θα μπορούσε, ωστόσο, να είναι μια χρήσιμη στρατηγική για TBR υλικά επιρρεπή σε οξείδωση, καθώς θα μειώσει την περιοχή διεπιφάνειας της επικάλυψης που εκτίθεται στην ατμόσφαιρα.

Υπάρχουν αποδείξεις ότι η βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διεργασίας σε γραμμική τριβή συγκόλλησης δεν έχει ακόμη διερευνηθεί επαρκώς. Πρωταρχικός στόχος αυτού του έργου, ως εκ τούτου, ήταν ο σχεδιασμός και η κατασκευή μιας γραμμικής μηχανής συγκόλλησης τριβής για να επιτρέψει πειράματα να διεξάχθούν σε διάφορες συχνότητες ,πλάτη της ταλάντωσης και αξονικές δυνάμεις.

Το επιλεγμένο υλικό για αυτή τη μελέτη ήταν το Ti 6AI 4V, το οποίο είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο κράμα τιτανίου στην αεροναυπηγική βιομηχανία, και έχει χρησιμοποιηθεί από έναν αριθμό κατασκευών αεροσκαφών κινητήρων σε γραμμική τριβή συγκόλλησης στο σύνολο των δίσκων του στροβίλου. Ωστόσο, είναι ένας ρυθμός στελέχους ευαίσθητου υλικού και αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη. Μολονότι υπάρχει η ανάγκη για μείωση των δυνάμεων προκειμένου να συγκολλήσει ευαίσθητα εξαρτήματα, δεν είναι σαφές σε ποιο βαθμό τα χαρακτηριστικά ρυθμού καταπόνησης του υλικού είναι σημαντικά σε γραμμική συγκόλληση τριβής.

4. 2 Μηχανή γραμμικής συγκόλλησης τριβής

4.2.1 Σχεδιασμός

Οι παράλληλες δοκοί (αντικείμενο 31), που είναι στο σταθερό τσοκ χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση της διατμητικής δύναμης που ενεργεί για την διεπιφάνεια τριβής μέσω οργάνων μέτρησης της καταπόνησης. Η διαμόρφωση του στελέχους της γέφυρας είναι τέτοια ώστε να αντισταθμίσει τις αλλαγές της θερμοκρασίας, η μηδενική εξωτερική κάμψη στελεχών και να συνοψίσουν σε θλίψη τα στελέχη στις δοκούς. Κάθε δοκός έχει ένα ξεχωριστό στέλεχος της γέφυρα, τα σήματα αθροίζονται ηλεκτρονικά μετά ενισχύσεως.

4.3Πειραματικά αποτελέσματα και συζήτηση

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε 293 K (θερμοκρασία δωματίου) και στις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα δείγματα ήταν κατασκευασμένα από μπάρα απόπτυσης έως 10 mm (L) τουλάχιστον κατά 6 mm (W) διαστάσεων, όπου το μήκος (L) του δείγματος είναι η κατεύθυνση της κίνησης. Τα πλάτη ταλάντωσης μελετήθηκαν για 0,92 χιλιοστών και 3 ram, και το εύρος συχνότητας διερευνήθηκε από 10 Hz έως 119 Hz. Ένα μεγάλο ενιαίο πλάτος λοβωτού έκκεντρου χρησιμοποιήθηκε για να εξερευνήσετε την περιοχή χαμηλής συχνότητας σε ένα πλάτος ταλάντωσης που είχε χρησιμοποιηθεί προηγουμένως [3], ενώ ένα μικρό πλάτος τεσσάρων λοβών έκκεντρου χρησιμοποιήθηκε για να διερευνήσει υψηλότερες συχνότητες ταλάντωσης για την ίδια τριβή ταχύτητας.

Η διαδικασία παρακολουθήθηκε με καταγραφή της αξονικής μετατοπίσεως του στατικού τσοκ και η δύναμη διάτμησης εξασκείται επί τη διεπιφάνεια τριβής. Η αξονική μετατόπιση έδωσε ένα λογαριασμό της κίνησης του στατικού τσοκ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, επιτρέποντας τη μάζα να αποβληθεί από το περιβάλλον τριβής, όπως πρέπει να υπολογιστεί. Η διατμητική δύναμη καταγράφεται μαζί με την κανονική δύναμη που εφαρμόζεται στα δείγματα τριβής, που χαρακτηρίζεται από τη κατάσταση στρες στο περιβάλλον και τον εμφανής συντελεστής τριβής.

Η διασταύρωση του θερμοστοιχείου ήταν αρχικά 0,7 mm από την διεπιφάνεια τριβής, και το πείραμα ήταν να κάνει μία βαθμωτή κατατομή πιέσεως τριβής για να διερευνήσει τις θερμοκρασίες που επιτεύχθηκαν κατά τα πρώτα στάδια της διαδικασίας. Το οροπέδιο που επιτεύχθηκε κατά την έναρξη αντιστοιχεί σε 630 ° C και αντιπροσωπεύει τη φάση [I] (όπως περιγράφεται στο τμήμα [3]).

Η δύναμη διάτμησης παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου και δεν υπάρχει αξονική βράχυνση .Μετά από αυτό το στάδιο, η αυξημένη πίεση τριβής για εξώθηση εμφανίζεται (όπως περιγράφεται φάση I! συνθήκες στο τμήμα 3, I) και η θερμοκρασία κορυφής που καταγράφηκε ήταν 840 ° C. Αυτό επιτεύχθηκε όταν το θερμοστοιχείο έφθασε τη διεπιφάνεια, μετά κάποιο υλικό εξωθήθηκε από τις πλευρές.

4.3.1 Διαδικασία μοντελοποίησης

Η γραμμική διαδικασία συγκόλλησης τριβής που παρατηρείται έχει τέσσερις διακριτές φάσεις.

4.3.1.1 Φάση 1, αρχική φάση

Κατά τη διάρκεια της αρχικής φάσης πλακιδίων τα δύο υλικά που είναι υπό πίεση. Σε αυτό το στάδιο, οι δύο επιφάνειες στηρίζονται σε τραχύτητες, και στη θερμότητα που παράγεται από στερεά τριβή.
Η περιοχή της επιφάνειας επαφής αναμένεται να αυξηθεί σε όλη αυτή τη φάση. Αν και η διατμητική δύναμη αναμένεται να αυξηθεί ως συνέπεια της αύξησης στην περιοχή επαφής, παραμένει λογικά σταθερή. Αυτό πιστεύω ότι οφείλεται στο γεγονός ότι η τάση διαρροής διάτμησης μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, η οποία αντισταθμίζει τις αυξήσεις στην αληθινή περιοχή επικοινωνίας. Δεν υπάρχει διείσδυση συγκόλλησης σ αυτό το στάδιο. Οι μέγιστες θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται είναι της τάξης των 630 ° C.
Κατά τη διάρκεια της φάσης 1, εάν η ταχύτητα στη διεπιφάνεια είναι πολύ χαμηλή για μία δεδομένη αξονική δύναμη, θα παραχθεί ανεπαρκής θερμότητα. Η θερμότητα που εφαρμόζεται πρέπει να είναι ίση με εκείνη που πραγματοποιείται μακριά από το περιβάλλον εργασίας και χάνεται δια της ακτινοβολίας, αν όχι η χαμηλότερη θερμοκρασία επιτυγχάνει την ισορροπία και αυτό θα οδηγήσει σε ανεπαρκή θερμική μαλάκυνση για την πραγματική επιφάνεια επαφής για να φθάσει το 100% . Η φόρα πλαστικοποιημένου στρώματος στη διεπιφάνεια για την ανάπτυξη , στην πραγματικότητα, αν αυτή η προϋπόθεση δεν επιτυγχάνει στην επόμενη φάση δεν θα ακολουθήσει και η επιτυχής συγκόλληση δεν είναι δυνατή.

4.3.1.2 Φάση 2, φάση μετάδοσης

Μετά από το στάδιο!, παρείχαν επαρκή θερμότητα που παράγεται για να συμβεί το μαλάκωμα, τα μεγάλα σωματίδια φθοράς αρχίζουν να αποβάλλονται από το περιβάλλον, και η θερμότητα ζώνης επεκτείνεται έως ότου επιτευχθεί η φάση III. Από το στάδιο , μετά από την περιοχή επαφής θεωρείται ότι είναι 100% και το μαλακό πλαστικοποιημένο στρώμα που σχηματίζεται μεταξύ των δύο υλικών δεν είναι πλέον σε θέση να υποστηρίξει το αξονικό φορτίο. Η διατμητική δύναμη αρχίζει να αυξάνεται , αν και δεν υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία κατά αυτό το στάδιο της αξονικής βράχυνσης.

4.3.1.3 Φάση 3, φάση ισορροπίας

Επιτυχία σταδίου II, το αξονικό κόντεμα αρχίζει ,αυτό είναι αποτέλεσμα της αποβαλλόμενης διαταραχής. (Η αξονική βράχυνση ποικίλλει περίπου γραμμικά με το χρόνο. Η πλαστικοποιημένη στρώση σχηματίζεται στη διεπιφάνεια, το τοπικό σύστημα του στρες με τη βοήθεια της κίνησης ταλαντώσεως εξωθεί το υλικό από τη διασύνδεση . Οι τυπικές θερμοκρασίες που έφθασαν σε αυτό στάδιο μετριούνται από ένα θερμοστοιχείο ενσωματωμένα στο δείγμα και είναι της τάξης των 840 ° C.
Σε αυτό το στάδιο, αστάθειες μπορούν να εμφανιστούν λόγω της μη ομοιόμορφης κατανομή της θερμοκρασίας στη διεπιφάνεια, εάν η θερμοκρασία αυξάνει σε ένα μέρος του περιβάλλοντος εργασίας, το πλαστικοποιημένο στρώμα γίνεται παχύτερο στο εν λόγω τμήμα και πιο πολλά υλικά εξωθούνται.
Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια σταδιακή περιστροφή της διεπιφάνειας από το αρχικό επίπεδο.
Η προέλευση αυτής της ασταθής συμπεριφοράς μπορεί να αποδοθεί σε μια αρχική κακή ευθυγράμμιση των δειγμάτων. Ωστόσο, ακόμη και η μικρότερη κακή ευθυγράμμιση μπορεί να μετατοπίσει την περιοχή όπου η μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται στην διεπιφάνεια τριβής, από τη μέση, όπου θα πρέπει η ίδια να είναι σε τέλεια ευθυγράμμιση δειγμάτων, προς τη μία πλευρά. Σε. Ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσει εξασθένηση της συγκόλλησης. Η δύναμη διάτμησης δείχνει ότι αυτή είναι μια σταθερή κατάσταση φάσης εξώθησης, καθώς η δύναμη που καταγράφεται παραμένει σταθερή.

4.3.1.4 Φάση 4, φάση επιβράδυνσης

Όταν επιτευχθεί η επιθυμητή αναστάτωση, τα δύο υλικά ηρεμούν πολύ γρήγορα. Και η πίεση σφυρηλάτησης μπορεί να εφαρμοστεί για την εδραίωση της συγκόλλησης, αν και στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν εφαρμόστηκε πρόσθετη πίεση.

4.3.2 Επιπτώσεις συχνοτήτων για την επίτευξη συνθηκών συγκόλλησης

Το εύρος συχνοτήτων που διερευνείται, μέχρι στιγμής εμπορικώς και πειραματικώς είναι 25-.30Hz. Η ισχύς εισόδου για να επιτευχθεί η κατάσταση συγκόλλησης απαιτεί το πλάτος της ταλάντωσης να είναι σχετικά υψηλό (2-3 mm). Αυξάνοντας τη συχνότητα της ταλάντωσης αναμένεται να μειωθεί το πλάτος που απαιτείται για την επίτευξη συνθηκών συγκόλλησης, με την προϋπόθεση ότι η ισχύς εισόδου προς την διεπιφάνεια τριβής παραμένει σταθερή.
Η ισχύς εισόδου προς τις επιφάνειες τριβής αναμένεται να είναι συνάρτηση του πλάτους της ταλάντωσης, της συχνότητας των ταλαντώσεων, της πίεση που εφαρμόζεται επί των δειγμάτων που παράγουν θερμότητα τριβής και στον συντελεστή τριβής μεταξύ των δύο δειγμάτων τριβής. Ο συντελεστής τριβής επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, το κανονικό στρες και την ταχύτητα τριβής στη διεπιφάνεια III, και ως εκ τούτου ποικίλλει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Μια ειδική παράμετρος ισχύος (w) (κατ 'ανώτατο όριο απορροφούμενη ισχύς ανά μονάδα επιφανείας) χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τους παραμέτρους της διαδικασίας που χρησιμοποιούνται για κάθε πείραμα.

Ta= (πλάτος της ταλάντωσης, η συχνότητα ταλάντωσης, η πίεση τριβής) / 2π* εμβαδόν διατομής
όπου το πλάτος της ταλάντωσης (το μισό της απόστασης από κορυφή σε κορυφή) μετριέται σε χιλιοστά,
η συχνότητα της ταλάντωσης είναι σε Hertz
και η πίεση τριβής σε MPa, και οι μονάδες του w είναι kW / χιλιοστό 2.

Για τις 88 δοκιμές που εκτελούνται με Ti 6Ai 4V με ταλάντωσης συχνότητες έως 119 Hz, η ελάχιστη παράμετρος ισχύος (W) για να φθάσει τις συνθήκες συγκόλλησης βρέθηκε να αυξάνεται με τη συχνότητα, , όπου δείχνονται οι οριακές συνθήκες για πρόσφυση. Η πίεση τριβής που χρησιμοποιήθηκε αντιστοιχούσε για τις συνθήκες πίεσης στο τέλος κάθε πειράματος, καθώς υπολογίζεται από τα αξονικά ίχνη μετατόπισης. Αυτά τα πειράματα έδειξαν μια ελαφρώς αυξημένη ανάγκη για ανώτερη δύναμη εισόδου στα πειράματα υψηλής συχνότητας.
Αυτή η επίδραση μπορεί να αποδοθεί με την ευαισθησία ταχύτητας παραμόρφωσης στο υλικό.
Η ευαισθησία ταχύτητας παραμόρφωσης αυτού του κράματος τεκμηριώνεται στο Ref. [7] σε υψηλές θερμοκρασίες και σε στέλεχος τιμών μεταξύ 0.001 και 25 s^{-1}, όπου η θλιπτική απόδοση στρες αυξάνει από l0 MPa κατά τη στατική φόρτιση έως 255 MPa στους 850 ° C για ένα ρυθμό στελέχους των 5 s^{-1}. Ο θεωρητικός μέγιστος συντελεστής στελέχους εμπειριών ζεστού υλικό μπορεί να είναι σε αυτή τη σειρά. Δεδομένου ότι τα δύο δείγματα ταλαντώνονται με ημιτονοειδή τρόπο, η μέγιστη δυσκολίες που αντιμετωπίζουν κατά τη διεπιφάνεια, υποθέτοντας μηδενική ολίσθηση, θα είναι κατά τη διάρκεια της πιο ακραίο σημείο ταλάντωσης, όπου η απόσταση από τον κεντρικό άξονα είναι ίση με το πλάτος της ταλάντωσης. Η μέγιστη παραμόρφωση που το υλικό θα εκτεθεί ,θα είναι η διανυθείσα απόσταση από τα απέναντι ακραία σημεία της ταλάντωσης. Αυτή η παραμόρφωση λαμβάνει χώρα σε ένα δεύτερο κύκλο. Για παράδειγμα, στα 0,92 χιλιοστά πλάτους σε περίπτωση συχνότητας ταλάντωσης του 50
Hz. το μέγιστο ποσοστό στέλεχος είναι:

$\varepsilon = d\varepsilon/dt = (2\alpha/l) / (2/f) = 4.6\ S^{-1}$

όπου α είναι το πλάτος της ταλάντωσης
l είναι το μήκος του δείγματος
και f η συχνότητα της ταλάντωσης.

Καθώς το υλικό θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω τριβής, η τάση διαρροής του υλικού στην διεπιφάνεια τριβής πέφτει κάτω από την εφαρμοζόμενη πίεση τριβής, καταλήγοντας σε πλαστική παραμόρφωση και στην εξώθηση του υλικού.
Η επίδραση της ευαισθησίας της ταχύτητας παραμόρφωσης θα είναι σε υψηλότερες πιέσεις τριβής ,θα πρέπει να εφαρμόζεται έτσι ώστε αποδίδοντας το μπορεί να συμβεί στην ίδια θερμοκρασία διεπιφάνειας, όπως πριν θα πρέπει να επιτευχθούν υψηλότερες θερμοκρασίες. Η τελευταία επιλογή εξακολουθεί να α3333παιτεί υψηλότερη ισχύ εισόδου από ό, τι πριν, η οποία θα μπορούσε να επιτευχθεί με την μετρίως αύξηση της εφαρμοζόμενης πίεσης τριβής. Μια άλλη επιπλοκή είναι ότι οι μεταλλουργικές αλλαγές στο Ti 6AI 4V συμβαίνουν πάνω από τους 1040 ° C, θερμοκρασία στην οποία τα αποτελέσματα του ρυθμού καταπόνησης μειώνονται [7]. Η αυξημένη ισχύς εισόδου θα είναι ευθέως ανάλογη με την πίεση τριβής, αφού η ισχύς εισόδου είναι ίση με τον συντελεστή τριβής * την πίεση τριβής * ταχύτητα.
Ως εκ τούτου. αν δεν υπήρχαν αλλαγές στην συμπεριφορά τριβής του υλικού, τότε η πίεση τριβής θα πρέπει να αυξανόταν για να αντισταθμίσει τις επιδράσεις ρυθμού καταπόνησης. Επιπλέον, υπάρχουν πειραματικά δεδομένα για να προτείνουν ότι ο συντελεστής τριβής επηρεάζεται αρνητικά από την κανονική πίεση και την θερμοκρασία, που δείχνει ότι ακόμη υψηλότερες πιέσεις τριβής απαιτούνται για την συγκόλληση υπό συνθήκες υψηλότερης ταχύτητας παραμόρφωσης.

4.3.3 Σφυρηλάτηση

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η δύναμη σφυρηλάτησης που εφαρμόζεται στο τέλος του κύκλου διεργασίας δεν υπερβαίνει την δύναμη τριβής που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου υπερέβαινε τον ήχος των αρμών που παρήχθησαν.

4.3.4 Εξώθηση υλικού

Μια επιτυχής συγκόλληση ορίζεται αυτή που έχει κάποιο βαθμό μόνιμης πρόσφυσης. Όλες οι επιτυχημένες συγκολλήσεις ύπαρξης αισθητών λάμψεων από όλες τις πλευρές του αρμού. Αυτό η λάμψη που αποτελείται από πλαστικά παραμορφωμένο υλικό που εξωθήθηκε κατά τη διαδικασία, ως αποτέλεσμα της εφαρμοζόμενης πίεσης και τριβής της κίνησης του ταλαντωτή. Το μήκος της λάμψης βρέθηκε να είναι μεγαλύτερο στην κατεύθυνση της κίνησης, όπου εμφανίζονται μια σειρά από ραβδώσεις. Η συχνότητα κορυφογραμμής δείχνει ότι παράγεται από την κίνηση ταλαντώσεως των δειγμάτων, η εξώθηση του υλικού από τις πλευρές παράλληλες προς την κατεύθυνση της κίνησης δείχνει επίσης κάποια στοιχεία των κορυφογραμμών, αφού δεν υπήρχε κίνηση των δειγμάτων προς αυτή την κατεύθυνση, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η αξονική βράχυνση οδηγεί σε ένα βαθμιδωτό τρόπο.
Στις περιπτώσεις όπου η ισχύς εισόδου ήταν στο κατώτερο όριο που απαιτείται για την συγκόλληση, το θέμα διέλασης δεν ήταν τόσο καλά σχηματισμένο.
Σε καλά σχηματισμένα σχήματα διέλασης, συνδέθηκε γύρω από τις γωνίες του δείγματος, αναφέροντας ότι ολόκληρη η περιοχή του υλικού διεπιφάνειας που είχε γίνει πλαστική κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ήταν ενιαία και αδιαίρετη σε αυτές τις περιπτώσεις. Η πραγματική έκταση της συγκόλλησης θεωρείται ότι είναι ίση με το εμβαδόν διατομής των δειγμάτων. Στις περιπτώσεις όπου η λάμψη δεν είναι τόσο καλά σχηματισμένη, το εξωθούμενο θέμα δεν συνδέθηκε γύρω από τις γωνίες. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η πραγματική έκταση της συγκόλλησης βρέθηκε να είναι μικρότερη από το εμβαδόν διατομής των δειγμάτων.

Αποτυχημένες δοκιμές έδειξαν περιορισμένη πλαστική παραμόρφωση, με πολύ μικρή εξώθηση του υλικού, ή και καθόλου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η διαδικασία δεν θα προχωρήσει πέρα από τη φάση II. Το υλικό που εξωθείται από τη μέση της σύμπλεξης σε μορφή έλασης κλώνων υποδεικνύοντας ανεπαρκή ισχύ εισόδου για να φτάσει το πλαστικό στάδιο.
Από ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων αυτή η συμπεριφορά πιστεύουμε ότι προκαλείται από την εξώθηση στην κεντρική θερμή ζώνη στη διεπιφάνεια, μέσω σχετικά δροσερού υλικού ορίου. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η γραμμική συγκόλληση τριβής είναι μια διαδικασία ρύθμισης όπου η διαδοχή του κάθε σταδίου διέπεται από τις αρχικές συνθήκες. Αν δεν επιτευχθούν οι ελάχιστες προϋποθέσεις έναρξης, δεν παρατηρείται πρόοδος στις επόμενες φάσεις.

4.3.5 Μαζικές ταχύτητες ροής

Από τη συγκόλλησης ακεραιότητας σχετίζεται σαφώς με τη διαδικασία εξώθησης, ο ρυθμός ροής της μάζας της λάμψης κατά τη διάρκεια της φάσης II ήταν περισσότερο στενά για την διερεύνηση συγκολλημένων δειγμάτων αφαιρέθηκε από όλες τις πλευρές, χρησιμοποιώντας ένα μηχάνημα EDM. Αυτή η μέθοδος του υλικού απομάκρυνσης επιλέχθηκε για να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια των παραμορφωμένων υλών, λόγω κατεργασίας. Η απώλεια μάζας ήταν περιορισμένη από το πλάτος του ηλεκτροδίου χαλκού το οποίο ήταν 0,15 mm.
Η αποβαλλόμενη μάζα από την κατεύθυνση της κίνησης ανά κύκλο ταλάντωσης βρέθηκε να είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα κάθε πλάτους ταλάντωσης ,αλλά μειώνεται με την αύξηση της μέσης πίεσης τριβής που εφαρμόζεται, αυτό ισχύει για το πλάτος της ταλάντωσης που χρησιμοποιείται σε αυτά τα πειράματα, μια γραμμική δύναμη έχει τοποθετηθεί χρησιμοποιώντας την ανάλυση παλινδρόμησης για να τονίσει αυτή την τάση. Ο ατομικός συντελεστής συσχέτισης R της γραμμής τάσης είναι 0,7915 που καθορίζει αυτήν την συσχέτιση, το πλαστικό υλικό εξωθείται σε κάθε κύκλο ταλάντωσης και σχετίζεται με την έκταση της παρούσας πλαστικής ζώνης στη διεπιφάνεια τριβής. Με την αύξηση της πίεσης τριβής που εφαρμόζεται στη διεπιφάνεια, το πλάτος της ζώνης θερμότητας κυμαίνεται αντιστρόφως, μικρότερες ποσότητες εξώθησης από πλαστικό υλικό σε κάθε κύκλο. Παρόμοια συμπεριφορά έχει παρατηρηθεί σε περιστροφική συγκόλληση τριβής. Αυτή η επίδραση είναι ισχυρότερη στα υψηλά πειράματα πλάτους. Τα πειράματα μικρής έντασης, έγιναν σε υψηλότερες συχνότητες ταλάντωσης, λαμβάνοντας πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθεί. Κατά συνέπεια το Ti 6AI 4V έχει χαμηλό συντελεστή αγωγιμότητας (5 W / μελάνης σε 20 ° C), ο οποίος δεν επηρεάζεται από την ροή θερμότητας, η θερμότητα ζώνη βρέθηκε να είναι μικρότερη στα πειράματα υψηλής συχνότητας, όπως αναμενόταν, αυτό είναι μια πιθανή εξήγηση για την μείωση του ρυθμού μάζας εξώθησης σε υψηλότερες συχνότητες.

4.3.6 Κοινή εκτίμηση αντοχής

Τα συγκολλημένα δείγματα εξετάστηκαν σε δοκιμή κρούσης κατά Charpy στο μηχάνημα σε θερμοκρασία δωματίου. Οι ενώσεις δεν είχαν εγκοπές καθώς η γραμμή συγκόλλησης θεωρήθηκε να εισαγάγει μια επίδραση συγκέντρωσης τάσης παρόμοια με μία εγκοπή. Όλες οι αποτυχίες συνέβησαν στη διεπιφάνεια. Οι επιπτώσεις της μητρικής αντοχής του υλικού για ένα δείγμα με εγκοπές. Ίδιες διαστάσεις όπως και στα αρχικά δείγματα, βρέθηκαν να είναι 17750 mJ. Η αντοχή σε κρούση των συγκολλήσεων δεν φάνηκε να συσχετίζεται έντονα με τη συγκεκριμένη παράμετρο ισχύος (W). Η τελευταία φαίνεται να είναι σε αντίθεση με το αποτέλεσμα αντοχής στην κρούση. Αναφέρθηκε ότι υπήρχε ένα όριο σχετικά με την ευεργετική επίδραση της ταχύτητας στην αντοχή κρούσης στα 200 mm / s.

Η θετική αύξηση στην πίεση τριβής φαίνεται να έχει μικρή αρνητική επίδραση προς την ακεραιότητα της συγκόλλησης, όπως μετράται με τη δοκιμή κρούσης Charpy. Αυτή η σχέση ισχύει για αμφότερα πλάτη της ταλάντωσης. Το πείραμα 5 παρήγαγε ασυνήθιστο στουπί αντοχής στην κρούση λόγω προβλημάτων κακής ευθυγράμμισης. Ωστόσο, η αυξημένη αποβαλλόμενη μάζα ανά κύκλο λειτουργίας φαίνεται να έχει μια ευεργετική επίδραση για το πλάτος 3 mm. Η πολυωνυμική γραμμή τάσης τρίτης τάξης τοποθετηθεί στα δεδομένα ένα ατομικό συντελεστή συσχέτισης (R) 0.667 πράγμα που αποδεικνύει την αντιστοιχία μεταξύ αυτών των δύο παραμέτρων. Για το μικρότερο πλάτος της ταλάντωσης στις δοκιμασίες υψηλής συχνότητας, αυτό δεν ισχύει, το υλικό που αποβάλλεται ανά κύκλο δεν μεταβάλλεται αισθητά σε ένα ευρύ εύρος των παραμέτρων της διεργασίας. Στην περίπτωση του μεγάλου πλάτους ταλάντωσης, όταν εφαρμόστηκε μια χαμηλή πίεση τριβής, μια μεγαλύτερη πλαστική ζώνη δημιουργήθηκε στο διεπιφάνειας τριβής, όπως είναι εμφανές από τη μεγαλύτερη μάζα που αποβάλλεται ανά κύκλο τιμών στην παραγωγή υψηλών επιπτώσεων τιμών αντοχής. Στην περίπτωση του μικρότερου πλάτους της ταλάντωσης, η αποβαλλόμενη μάζα είναι μικρότερη και δεν εμφανίζεται ένα τέτοιο αποτέλεσμα.
Αναλύοντας τα ίχνη διατμητικής δύναμης που επιτρέπει τον υπολογισμό του εμφανούς συντελεστή τριβής στη διεπιφάνεια τριβής, ως εκ τούτου μπορεί να εκτιμηθεί η RMS θερμική ισχύς εισόδου στη διεπιφάνεια τριβής.
Θερμική ισχύς εισόδου = $\mu * Pr * \alpha * 2\pi fl/\sqrt{2}$
όπου μ είναι ο συντελεστής τριβής,
P_{RR} είναι η πίεση τριβής,
a είναι το πλάτος της ταλάντωσης
και f είναι η συχνότητα της ταλάντωσης.

Χρησιμοποιώντας τιμές συντελεστή τριβής που αντιστοιχούν σε συνθήκες σταθερής κατάστασης κατά τη φάση I, η θερμική επίδραση πριν φθάσει συνθήκες εξώθησης για την αντοχή σε κρούση των συγκολλήσεων ακολουθεί την ίδια σχέση με την αποβαλλόμενη μάζα. Δεδομένου ότι η είσοδος της θερμότητας που σχετίζεται με το μέγεθος της από τη θερμότητα ζώνης και ως εκ τούτου, με τη αποβαλλόμενη μάζα.
Αυτή η σχέση επιβεβαιώνει το αποτέλεσμα που αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο.

4.4 Συμπεράσματα

Με βάση τα γραμμικά πειράματα συγκόλλησης τριβής που έγιναν με Ti 6AI 4V πάνω από ένα αριθμό στις συχνοτήτων ταλάντωσης, στα πλάτη ταλάντωσης, και στις πιέσεις τριβής, μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα.

- Η γραμμική συγκόλληση τριβής είναι μια διαδικασία ρύθμισης, όπου η επιτυχία της εξαρτάται από τις αρχικές παραμέτρους της διαδικασίας που χρησιμοποιηθήκαν, το πλάτος ,η συχνότητα της ταλάντωσης και η πίεση τριβής που εφαρμόζεται.
- Η ελάχιστη δύναμη που απαιτείται για την επίτευξη συνθηκών συγκόλλησης με αυτό το υλικό αυξάνεται με την αύξηση της συχνότητας ταλάντωσης εξαιτίας των συνεπειών του ποσοστού παραμόρφωσης του ρεύματος. Δεδομένου ότι η σχέση είναι γραμμική, υψηλότερες συχνότητες θα απαιτούν χαμηλότερες πιέσεις τριβής για να επιτευχθούν οι ελαφρώς υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος, παρέχουν τα κατάλληλα πλάτη ταλάντωσης που χρησιμοποιούνται.
- Εφαρμόζοντας μια ισχύ σφυρηλάτησης στο τέλος του κύκλου διεργασίας συγκόλλησης μπορεί να βελτιωθεί η ακεραιότητα, ειδικά όταν η είσοδος ενέργειας είναι χαμηλότερη από εκείνη που απαιτείται για να επιτευχθούν ικανοποιητικές συνθήκες συγκόλλησης.
- Το μέγεθος της ζώνης θερμότητας είναι αντιστρόφως ανάλογο με την πίεση τριβής που εφαρμόζεται, που επηρεάζουν την αντοχή σε κρούση της συγκόλλησης. Μικρότερες πιέσεις τριβής ή χαμηλότερες

συχνότητες με μεγάλα πλάτη ταλάντωσης, παράγουν μεγάλες ζώνες προσβολής από θερμότητα και στις αρθρώσεις υψηλή αντοχή στην κρούση.

- Αντίθετα με παρατηρήσεις που έχουν αναφερθεί στο παρελθόν, στα πειράματα που περιγράφονται φαίνετε να υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας τριβής και της ακεραιότητας συγκόλλησης. Το ίδιο ισχύει στην είσοδο τροφοδοσίας LBR για τη διαδικασία.
- Η ευθυγράμμιση διεπιφάνειας σε γραμμική συγκόλληση τριβής μπορεί να είναι ασταθείς. Αυτή η επίδραση μπορεί να έχει προκληθεί από την μικρή αρχική κακή ευθυγράμμιση των δειγμάτων, ή με ασύμμετρη κατανομή της θερμότητας σε οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτή η επίδραση μπορεί να σχετίζεται με την αναλογία διαστάσεων της διεπιφάνειας και δικαιολογεί την περαιτέρω διερεύνηση.

5. Μοντελοποίηση της γραμμικής συγκόλλησης τριβής των τμημάτων του τιτανίου

5.1 Εισαγωγή

Γραμμική συγκόλληση τριβής είναι μια στερεή κατάσταση της διαδικασία που ενώνει υλικά μαζί μέσω της στενής επαφής μιάς πλαστικοποιημένης διεπιφάνειας, η οποία παράγεται από θερμότητα τριβής ως ένα συστατικό που κινείται υπό πίεση σε μια άμεση παλινδρομική λειτουργία σε σχέση με ένα άλλο. Η διαδικασία έχει τέσσερις διακριτές φάσεις, οι οποίες έχουν περιγραφεί προηγουμένως με κάποια λεπτομέρεια, και συζητούνται μόνο εν συντομία εδώ για πληρότητα.

5.1.1 Φάση Ι. Η αρχική φάση

Από την αρχική φάση τα δύο προς συγκόλληση τεμάχια κινούνται υπό πίεση με ένα γραμμικό παλινδρομικό τρόπο. Η θερμότητα που παράγεται από τη στερεά τριβή, με το συντελεστή τριβής μεταξύ της ταλάντωσης των επεξεργαζόμενων κομματιών που δεν υπερβαίνει την ενότητα, αλλά σε όλη την αύξηση αυτής της φάσης. Η αληθινή επιφάνεια επαφής αυξάνεται σε όλη αυτή τη φάση λόγω φθοράς και θερμικών επιδράσεων αποσκλήρυνσης της κίνησης. Η μη διείσδυση συγκόλλησης βιώνεται σε αυτό το στάδιο. Η φάση αυτή είναι κρίσιμη για να προχωρήσει η διαδικασία, εάν παράγεται ανεπαρκής θερμότητα δεν θα ακολουθήσει η επόμενη φάση.

5.1.2 Φάση 2. Μεταβατική φάση

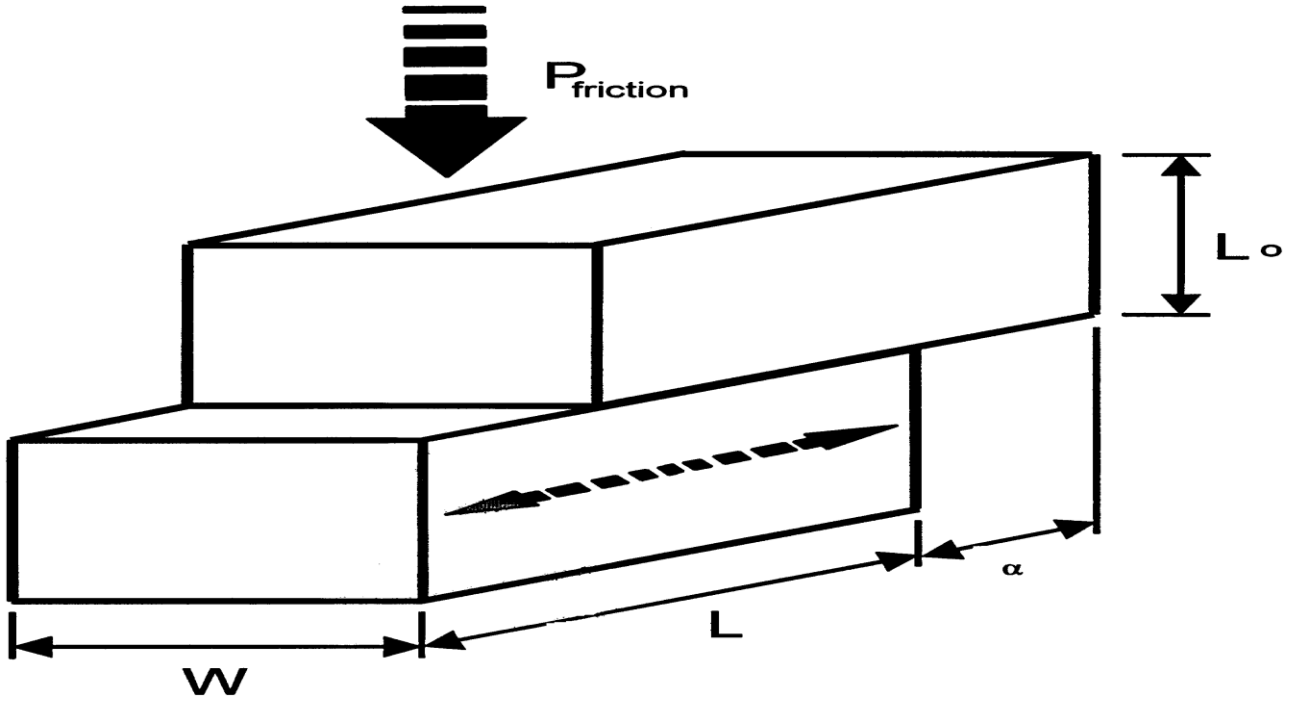
Τα μεγάλα σωματίδια φθοράς αποβάλλονται από τη διεπιφάνεια τριβής. Η ζώνη θερμότητας επεκτείνεται από τις τραχύτητες μέσα στην μάζα του υλικού μέχρις ότου επιτευχθεί η φάσης ΙΙΙ. Η πραγματική επιφάνεια επαφής θεωρείται ότι είναι το 100% του εμβαδού διατομής, και το πλαστικοποιημένο στρώμα που σχηματίζεται μεταξύ των δύο επιφανειών τριβής δεν μπορεί να υποστηρίξει το αξονικό φορτίο, παραμορφώνοντας το έτσι μόνιμα.
Μακροσκοπικά, κάτω από το γυμνό μάτι, σε ορισμένα υλικά, όπως Ti6Al4V (αριθμοί δείχνουν% κβ.). Οι κόκκινες καυτές κηλίδες που εμφανίζονται στη διεπιφάνεια, εκτείνονται με το χρόνο μέχρι να καλύψουν το σύνολο της διεπιφάνειας τριβής, και συνοδεύονται από μία εξώθερμη αντίδραση με οξυγόνο.

5.1.3 Φάση 3. Φάση ισορροπίας

Το αξονικό κόντεμα αρχίζει να εγγραφείτε ως πλαστικοποιημένη ύλη που εκδιώκεται μέσα στην ανατροπή. Το υλικό από τη ζώνη θερμότητας που έχει δοθεί, από την πίεση τριβής που ασκείται σε αυτό και η υψηλή θερμοκρασία, κινείται έξω από την διεπιφάνεια τριβής με τη βοήθεια από την κίνηση ταλάντωσης. Αυτή η μορφή λάμψης, μπορεί να λάβει διαφορετική μορφή ανάλογα με το υλικό, με εξώθηση. Το υλικό δεν φθάνει ποτέ στις συνθήκες τήξης στη διεπιφάνεια, όπως πειραματικά δεδομένα έχουν δείξει. Αλλά ακόμη και αν είχαν επιτευχθεί τέτοιες θερμοκρασίες, το τετηγμένο υλικό θα είχε αποβληθεί από τη διεπιφάνεια από την πίεση τριβής με τη βοήθεια της κίνησης του τεμαχίου, όπως το λιωμένο υλικό δεν μπορεί να αντέξει οποιοδήποτε φορτίο.
Μακροσκοπικά, κάτω από το γυμνό μάτι, σε ορισμένα υλικά, όπως το Ti6Al4V, όπως παρατηρήθηκε από τον συγγραφέα σε όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με το υλικό αυτό, υπάρχει μια εξώθερμη αντίδραση με το οξυγόνο. Στην περίπτωση του Ti6Al4V, το εξελασμένο υλικό από τα δύο δείγματα σχηματίζει ένα ενιαίο. Αυτό υποδεικνύει ότι το πλαστικό υλικό στην διεπιφάνεια τριβής έχει ενωθεί μαζί σε αυτό το στάδιο.

5.1.4 Φάση 4. Φάση επιβράδυνσης

Όταν επιτευχθεί η επιθυμητή αναστάτωση τα δύο υλικά ξεκουράζονται πολύ γρήγορα (σε λιγότερο από 0.1 s), και μπορεί να εφαρμοστεί η πίεση σφυρηλάτησης. Η τελευταία φάση θεωρείται σημαντική από ειδικούς στον τομέα της συγκόλλησης τριβής, και χρησιμοποιείται για να εδραιώσει τη συγκόλληση. Από την προηγούμενη περιγραφή είναι προφανές ότι υπάρχει ένα όριο ισχύος εισόδου , κάτω από το οποίο η συγκόλληση δεν είναι δυνατή. Αν λειτουργεί κάτω από αυτό το όριο, είτε χρησιμοποιώντας ένα μικρότερο πλάτος ταλάντωσης, τρίβοντας τα σε χαμηλότερη συχνότητα ταλάντωσης, ή εφαρμόζοντας μια μικρότερη πίεση τριβής από ό, τι είναι αναγκαία, τα προς συγκόλληση τεμάχια δεν θα φθάσουν ποτέ στις συνθήκες που θα παράγουν καλά καθορισμένη λάμψη και στη συνέχεια ενώνονται για να σχηματίσουν έναν ήχο συγκόλλησης.



ΣΧ. 1. Αναλυτικό μοντέλο (α το πλάτους της ταλάντωσης , L το μήκος του δείγματος, L_0 προεξοχή του δείγματος από τον κάτοχο του δείγματος, $P_{friction}$ πίεση τριβής και W το πλάτος του δείγματος).

Η γραμμική συγκόλληση τριβής είναι μια σχετικά νέα διαδικασία που αποσκοπεί στην επέκταση των υφιστάμενων εφαρμογών της περιστροφικής συγκόλλησης τριβής σε εξαρτήματα μη αξονοσυμμετρικά. Ωστόσο, οι δύο διαδικασίες διαφέρουν σημαντικά στη λειτουργία της θερμότητας και του πεδίο τάσεων που επιβλήθηκε στην πλαστικοποιημένη στρώση, και ως εκ τούτου, τα υπάρχοντα περιστροφικό μοντέλα συγκόλλησης τριβής δεν έχουν άμεση εφαρμογή στη γραμμική συγκόλληση τριβής. Η πιο ομοιόμορφη διεπιφανειακή παραγωγή ενέργειας υπάρχει στη γραμμική συγκόλληση τριβής που μπορεί να ευθύνεται για τις υψηλότερες συγκολλήσεις ακεραιότητας. Επιπλέον, ένα μεγάλο μέρος της έρευνας στην περιστροφική συγκόλληση τριβής είναι μια εμπειρική φύση, η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την συγκολλησιμότητα και τους παραμέτρους βέλτιστης συγκόλλησης για νέα υλικά.

5.2 Αναλυτικά μοντέλα

5.2.1 Παράμετροι του μοντέλου ροής θερμότητας

Ένα αναλυτικό μοντέλο αναπτύχθηκε, το οποίο μπορεί να δώσει κάποια εικόνα για τα πρώτα στάδια της γραμμικής συγκόλλησης τριβής. Προκειμένου να διατηρεί έναν ορισμένο βαθμό προβλεπτικής ικανότητας, το μοντέλο αυτό σχηματίζει ένα φυσικό πλαίσιο εντός του οποίου οι ημι-εμπειρικές περιγραφές του υλικού συμπεριφοράς ενσωματώνονται. Όπως επισημαίνεται από την Ashby υπάρχει μια καλά αποδεκτή βιβλιογραφία για την προσέγγιση αυτή ως εναλλακτική λύση για φυσική μοντελοποίηση. Υποτίθεται ότι κατά την έναρξη της κίνησης τα δύο δείγματα που στηρίζονται πάνω στις τραχύτητες στη διεπιφάνεια. Οι τραχύτητες παραμορφώνονται κυρίως σε ένα πλαστικό πλαίσιο του κανονικού φορτίου που εφαρμόζεται, όπως είναι η επαφή μεταξύ ακατέργαστων μεταλλικών επιφανειών. Αυτή η αρχόμενη προϋπόθεση απόδοση σημαίνει ότι η περιοχή επαφής θα εξαρτηθεί από την εφαρμογή του κανονικού φορτίου και την τάση διαρροής του υλικού, ανάλογα με τη θερμοκρασία.
Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία λόγω τριβής, θα συμβεί μία μείωση στην απόδοση του στρες, καθώς και μια αύξηση στην περιοχή της επαφής. Έτσι, η διατμητική δύναμη ,υπό ορισμένες προϋποθέσεις, θα παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της φάσης Ι.

5.2.2 Μοντέλο ροής θερμότητας

Τα δείγματα κινούνται σε μια ημιτονοειδή κίνηση (Εικ. 1). Η διατμητική τάση (t) που ασκείται επί της διεπιφάνειας θα είναι:

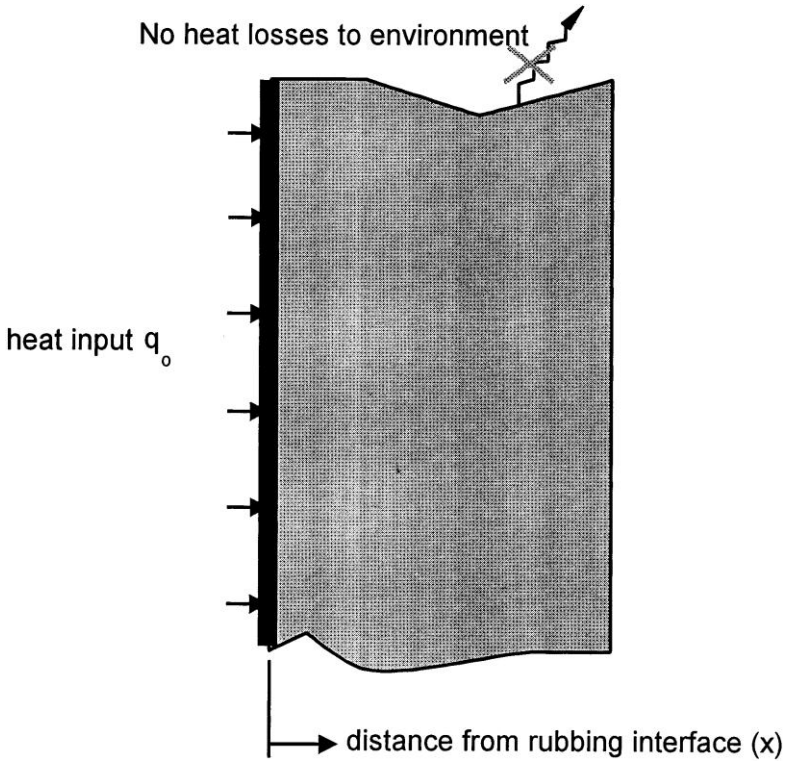
$\tau = \mu^* P_N$ (1)

όπου μ είναι ο συντελεστής τριβής και P_N είναι η κανονική πίεση.
Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας ανά κύκλο ανά μονάδα διεπιφανειακής περιοχής (q) είναι:

$q = \tau * u$ (2)

όπου τ είναι η διάτμηση του στρες σε διεπιφάνεια και υ είναι η ταχύτητα τριβής.
Με τη χρήση της εξίσωσης. (1), Εξ. (2) γίνεται:

$q = \mu^* P_N * u$ (3)



Εικόνα 2. Αναλυτικό μοντέλο ροής θερμότητας

Το μέσο ποσοστό θερμότητας μπορεί να προσδιοριστεί με την ενσωμάτωση της Εξ. (3) ενός κύκλου, ή ως η κίνηση ταλάντωσης που είναι συμμετρικά κυκλική, ενσωματώνοντας τέσσερις φορές το ένα τέταρτο του κύκλου.

$4/T \int \mu^* P_N^* \alpha^* \omega * \cos(\omega t)dt = 2/\pi^* \mu^* P_N^* \alpha^* \omega$ (4)

Η είσοδος θερμότητας στην επιφάνεια που υπολογίστηκε πιο πάνω θα οδηγήσει σε μια αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό το στατικό μοντέλο είναι παρόμοιο με την περίπτωση της εισόδου ροής θερμότητας προς ένα στερεό (πλάκα) που οριοθετείται από ένα ζεύγος παράλληλων επιπέδων, ένα από τα οποία είναι στη διεπιφάνεια τριβής (Εικ. 2).

Q η συνολική ροή θερμότητας που θεωρείται ότι θα συνταγογραφηθεί σε συνάρτηση του χρόνου, δεδομένου ότι σχετίζεται με την αύξηση της πραγματικής επιφάνειας επαφής κατά τη διάρκεια της αρχικής τριβής. Η πραγματική επιφάνεια επαφής υποτίθεται ότι αυξάνει γραμμικά κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης από το μηδέν έως το εμβαδόν διατομής των δειγμάτων στο τέλος της φάσης. Μηδενικές απώλειες θερμότητας υποτίθεται στο περιβάλλον, ότι η φάση I είναι πολύ σύντομη λαμβάνοντας μόνο λίγα δευτερόλεπτα. Η θερμοκρασία, για τις διαφορετικές θέσεις του τεμαχίου σε μία απόσταση χ από τη διεπιφάνεια, ως μία συνάρτηση του χρόνου κατά τη διάρκεια της φάσης I θα είναι [5]:

$$\Theta = [\ 2m + q0*k/\ 2t^{(m+1)}/\ \Gamma*\ ½(m+1)] / K \quad (5)$$

όπου k είναι η ικανότητα διάχυσης, Γ η λειτουργία γάμμα Euler, t είναι ο χρόνος, Lo το μήκος (προεξοχή του δείγματος από δείγμα που κατέχουν βραχίονα) του δείγματος.

Η ροή εισόδου είναι μια συνταγογραφημένη συνάρτηση του χρόνου q_0t 1:02 m, όπου m= 1. Σε αυτή την περίπτωση καθώς η ροή θεωρείται ότι αλλάζει γραμμικά με το χρόνο, όπως είναι η πραγματική έκταση της επαφής. Η εξ. (5) προβλέπει ότι ο χρόνος θέρμανσης θα είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το τετράγωνο του λόγου της παραγωγής θερμότητας ανά μονάδα διεπιφανειακής περιοχή. Ως αποτέλεσμα του ότι ο σύντομος χρόνος θερμάνσεως απαιτεί τη χρήση υψηλής ειδικής ισχύος κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με υψηλές ταχύτητες τριβής, μικρές περιοχές επαφής, υψηλές πιέσεις τριβής ή ταλάντωσης σε συνθήκες οι οποίες ευνοούν υψηλούς συντελεστές τριβής, ανάλογα με το υλικό.

5.2.3 Επικύρωσης του υποδείγματος της θερμοκρασίας

Χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες μοντελοποίησης του πακέτου προσομοίωσης Mathcad, το μοντέλο που περιγράφεται παραπάνω χρησιμοποιήθηκε για να προβλέψει το προφίλ θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της αρχικής τριβής. Οι μη γραμμικές ιδιότητες του υλικού που χρησιμοποιήθηκαν, με την απόδοση του υλικού Ti6Al4V υποτίθεται ότι θα αλλάξουν γραμμικά με τη θερμοκρασία. Αυτή η προσέγγιση με τον τρόπο των πραγματικών ιδιότητες των υλικών να αλλάζουν με τη θερμοκρασία επιβλήθηκε από το πακέτο προσομοίωσης. Άλλες μηχανικές και φυσικές ιδιότητες που ελήφθησαν κατά τις μέσες τιμές για το εύρος της θερμοκρασίας. Η πραγματική επιφάνεια επαφής θα αλλάξει γραμμικά με το χρόνο κατά τη διάρκεια της φάσης I, όπως το μοντέλο της διαδικασίας που προτάθηκε νωρίτερα. Στο τέλος αυτής της φάσης, υπάρχει 100% επαφή μεταξύ των δύο επιφανειών τριβής. Ο συντελεστής τριβής τέθηκε να αλλάξει με το χρόνο, με τις ίδιες τιμές που παρατηρούνται στα πειράματα, δηλ. 0,25 έως 0,55 στο τέλος της φάσης. Οι θερμοκρασίες που είχαν προβλεφθεί στα βήματα των 0,01 s, χρησιμοποιούνται στην Εξ. (5), όπου η τιμή της τάσης απόδοσης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θερμότητας τριβής μεταβάλλεται σε κάθε βήμα σύμφωνα με την τιμή της θερμοκρασίας του προηγούμενου βήματος.

Η αύξηση της θερμοκρασίας στη θέση του ενσωματωμένου θερμοστοιχείου (ένα θερμοστοιχείο στο 1,6 mm από την διεπιφάνεια τριβής) υπολογίστηκε σε σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα (Σχ. 3). Το μοντέλο βάζει τα δείγματα ταλαντώσεως Ti6Al4V σε συχνότητα 30 Hz με περιοχή διεπιφάνειας 60 mm^2 και το πλάτος ταλάντωσης 0,92 mm όπως στο πείραμα.

Από τα πειραματικά δεδομένα το μήκος χρόνου της φάσης I ταυτοποιήθηκε να είναι: 4 s, προτού το αξονικό κόντεμα των δειγμάτων γίνει αισθητό (πάνω από 0,05 mm όπως φαίνεται στο Σχ. 6.). Κατά το διάστημα αυτό ο συντελεστής τριβής άλλαξε γραμμικά από 0,25 έως 0,55. Ο συντελεστής τριβής υπολογίστηκε με την μέτρηση της δύναμης διάτμησης και την πίεση τριβής που εφαρμόζεται στη διεπιφάνεια τριβής.

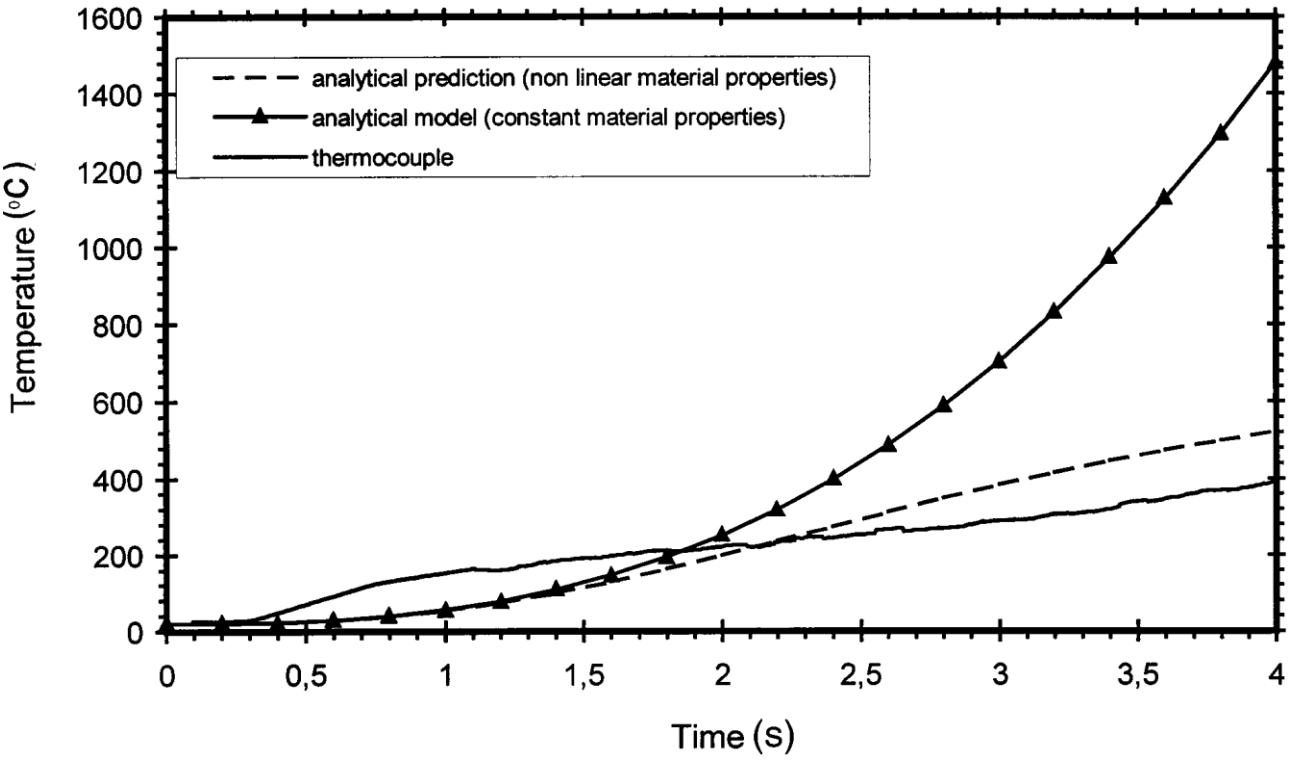
Το προφίλ θερμοκρασίας που προβλέπεται από το παρών μονοδιάστατο μοντέλο είναι παρόμοιο σε σχήμα με αυτό

που παρατηρείται από το θερμοστοιχείο στο πείραμα, ενώ η θερμοκρασία αυξάνεται ταχέως κατά την έναρξη και στη συνέχεια η μείωση του ρυθμού της αύξησης και της επίτευξης μιας υψηλότερης θερμοκρασίας στο τέλος της φάσης. Η σημασία των ιδιοτήτων της θερμοκρασίας που εξαρτάται από το υλικό εμφανίζεται όταν χρησιμοποιήθηκαν ανεξάρτητες ιδιότητες θερμοκρασιών στο μοντέλο (Σχ. 3).

5.2.4 Αποτελέσματα εξώθερμης αντίδρασης

Καθώς η διαδικασία εισέρχεται στη φάσης III, φωτεινό σπινθήρες εμφανίζονται στο εξωτερικό της διεπιφάνειας και η λάμψη που οφείλεται στην αντίδραση του τιτανίου με το οξυγόνο στην ατμόσφαιρα σχηματίζει οξείδιο τιτανίου. Η θερμότητα σχηματισμού του TiO2 είναι από τιτάνιο Δh = -214.1 kcal* mol^{-1} στους 25 ° C [6]. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε θερμότητα (Δh) είναι η αντίδραση σχηματισμού της συγκεκριμένης ουσίας από το στοιχείο, σε πρότυπες καταστάσεις τους. Όταν Δh είναι αρνητική θερμότητα που εκλύεται κατά τη διαδικασία. Καθώς η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες από ό, τι 25 ° C ,η θερμότητα σχηματισμού μπορεί να εκτιμηθεί από [6]:

$$\Delta h_T = \Delta h_{25} + \int c dT \qquad (6)$$



ΣΧ. 3. Σύγκριση μεταξύ των πειραματικών και αναλυτικών θερμοκρασιών των δεδομένων του μοντέλου για την αρχική φάση.

Καθώς οι υψηλότερες θερμοκρασίες που αντιμετωπίζονται είναι στη διεπιφάνεια, τίθεται ότι αυτή η εξώθερμη αντίδραση μπορεί να λάβει χώρα στην περιφέρεια του θερμού υλικού που εξωθείται εντός της λάμψης σε κάθε κύκλο. Ως εκ τούτου, για την εκτίμηση της αύξησης της θερμοκρασίας λόγω αυτής της αντίδρασης, η μάζα του υλικού που είναι διαθέσιμη σε κάθε κύκλο για την οξείδωση πρέπει να είναι γνωστή. Από τα πειραματικά δεδομένα σχετικά με το μέγεθος της λάμψης [3], μπορεί να εκτιμηθεί ότι η μάζα του υλικού που μπορεί να οξειδωθεί, θα είναι:

Μάζα που οξειδώνεται = ρ * χώρο λάμψης * πάχος του στρώματος που καταναλώνεται κατά την οξείδωση (7) όπου η επιφάνεια της λάμψης μπορεί να υπολογιστεί από το μετρούμενο μέσο πάχος της λάμψης, τις διαστάσεις των δειγμάτων και το μήκος της λάμψης του υλικό που εξωθείται σε κάθε κύκλο. Το μήκος του υλικού λάμψης εξωθείται σε κάθε κύκλο που προστίθεται στο υπάρχον θέμα λάμψης και μπορεί να εκτιμηθεί από την ανάλυση ροής υλικών [2]. Μέσες τιμές για την υπόθεση πλάτους 3 mm είναι 1 mm για το πάχος της λάμψης, 0,3 mm του μήκους που προστίθεται σε κάθε κύκλο στην υπάρχουσα λάμψη στην κατεύθυνση της κίνησης και 0,1 mm του μήκους που προστίθεται σε κάθε κύκλο στην υπάρχουσα λάμψης από το πρόσωπο του δείγματος ,παράλληλα προς την κίνηση. Υποθέτοντας ότι το πάχος του στρώματος στην περιφέρεια της λάμψης που καταναλώνεται είναι 0,01 mm, η άνοδος της θερμοκρασίας στο υλικό λάμψης που μόλις εξωθείται λόγω του σχηματισμού του TiO2 είναι 8,8 ° C, αν όλα τα υλικά τιτανίου γύρω από την εξωτερική επιφάνεια αντιδρούν με το οξυγόνο.
Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι παρόμοια με το πλάτος της ταλάντωσης, και εξαρτάται από το πάχος της λάμψης και το υλικό που καταναλώνεται. Ωστόσο, αυτό το εντυπωσιακό αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της γραμμικής συγκόλλησης τριβής με το Τϊ6ΑΙ4ν δεν θα είναι μια σημαντική συμβολή στην αύξηση της θερμοκρασίας ή στο γειτονικό δείγμα, ενδεχομένως να αντισταθμιστεί η απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον.

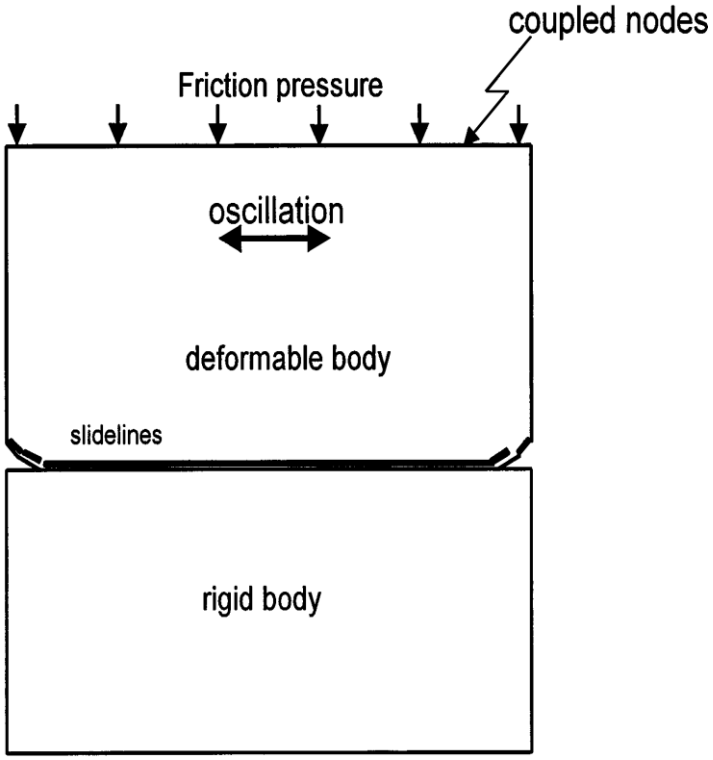
5.3 Αριθμητικό μοντέλο

Η γραμμική συγκόλληση τριβής είναι μια πολύπλοκη φυσική διαδικασία της οποίας η ρεαλιστική μοντελοποίηση απαιτεί ένα αριθμητικό εργαλείο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Θερμική-μηχανικής σύνδεσης. Η διαδικασία μπορεί να διαχωριστεί σε ένα μηχανικό και ένα θερμικό πρόβλημα που πρέπει να λυθεί παράλληλα κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού βήματος στην ανάλυση. Η εργασία που γίνεται εξαιτίας της τριβής και της πλαστικότητας στη μηχανική πλευρά της ανάλυσης επηρεάζει το πεδίο θερμοκρασιών. Μετά τη μεταφορά δεδομένων από τη μηχανική ανάλυση, λαμβάνονται υπόψη οι ενημερωμένες θερμοκρασίες για τον υπολογισμό των στελεχών και τάσεων. Αυτή η διαδοχική διαδικασία λαμβάνει χώρα για κάθε βήμα στην ανάλυση.
- Μη-γραμμικότητας υλικό. Ήδη έχουν δείξει από την εργασία με απλά αναλυτικά μοντέλα, ότι οι ιδιότητες του υλικού επηρεάζουν σημαντικά την ακρίβεια των προβλέψεων. Οι ιδιότητες θερμοκρασίας εξαρτώνται από το υλικό και είναι ουσιαστικής σημασίας για την ακριβή αναπαράσταση της διαδικασίας, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης των ιξωδοπλαστικών συστατικών νόμων για την περίπτωση τούTi6Al4V.
- Συγκρότημα θερμικών οριακών συνθηκών. Αυτό περιλαμβάνει την διεξαγωγή της θερμότητας από την διεπιφάνεια τριβής με το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων, τις απώλειες μεταφοράς θερμότητας στον περιβάλλοντα αέρα, τις απώλειες ακτινοβολίας λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επιτεύχθηκαν (της τάξεως των 1000 ° C) και την ροή τριβής, ως αποτέλεσμα της κίνησης μεταξύ των δύο δειγμάτων.
- Συγκρότημα μηχανικές οριακών συνθηκών. Συνεπάγεται μεταβολή με το χρόνο της περιοχής επαφής της επιφανείας και των παραμέτρων τριβής. Το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής αλλάζει με το χρόνο λόγω της ημιτονοειδούς κίνησης των δειγμάτων. Οι παράμετροι τριβών μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, όπως έχουν δείξει τα πειράματα [8]. Στη συντριπτική πλειονότητα των πεπερασμένων στοιχείων εργασίας σε περιστροφικό συγκόλλησης τριβής, το πρότυπο τριβόμενης εισόδου θερμότητας ακολουθεί πειραματικές τιμές ισχύος. Προφανώς, αυτή η προσέγγιση περιορίζει τη

δυνατότητα να χρησιμοποιούν αριθμητική προσομοίωση ως εργαλείο πρόβλεψης για να διερευνήσουν και άλλες ρυθμίσεις για τα μηχανήματα συγκόλλησης τριβής (όπως οι παράμετροι της διαδικασίας ή το τρόπου εφαρμογής της δύναμης), χωρίς να χρειάζεται να καταφύγουν σε πειράματα ή διαφορετικά σχέδια του μηχανήματος.

- Εκτίμηση σφάλματος. Σε μία μη-γραμμική ανάλυση μιας επαναληπτικής διαδικασίας που χρησιμοποιείται για το διάλυμα ως εκ τούτου απαιτείται από τον κώδικα ανάλυσης, τόσο για τα θερμικά και μηχανικά πεδία, ώστε να εξασφαλίζεται μια σταθερή ακρίβεια καθ 'όλη τη διαδικασία, ελέγχοντας το σφάλμα λόγω των εναπομεινάντων δυνάμεων στο τέλος κάθε επανάληψης.



ΣΧ. 4. Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων της γραμμικής συγκόλλησης τριβής.

5.3.1 Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων

Η αριθμητική προσομοίωση της διαδικασίας πραγματοποιήθηκε με την προσφυγή του Elfen, ένα ιδιόκτητο πεπερασμένων στοιχείων πρόγραμμα λογισμικού που αναπτύχθηκε από Rockfield, το οποίο παρείχε τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Η περιστροφική συγκόλληση τριβής μπορεί να μοντελοποιηθεί αξονοσυμμετρικά, δημιουργώντας έτσι ένα πολύ μικρότερο μοντέλο με μειωμένες υπολογιστικές απαιτήσεις. Το μοντέλο της διαδικασίας της γραμμικής συγκόλλησης τριβής παρόμοιων μετάλλων μπορεί να είναι μειωθεί στο μισό του αρχικού μεγέθους του μοντέλου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον καθορισμό ενός από τα δύο δείγματα ως άκαμπτο, αφήνοντας το άλλο αντικείμενο ως παραμορφώσιμο σώμα. παρόλο που η θερμότητα τριβής δημιουργείται μεταξύ παραμορφώσιμων και άκαμπτων επιφανειών, οι αυξήσεις της θερμοκρασίας πραγματοποιούνται μόνο στο παραμορφώσιμο σώμα και στη μείωση του χρόνου επεξεργασίας, αντίστοιχα. Λόγω του μακρού χρόνου επεξεργασίας που εμπλέκεται (της τάξης των 15 ωρών του χρόνου της CPU σε έναν υπολογιστή Silicon Graphics Challenge), ένα δισδιάστατο μοντέλο μπορεί να προσφέρει μια εικόνα για τη φυσική του προβλήματος σε εύλογους χρόνους επεξεργασίας.
Το γραμμικό μοντέλο συγκόλλησης τριβής αποτελείται από δύο αντικείμενα, που αντιπροσωπεύουν τα δύο δείγματα στη διαδικασία (Εικ. 4). Συνολικά 764 ισοπαραμετρικά τριγωνικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για

την διακριτοποίηση των δύο μπλοκ. Η κορυφή του αντικειμένου έχει οριστεί ως παραμορφώσιμη, ενώ το κάτω μέρος ως άκαμπτο σε μια προσπάθεια να μειωθεί το πρόβλημα και να συντομεύσει το χρόνο ανάλυσης. Το πλάνο των στοιχείων στρες που χρησιμοποιείται στο πλέγμα, έδειξαν τα πειράματα ότι υπάρχει περιορισμένη εξώθηση υλικού από την πλευρά της διεπιφάνειας νωρίς στη διαδικασία. Αυτό το υλικό εξώθησης εμφανίζεται όχι μόνο από την κατεύθυνση της κίνησης, αλλά επίσης και από την κατεύθυνση παράλληλη προς αυτό. Ένα άλλο όφελος των στοιχείων επίπεδης έντασης είναι ότι δεν είναι τόσο άκαμπτη όσο τα στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης, μειώνοντας τις αριθμητικές δυσκολίες που αντιμετωπίζει το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων κατά τη διάρκεια της επαναληπτικής λύσης.

Το κάτω αντικείμενο περιορίζεται στις x και y κατευθύνσεις κατά μήκος του πυθμένα όψεως. Οι κόμβοι στην επάνω όψη του άνω μπλοκ είναι συζευγμένοι να κινούνται μαζί σε δύο βαθμούς ελευθερίας, όπου εφαρμόζεται η κίνηση ταλαντώσεως και η πίεση τριβής. Ο περιορισμός για το θερμικό μοντέλο είναι να ορίσετε μια αρχική θερμοκρασία 20 ° C και για τα δύο αντικείμενα.

Τα μηχανικά φορτία που εφαρμόζονται είναι η πίεση τριβής στην άνω όψη του άνω μπλοκ, και μια μετατόπιση που είναι στη γωνία του κόμβου της ίδιας όψης. Το άνω συγκρότημα μετατοπίζεται στην κατεύθυνση παράλληλα προς τις μεγάλες πλευρές των δειγμάτων κατά ένα ποσό ίσο προς το πλάτος της ταλάντωσης. Η μετατόπιση αλλάζει με το χρόνο σε μία ημιτονοειδή συνάρτηση με την απαιτούμενη συχνότητα ταλάντωσης. Αυτό το φορτίο διακριτοποιείται από την αρχή της ανάλυσης, με τον κύκλο ταλάντωσης σε 40 βήματα. Η προσαύξηση του χρόνου ανάμεσα σε κάθε βήμα της ανάλυσης είναι ρυθμισμένη ώστε να αντιστοιχεί στα χρονικά βήματα της κίνησης. Η εφαρμοζόμενη πίεση αυξάνεται με την απαιτούμενη πίεση τριβής σε δύο δόσεις κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων βημάτων στιγμή της ανάλυσης, για να βοηθήσει τη σύγκλιση κατά την έναρξη της ανάλυσης.

Η τοποθέτηση για τη θερμική ανάλυση περιλαμβάνει απώλειες συναγωγής και ακτινοβολίας. Το όριο χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει την απομάκρυνση θερμότητας προς το περιβάλλον μεταφοράς θερμότητας δια αγωγιμότητας. Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες του μέσου βαθμού, η ροή είναι αναγκασμένη στο παρελθόν από την επιφάνεια, και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η κατεύθυνση της μεταφοράς θερμότητας είναι κάθετη προς την επιφάνεια και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιείται έχει μία τιμή 100 m2 K W, το οποίο είναι εύλογο για την αναγκαστική ροή σε καταστάσεις παρόμοιες με αυτές που συναντώνται στην περιοχή γύρω των δύο κινούμενων δειγμάτων. Το όριο ακτινοβολίας εφαρμόζεται στην επιφάνεια τριβής, καθώς επίσης και στις πλευρές του δείγματος, που εκπροσωπούν ενέργεια που χάνεται από το μαύρο σώμα εκπομπής.

Οι μοναδικοί παράγοντες που επηρεάζουν την μεταφορά ενέργειας είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του περιβάλλοντος μέσου, και της ικανότητα εκπομπής της επιφανείας η οποία ορίστηκε στα 0,8, παρόμοιο με εκείνα για τα οξείδια μετάλλου.

Οι μη γραμμικές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες του υλικού [7] που χρησιμοποιούνται, των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Η επιλογή ιξωδοπλαστικής δύναμης χρησιμοποιείται για να παραστήσει τον κανόνα ροής υλικών. Ο ιξωδοπλαστικός ε^{vp} ρυθμός ροής μπορεί να συνδέονται με καταστάσεις στρες στα πεπερασμένα στοιχεία με σύνθεση:

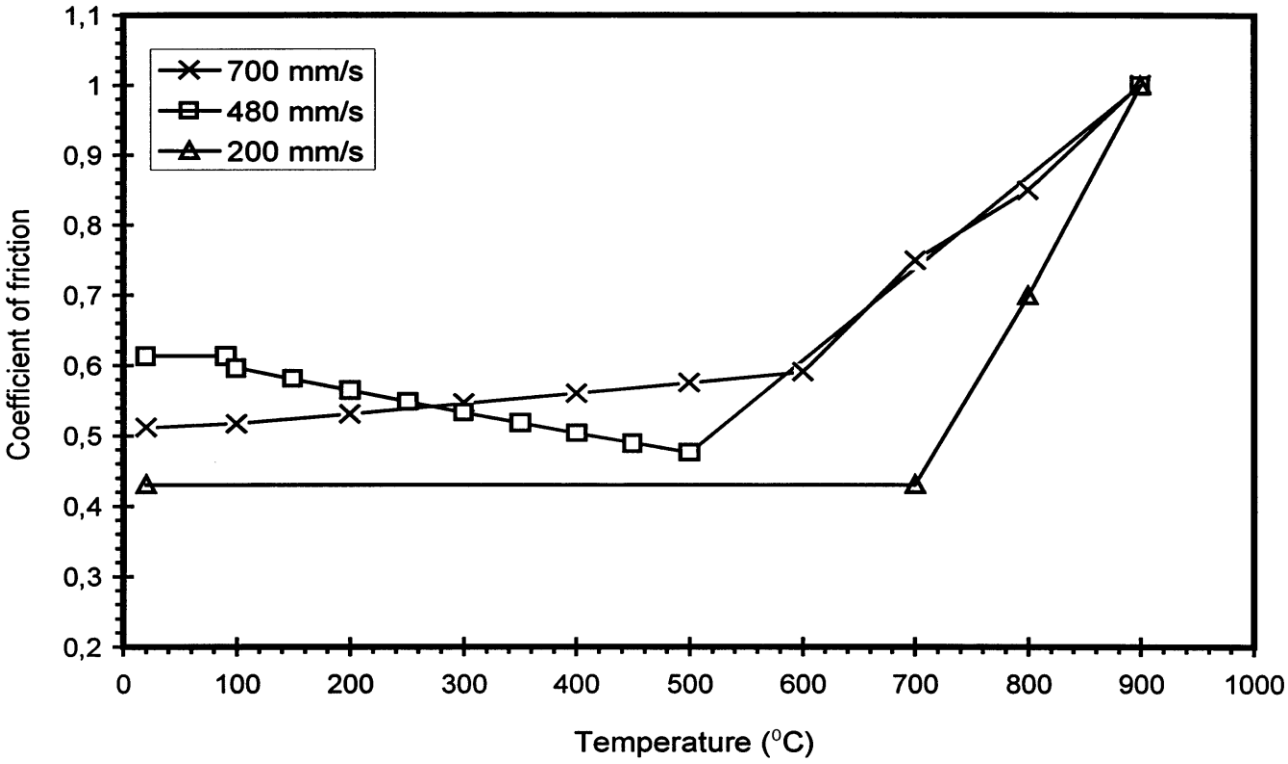
$$\varepsilon^{vp} = \gamma[(\sigma - \sigma_y)/ \sigma_y]^N \qquad (8)$$

Από τα πειραματικά δεδομένα των θερμοκρασιών και ρυθμών παραμόρφωσης είναι πιο πιθανό να ανακύψουν συναντήσει σε γραμμική συγκόλληση τριβής του Ti6Al4V [9], η παράμετρος γ : ρευστότητα έχει οριστεί σε 2,75 και ο εκθέτης N έως 4.

Η επαφή μεταξύ των δύο επιφανειών ολίσθησης διαμορφώνεται με μια σειρά από σύνολα επαφής, κοινώς γνωστό ως γραμμή ολίσθησης. Οι γραμμές ολίσθησης που ανήκουν στην επιφάνεια του πυθμένα ορίζονται ως άκαμπτες. Άκαμπτες επιφάνειες χρησιμοποιούνται όπου δεν υπάρχει παραμόρφωση και το αντικείμενο

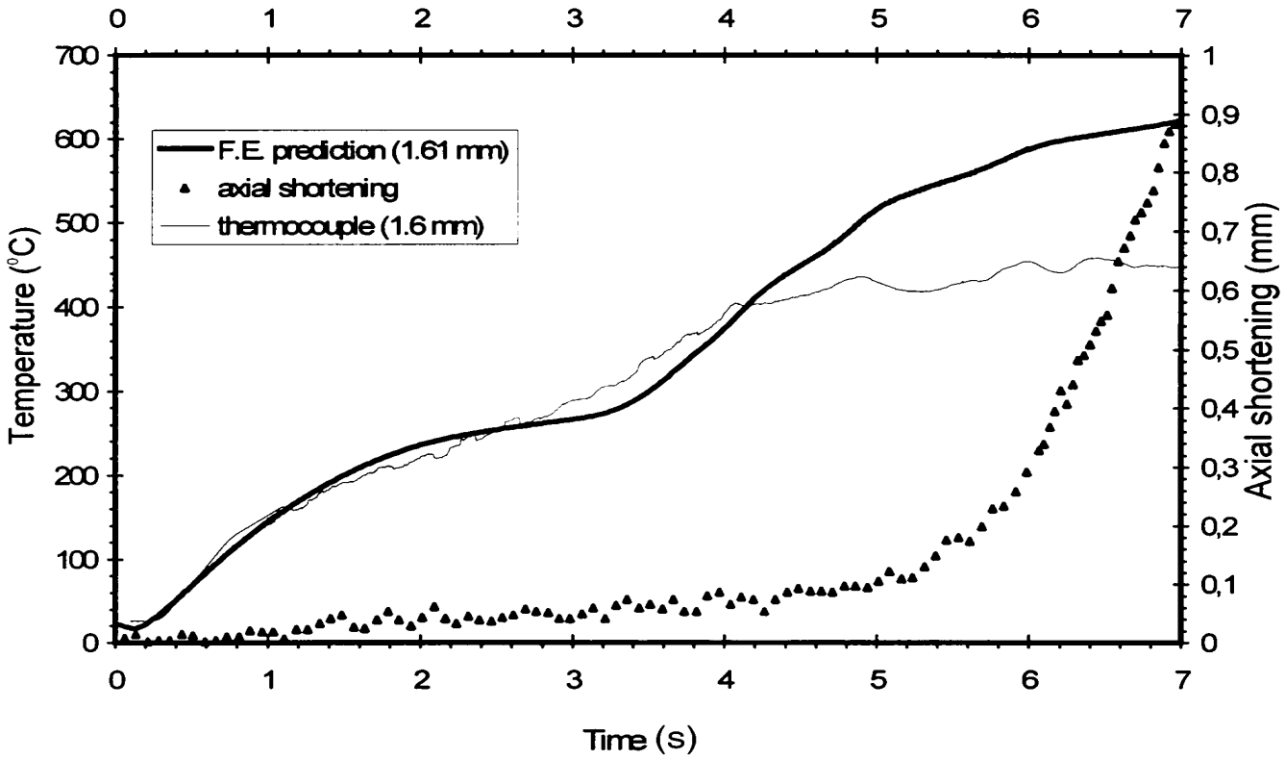
παραμένει στην αρχική θέση εκτός εάν μετακινηθεί. Η άνω επιφάνεια, η οποία είναι υπό μελέτη, ορίζεται ως παραμορφώσιμη. Δεδομένου ότι οι επιφάνειες είναι σε επαφή ολίσθησης χρησιμοποιείται ο νόμος τριβής του Coulomb. Η εργασία τριβής παράγεται μόνο όταν τα μέρη των επιφανειών επαφής βρίσκονται σε επαφή.

Για τον αλγόριθμο επαφής να προσομοιώσει τη διαδικασία της τριβής, χρησιμοποιούνται ειδικά στοιχεία . Τα στοιχεία αυτά επιτρέπουν φορείς να εισβάλουν στο χώρο που καταλαμβάνεται από το αντικείμενο στο οποίο ανήκουν και να αντισταθούν σε αυτή την εισβολή, σύμφωνα με την τιμή ενός κανονικού συντελεστή ποινής. Ο συντελεστής αυτός ορίζει στο προϊόν, το μέτρο ελαστικότητας του μέσου όρου του young και το μέσο μήκος στοιχείου στην επιφάνεια. Για να ορίσετε τη μηχανική συμπεριφορά των γραμμών ολίσθησης είναι αναγκαίος ένας αριθμός συναφών δεδομένων, όπως ο συντελεστής τριβής και τις παραμέτρους για την αριθμητική προσομοίωση των παραμορφώσιμων σωμάτων. Για τις αναλύσεις αυτές, τα στοιχεία που αφορούν την αλλαγή του συντελεστή τριβής με την θερμοκρασία διεπιφάνειας που χρησιμοποιείται όπως προβλέπεται από τα πειράματα συμπεριφοράς σε τριβή που περιγράφεται στην προηγούμενη εργασία (Ε. 5).



ΣΧ. 5. Συντελεστής τριβής που χρησιμοποιείται στην πεπερασμένη διαμόρφωση στοιχείου.

Κατά τη διάρκεια της αριθμητικής εργασίας διαπιστώθηκε ότι τα προβλήματα της σύγκλισης εμφανίστηκαν κατά την ταλάντωση των αντικειμένων. Προέρχονται από τις αιχμηρές γωνίες του παραμορφώσιμου αντικειμένου στην κορυφή, όπου οι δυνάμεις της αντίδρασης εισήχθησαν σε τοπικό επίπεδο από την ανάλυση για την αντιμετώπιση εισβολής των στοιχείων από αυτούς τους κόμβους που παράγονται οι αριθμητικές δυσκολίες, οι οποίες συχνά οδήγησαν σε συντριβή της ανάλυσης. Για να ξεπεραστεί αυτό, εισήχθησαν στρογγυλεμένες γωνίες, που αποτελούνταν από μικρότερα τμήματα γραμμής διαφανειών.



ΣΧ. 6. Σύγκριση μεταξύ των πειραματικών και πεπερασμένων στοιχείων θερμοκρασίας δεδομένων.

5.3.2 Πειραματική επαλήθευση των αριθμητικών μοντέλων

Για την επαλήθευση της ακρίβειας των πεπερασμένων στοιχείων που αναπτύχθηκαν, πρέπει να υπολογιστούν δύο παράμετροι:

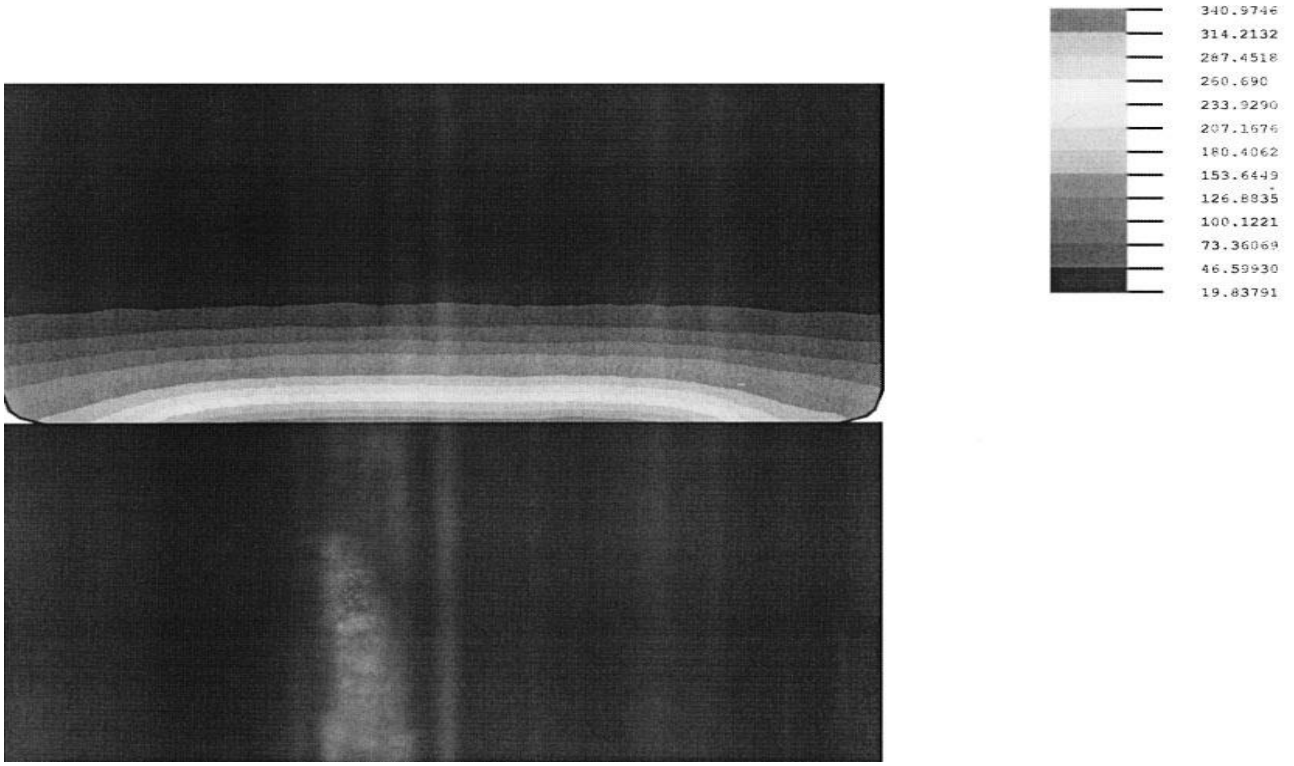
1. Η θερμοκρασία σε μία γνωστή θέση, και
2. Οι συνθήκες διάτμησης του στρες

Η θερμοκρασία καταγράφηκε χρησιμοποιώντας ένα θερμοστοιχείο ενσωματωμέν9 σε μια τυφλή οπή στο στατικό δείγμα. Το μήκος της οπής ορίστηκε σε ένα προκαθορισμένο βάθος. Το σύρμα του θερμοστοιχείου συνδέθηκε με την οπή χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό υψηλής αντοχής και χαμηλής θερμοκρασίας κόλλα για το τμήμα του σύρματος μακριά από την διεπιφάνεια, επίσης χρησιμοποιήθηκε μία υψηλής θερμοκρασία κόλλα σε θέση να αντέξει 1000 ° C για το τμήμα της οπής πλησιέστερα στο θερμό περιβάλλον.

5.3.3 Συνθήκες θερμοκρασίας και στρες.

Οι παράμετροι της διαδικασίας που χρησιμοποιήθηκαν για τον ίδιο πείραμα στο τμήμα αναλυτικής μοντελοποίησης χρησιμοποιήθηκαν για την επαλήθευση των πεπερασμένων στοιχείων του μοντέλου που αναπτύχθηκε, καθώς και η συμπεριφορά των παραδοχές τριβής που χρησιμοποιούνται. Ο συντελεστής τριβής τέθηκε να αλλάξει ανάλογα με το μοντέλο που παράγεται στο [8], για μια μέση ταχύτητα ολίσθησης 200 mm/s, η οποία ήταν πιο κοντά στην μέγιστη ταχύτητα 173 mm/s του παρόντος πειράματος. Όπως μπορεί να φανεί (Εικ. 6), η πρόβλεψη της θερμοκρασίας του μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων είναι κοντά με εκείνη που σημειώθηκε στη διαδικασία έως 4 s, όπου αρχίζει να αποκλίνει. Η θερμοκρασία που καταγράφεται στο πείραμα έχει φτάσει σε ένα επίπεδο, προτού υποχωρήσει. Ο λόγος για αυτό έγκειται στις πολύπλοκες συνθήκες κατεργασίας μετάλλων στην διεπιφάνεια τριβής. Κατά τα πρώτα δευτερόλεπτα της διαδικασίας, το υλικού που έχει αφαιρεθεί από το περιβάλλον λόγω της φθοράς, και της τριβής θερμότητας

αυξάνει τη θερμοκρασία στη διεπιφάνεια. Καθώς το υλικό αποδίδεται τοπικά εξωθείται από τις πλευρές του δείγματος, ή κινείται μέσα στην τρύπα όπου βρίσκεται το θερμοστοιχείο. Αυτό προκαλεί στο θερμοστοιχείο την απομάκρυνση του από το περιβάλλον, όπου καταγράφει χαμηλότερες θερμοκρασίες σε άγνωστη απόσταση από την διεπιφάνεια τριβής, αν δεν έχει υποστεί ζημιά.

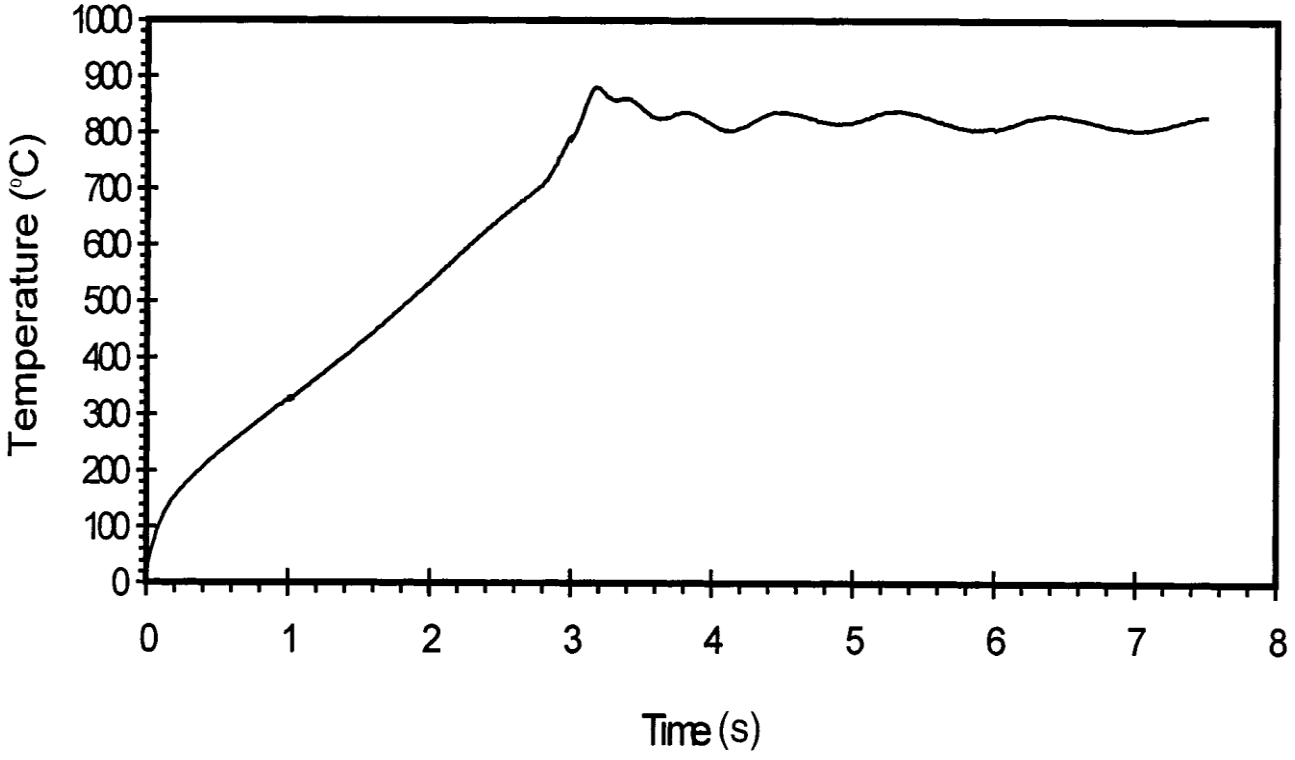


ΣΧ. 7. Πρόβλεψη πεπερασμένων στοιχείων θερμοκρασίας κατά τη στιγμή 1,03 s.

Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας του μοντέλου στην αρχή της διαδικασίας (Εικ. 7) δείχνει τη θερμοκρασία να αυξάνεται σε όλη τη διεπιφάνεια με ένα σχετικά ομοιόμορφο τρόπο. Να σημειωθεί ότι το αντικείμενο στο κάτω μέρος δεν έχει επηρεαστεί από τη διαδικασία με τη θερμοκρασία του να έχει παραμείνει σταθερή. Αυτό ορίστηκε ως ένα άκαμπτο αντικείμενο, σε μια προσπάθεια να μειώσει τις υπολογιστικές φορές.

Το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων πρόβλεψης για έναν κόμβο στη μέση της διεπιφάνειας τριβής (Εικ. 8) προβλέπει ότι η θερμοκρασία δεν θα αυξηθεί πάνω από 900 ° C, και ότι θα παραμείνει σταθερή γύρω από αυτή τη θερμοκρασία. Αν και τα δεδομένα από το θερμοστοιχείο επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι οι θερμοκρασίες στο περιβάλλον δεν πρέπει να έχουν υπερβεί τη θερμοκρασία μετάπτωσης των 995 ° C, οι μεταλλουργικές παρατηρήσεις έδειξαν το αντίθετο, όπως ότι αιχμηρά άλφα εντοπίστηκαν στην περιοχή της συγκόλλησης. Μια εξήγηση για αυτό θα μπορούσε να είναι ότι οι μετρήσεις του θερμοστοιχείου μπορεί να δώσουν στην υποτίμηση των πραγματικών συνθηκών λόγω της περιορισμένης έλεγχο της θερμικής αδράνειας, το χρόνο απόκρισης και την τοποθέτηση της συνδέσεως στο δείγμα.

Το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων προέβλεψε διατμητική δύναμη 1500 N με 5 s στη διαδικασία, ενώ την ίδια στιγμή η μέση πειραματική τιμή ήταν 1425 N, μια διαφορά 5%.



ΣΧ. 8. Πεπερασμένων στοιχείων ανάλυσης πρόβλεψης θερμοκρασίας στην διεπιφάνεια τριβής.

5.3.4 Συνθήκες Συγκολλησιμότητας.

Μεταβάλλοντας την πίεση τριβής και χρησιμοποιώντας τα δύο πλάτη ταλάντωσης που διατίθενται στην εξέδρα, η περιοχή υψηλών συχνοτήτων εξερευνήθηκε αριθμητικά για τον προσδιορισμό των συνθηκών που επικρατούν κατά το τέλος της φάσης I πριν από την παροδική φάση II. Όπως η γραμμική συγκόλληση τριβής είναι μια αυτόνομη διαδικασία ρύθμισης, εάν έχουν επιτευχθεί οι κατάλληλες συνθήκες συγκόλλησης, μια μεγάλης κλίμακας πλαστικότητα θα συνεχιστεί μέσω της φάσης II στη φάση III, όπου και το υλικό εξωθείται από όλες τις πλευρές της διεπιφάνειας.

Από τις προσομοιώσεις πεπερασμένων στοιχείων, δύο μοτίβα προέκυψαν ότι μπορεί να σχετίζονται με τις συνθήκες συγκόλλησης στο τέλος της φάσης I. Το πρώτο είναι ευνοϊκό για γραμμική συγκόλληση τριβής. Μετά από επαρκή θέρμανση τριβής η διεπιφάνεια θερμαίνεται με έναν σχετικά ομοιόμορφο τρόπο δημιουργώντας μία περιοχή απόδοσης του υλικού σε ολόκληρη την διεπιφάνεια τριβής.

Αυτό το υλικό μπορεί στη συνέχεια να εξωθηθεί καθώς και σχηματίζονται περισσότερες αποδόσεις υλικού. Το δεύτερο μοτίβο που δείχθηκε έναν αριθμό πεπερασμένων αναλύσεων στοιχείων ήταν ένα από ανεπαρκή θέρμανση, όπου η περιοχή που είχε αποδώσει, συμπυκνώθηκε στη μέση της διεπιφάνειας. Αυτό το μοτίβο του υλικού δεν προχώρησε ποτέ στην ευνοϊκή μορφή ακόμα και μετά από πολύ μεγάλους χρόνους επεξεργασίας. Δίνοντας αυτόν τον περιορισμό μπορεί να εξηγήσει την εξώθηση θερμού υλικού από καυτά σημεία στη διεπιφάνεια με τη μορφή των κλώνων [1]. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, όταν η ισχύς εισόδου δεν ήταν επαρκής, θα εμφανιζόταν εξωθημένο υλικό από τη διεπιφάνεια και θα προερχόταν συνήθως από τη μέση των δειγμάτων. Αυτά τα καυτά σημεία που βρίσκονται στη μέση των δειγμάτων, οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον είναι ελάχιστες και η θερμότητα τριβής παράγεται συνεχώς κατά την κίνηση.

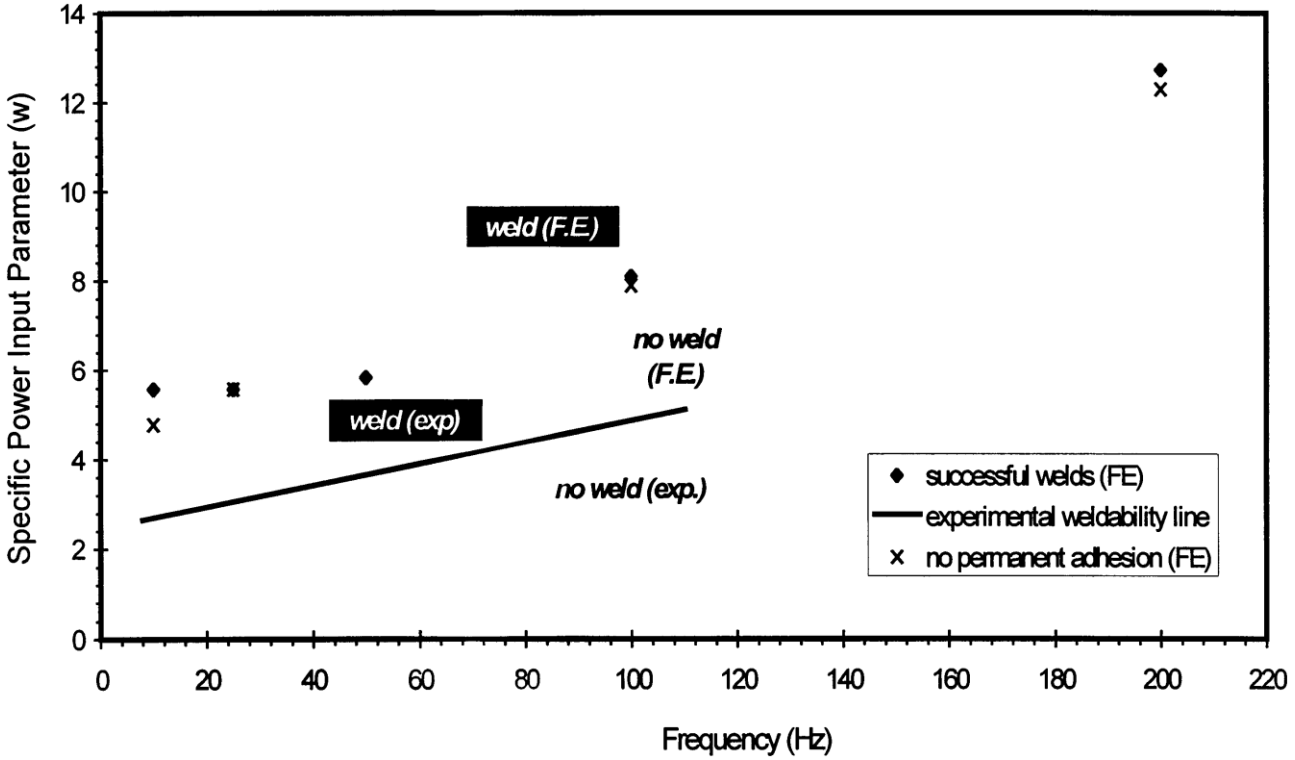
Μία ειδική ισχύς παραμέτρων (W) χρησιμοποιήθηκε για να χαρακτηρίσει τους παραμέτρους της διαδικασίας που χρησιμοποιείται για κάθε πείραμα:

W = (a * f* P_{fr}) / 2π cross-sectional area
όπου το πλάτος της ταλάντωσης (α) μετριέται σε χιλιοστά, η συχνότητα της ταλάντωσης (f) σε Hertz και η πίεση τριβής (Pfr) σε MPα, και η ισχύς (w) σε kW mm2.

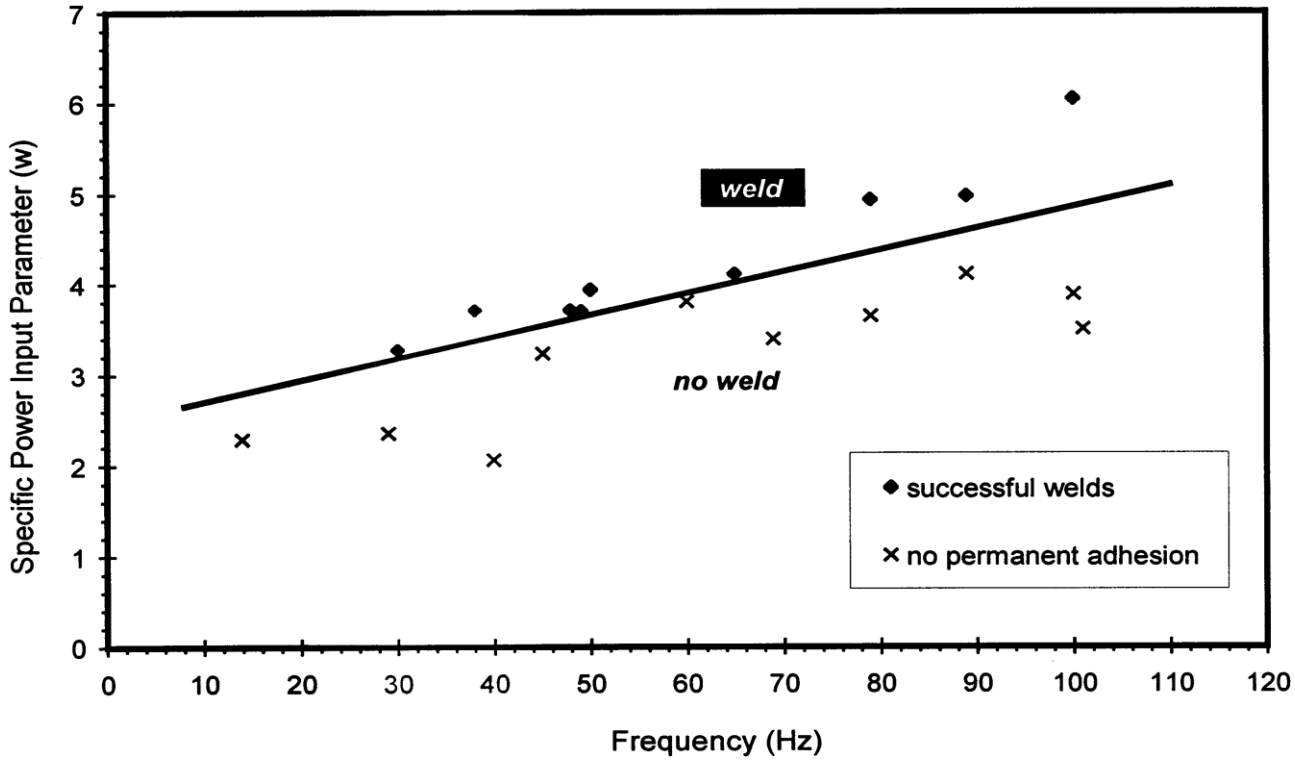
Χρησιμοποιώντας το κριτήριο της έκτασης και του σχήματος του υλικού, απέδωσε στη διεπιφάνεια μια γραμμή συγκολλησιμότητας που είχε προβλεφθεί (Εικ. 9) με τη βοήθεια του αριθμητικού μοντέλου
για διάφορες συχνότητες ταλάντωσης, παρόμοια με εκείνη που λαμβάνεται από την πειραματική εργασία (Εικ. 10). Σημεία τα οποία αντιστοιχούν σε επεξεργασμένες παραμέτρους, όπως περιγράφονται από τις συγκεκριμένες παραμέτρους εισόδου του ρεύματος, οι οποίες βρίσκονται πάνω από τη γραμμή ικανότητας της συγκόλλησης υποδηλώνουν την επιτυχημένη συγκόλληση. Σημεία κάτω από τη γραμμή είναι ανεπιτυχείς προσπάθειες συγκόλλησης.
Αυτό το αριθμητικό μοντέλο πρόβλεψης επιδεικνύει με ποσοτικό τρόπο τα ίδια αποτελέσματα ρυθμού καταπόνησης (Εικ. 10) που παρατηρούνται στα πειράματα. Καθώς η συχνότητα της ταλάντωσης αυξάνει την υψηλότερη ισχύς εισόδου που απαιτείται για να επιτευχθούν εκτεταμένες αποδόσεις στη διεπαφή και συνεπώς στις συνθήκες συγκόλλησης.
Η απόκλιση στη γραμμή συγκολλησιμότητας με βάση τα πειράματα και τις αριθμητικές προβλέψεις (Σχ. 9), όπου το αριθμητικό μοντέλο προβλέπει ότι σε ορισμένες συνθήκες διαδικασίας θα υπάρχουν συνθήκες συγκόλλησης, ενώ τα πειράματα έδειξαν διαφορετικά (π.χ. σε 100 Hz με w; 6), θα μπορούσε να είναι το αποτέλεσμα των δύο διαστάσεων του μοντέλου που χρησιμοποιείται στις αναλύσεις. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να έχουν περιορισμένη ποσοτική συμφωνία, μπορεί να προέρχεται από τια διαθέσιμα στοιχεία συμπεριφοράς της τριβής. Παρόλο που εκτιμήθηκαν από συνθήκες παρόμοιες με αυτές που παρατηρούνται σε γραμμική συγκόλληση τριβής, τα πειράματα χαμηλού εύρους ταλάντωσης έδειξαν χαμηλότερο συντελεστή τριβής από εκείνο που προβλέπεται από τα πειράματα συμπεριφοράς τριβής.

5.4 Συμπεράσματα.

Με βάση την αναλυτική και αριθμητική προσομοίωση της γραμμικής συγκόλλησης του μπλοκ τριβής Τί6ΑΙ4ν ορισμένα σημεία ολοκληρώθηκαν.
Πρώτον, η τριβής εισόδου της θερμότητας στη διεπιφάνεια τριβής είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο του πηλίκου της παραγωγής θερμότητας ανά μονάδα διεπιφανειακής περιοχής, όπως δείχθηκε με αναλυτική μοντελοποίηση.
Δεύτερον, τα αποτελέσματα της εξώθερμης αντίδρασης Τϊ6ΑΙ4ν αν και θεαματικά δεν συμβάλλουν σημαντικά στη διαδικασία.
Τρίτον, η αριθμητική προσομοίωση της διαδικασίας αποδείχθηκε εφικτή. Υπήρξε λογική συμφωνία μεταξύ των πειραμάτων και αριθμητικών αποτελεσμάτων σε θερμοκρασίες και διατμητικές τάσης κατά τις αρχικές φάσεις της διαδικασίας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα ποιοτικό εργαλείο πρόβλεψης για τις παραμέτρους της διαδικασίας.
Τέταρτον, οι επιτυχείς συγκολλήσεις τριβής επιτυγχάνονται όταν υπάρχει επαρκής υποχώρηση του υλικού διεπιφάνειας, όπως έχει αποδειχθεί στην αριθμητική μοντελοποίηση.



ΣΧ. 9. Επίδραση της συχνότητας ταλάντωσης στην παράμετρο της ελάχιστης ισχύος (w) που απαιτείτε για την επίτευξη συνθηκών συγκόλλησης (πεπερασμένων στοιχείων προβλέψεις).



ΣΧ. 10. Επίδραση της συχνότητας ταλάντωσης σχετικά με τις ελάχιστες παραμέτρους συγκεκριμένης ισχύος (w) που απαιτούνται για να επιτευχθεί συγκόλληση (πλάτος της ταλάντωσης 0,92 χιλιοστά).

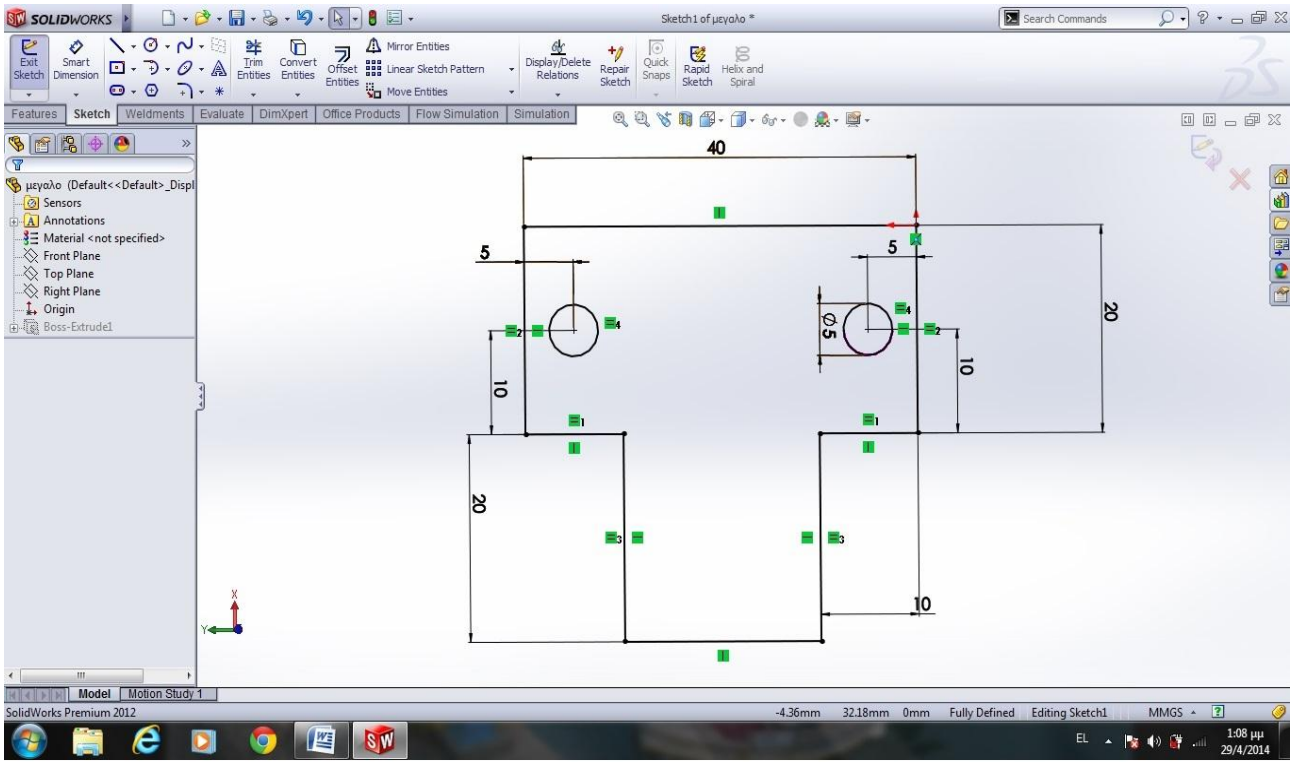
6. Parts

1.Fixed chuck support block (Σταθερής στήριξης μπλοκ τσοκ)

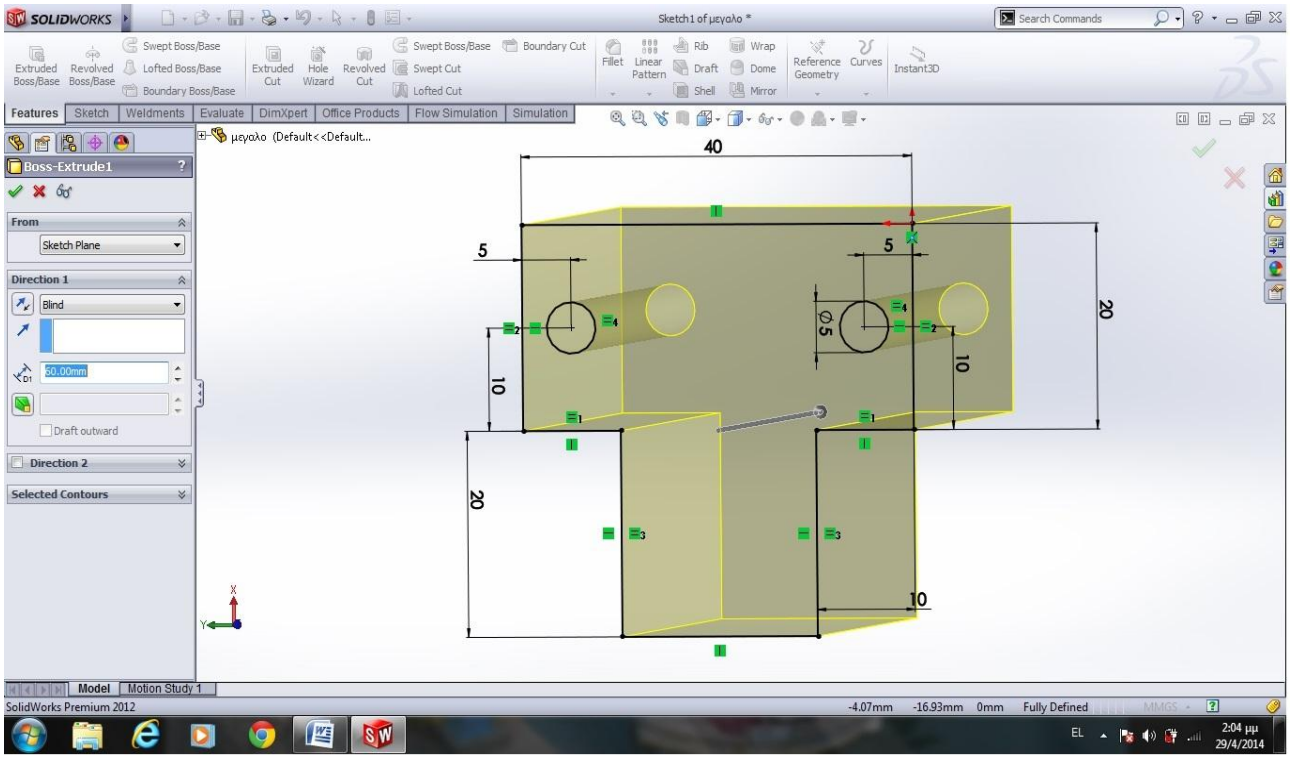
Σχεδιασμός:

Αρχικά ξεκινάω να σχεδιάζω από την αρχή των αξόνων (με κόκκινο), πάω στην καρτέλα **sketch** βρίσκω την εντολή **line** τραβάω μία γραμμή προς τα αριστερά (άξονας y) 40mm , μετά φέρνω μία κάθετη 20mm , μία οριζόντια προς τα μέσα 10mm ,μία κάθετη 20mm , μία οριζόντια 20mm, μία κάθετη προς τα πάνω 20mm, μία οριζόντια προς τα έξω 10mm και τέλος ενώνω με την αρχή των αξόνων. Αφού έχω σχεδιάσει το περίγραμμα , σχεδιάζω και 2 κύκλους μέσα σε αυτό 5mm κοιτάζοντας την ίδια καρτέλα και βρίσκοντας την εντολή **Circle**.

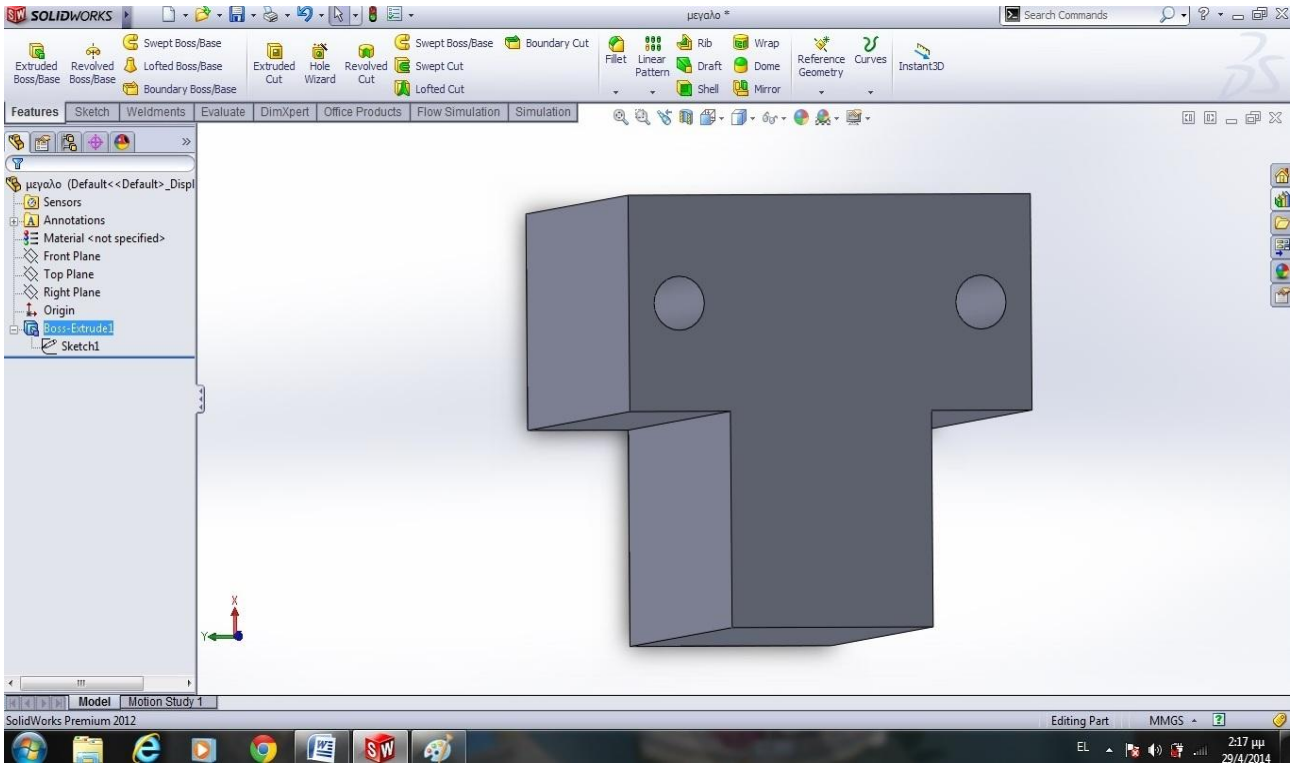
Για να κάνω το σχήμα μου **fully defined** (χωρίς ελλείψεις) πρέπει να βάλω τις κατάλληλες διαστάσεις και τους κατάλληλους περιορισμούς. Έχω δηλώσει τις διαστάσεις των γραμμών και κύκλων , τώρα δηλώνω κάποιους περιορισμούς για να μην βάλω παραπάνω διαστάσεις και μου γίνει over defined . Για το περίγραμμα: οι κάθε παράλληλες γραμμές των 20mm (2 ζευγάρια) είναι ίσες και οι 2 κάθετες των 10mm είναι ίσες. Για τον κύκλο πρέπει να δώσω την διάμετρο του και 2 αποστάσεις για να καταλάβω σε ποιο σημείο του σχήματος είναι. Έχω δώσει διάμετρο , η αποστάσεις είναι μία κάθετη και μία παράλληλη στον άξονα του x , 5 και 10mm αντίστοιχα όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Επίσης έχω δηλώσει ότι οι 2 κύκλοι είναι ίσοι.



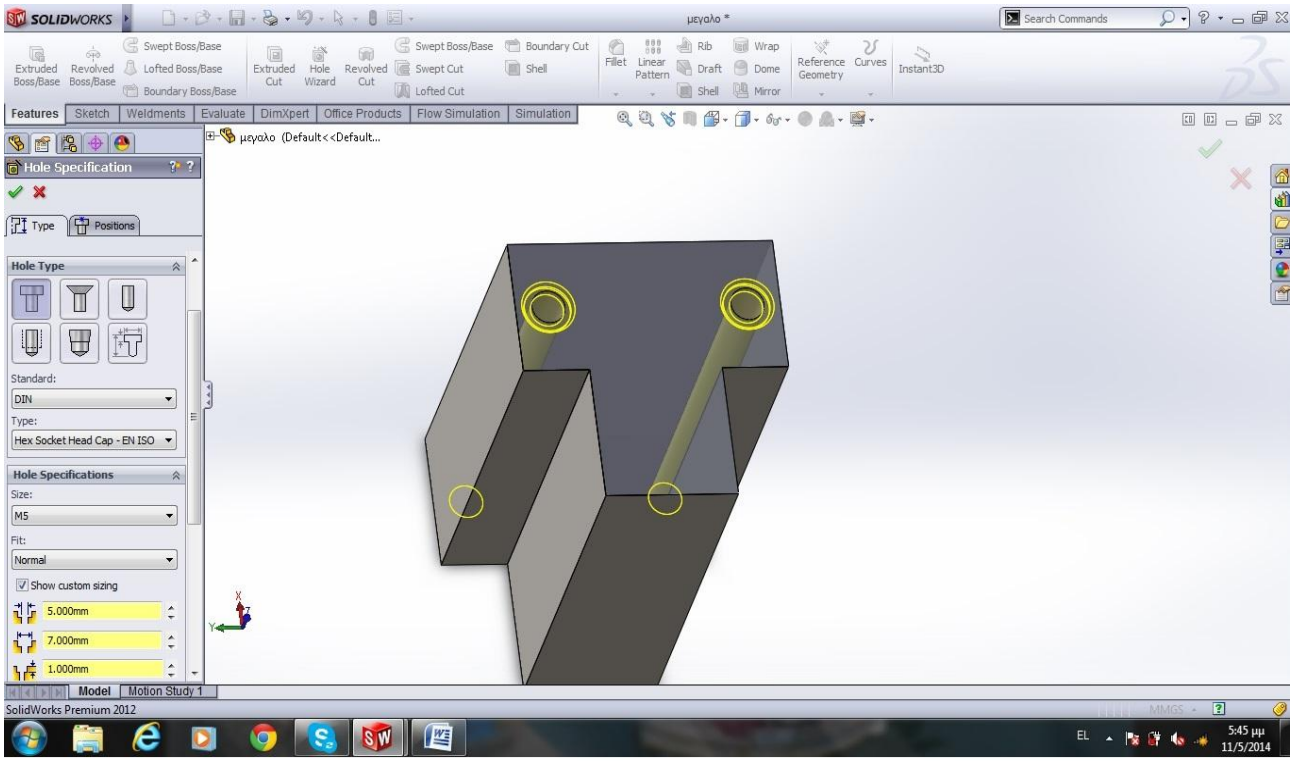
Αφού έχω τελειώσει με το σχέδιο για να γίνει 3D πρέπει να δώσουμε και μία διάσταση στον άξονα Z. Πάμε τώρα στην καρτέλα **Feautures** επιλέγουμε την εντολή **Extruded Boss/Base** και βάζω στο αριστερό παράθυρο Boss-Extruded1 τα εξής : From→ sketch plane και στο Direction1→ Blind και σε απόσταση 60mm όπως φαίνεται παρακάτω.



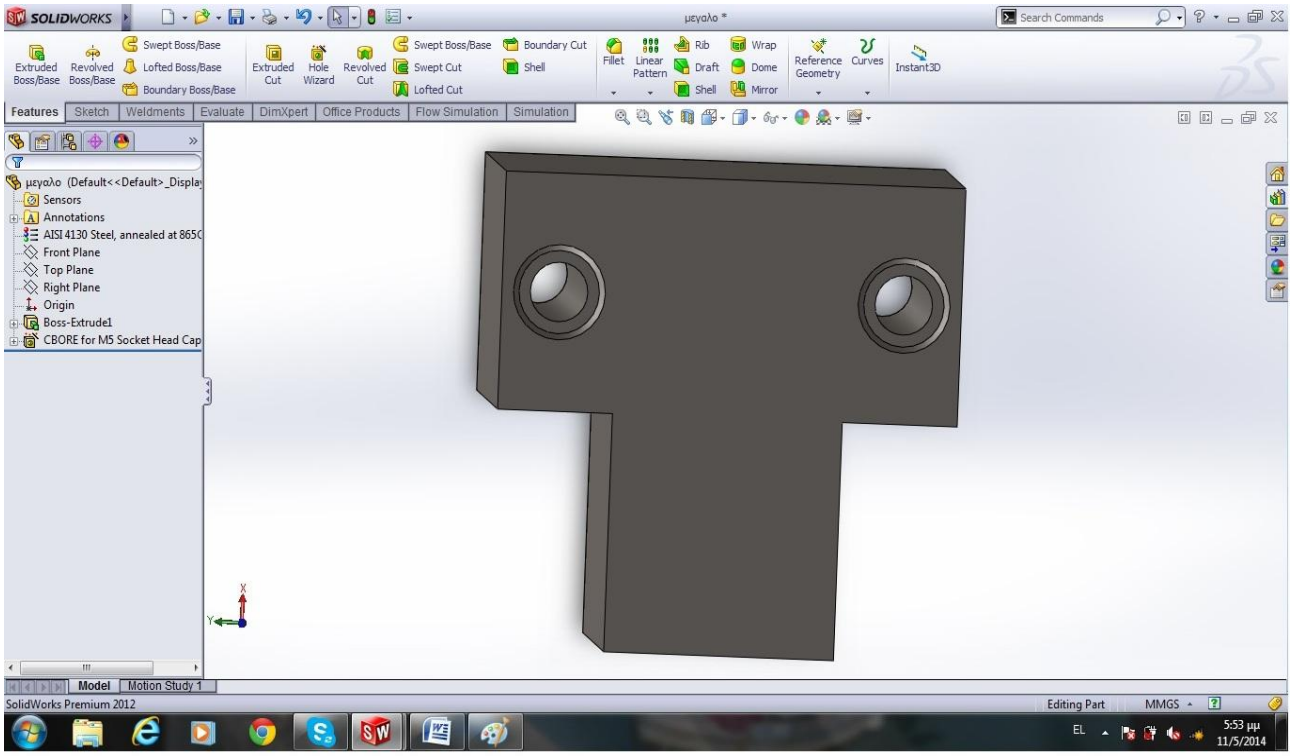
Πατάμε το τικ και έγινε 3D!



Τώρα θέλω να φτιάξω τις τρύπες ανάλογα με το τι βίδα θέλω να βάλω , έτσι χρησιμοποιώ την εντολή **Hole Wizard.** Εκεί στην αριστερή καρτέλα βάζω τον τύπο τις βίδας που θέλω το ύψος της και διάφορες διαστάσεις ανάλογα τον τύπο που επιλέγω κάθε φορά . Παρακάτω φαίνονται κάποια από αυτά:



Τικ και τελειώσαμε!

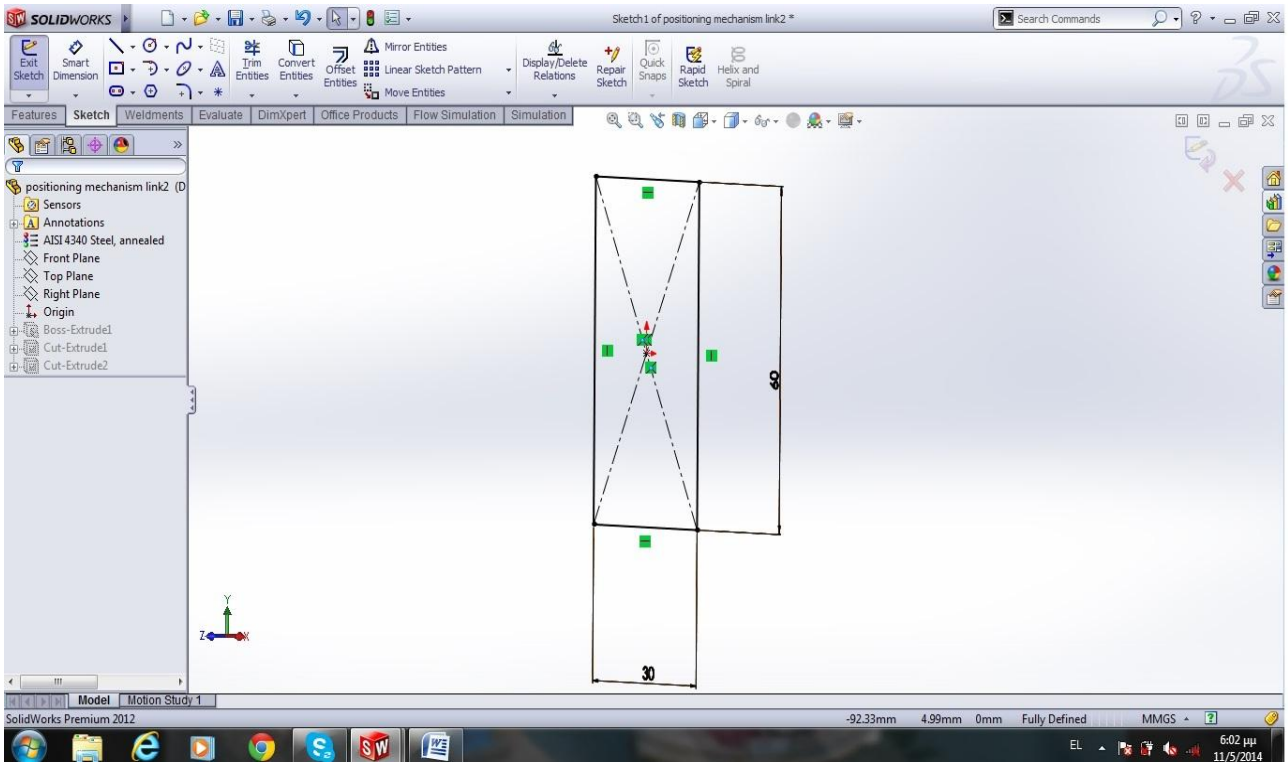


2. Positioning mechanism link (Μηχανισμός συνδέσμου τοποθέτησης)

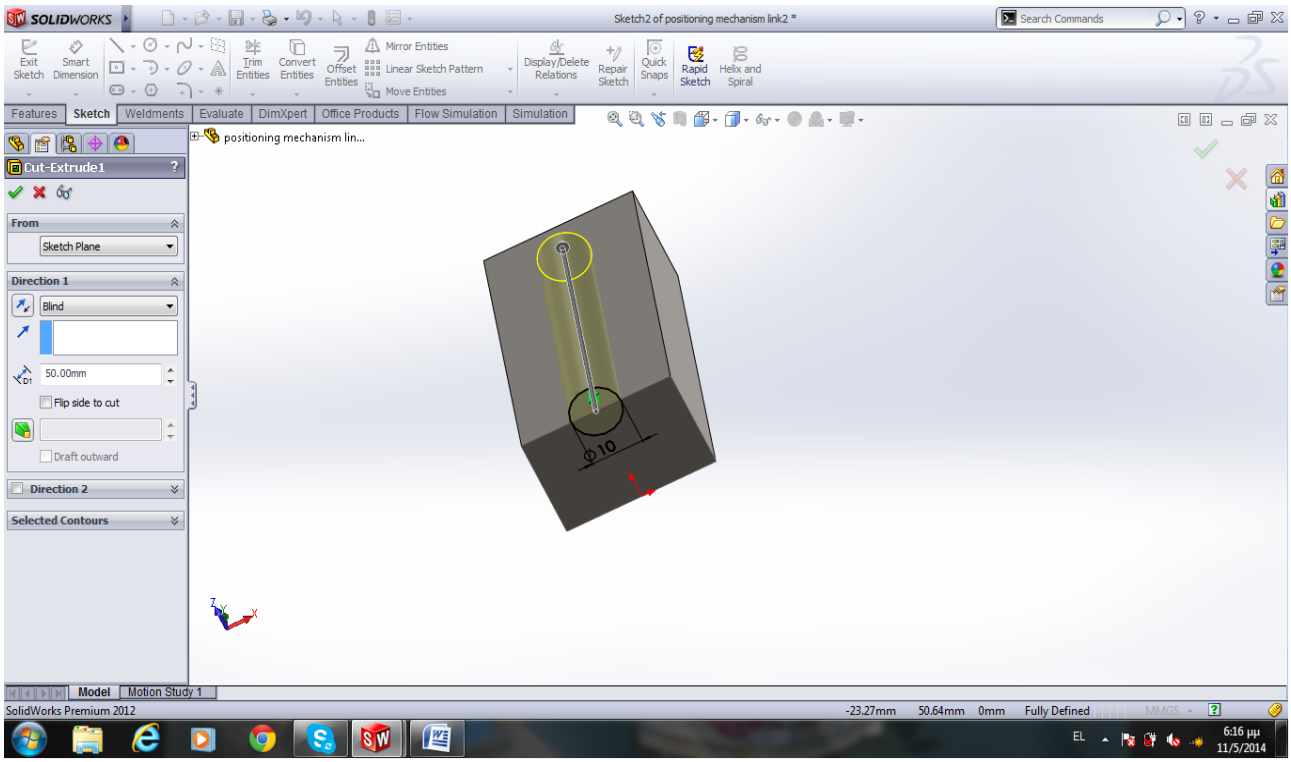
Σχεδιασμός:

Επειδή περνάει από τον άξονα και επειδή έχει εσωτερικές λεπτομέρειες το Part θα γίνει σε 2 ίδια κομμάτια. (μπορούσα να το κάνω και μονοκόμματο)

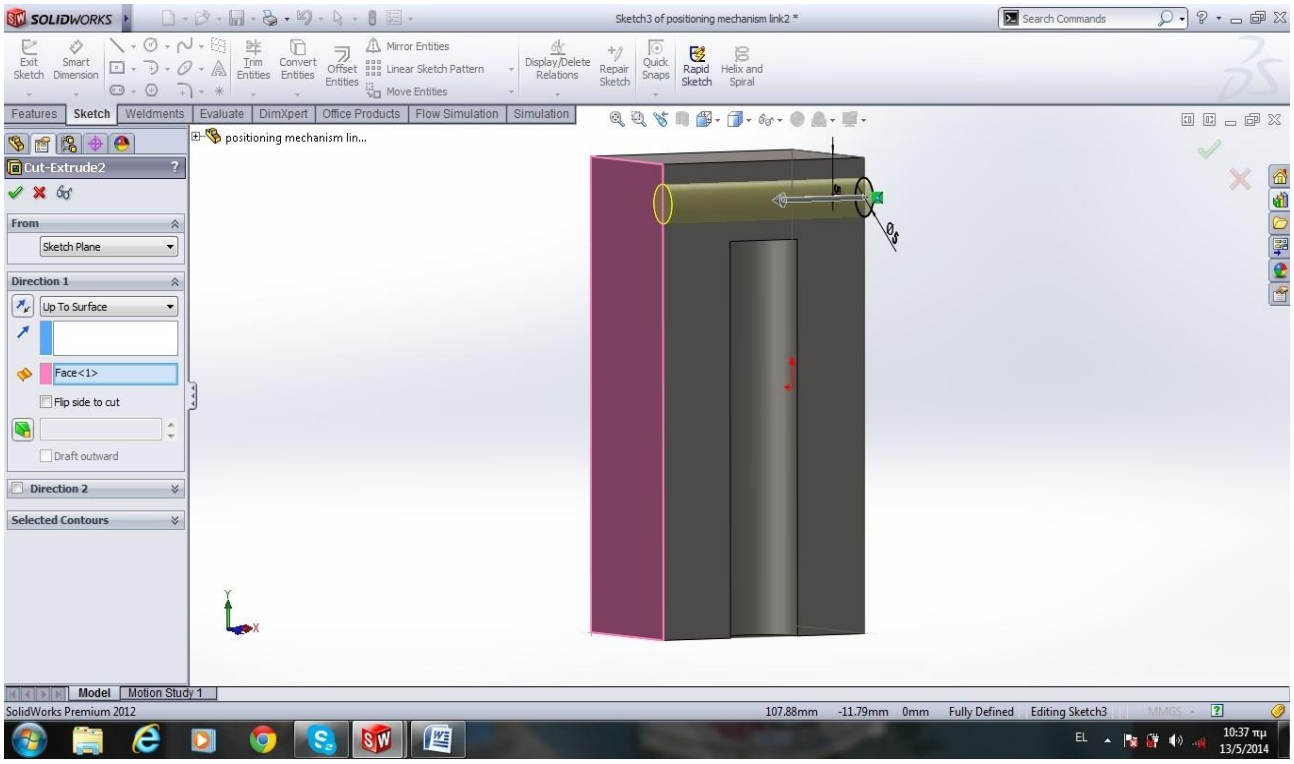
Αρχικά σχεδιάζουμε ένα παραλληλόγραμμο 30*60: **Front Plane →Sketch** και το φτιάχνουμε όπως έχουμε αναφέρει στο Part 1.(φαίνεται από κάτω)

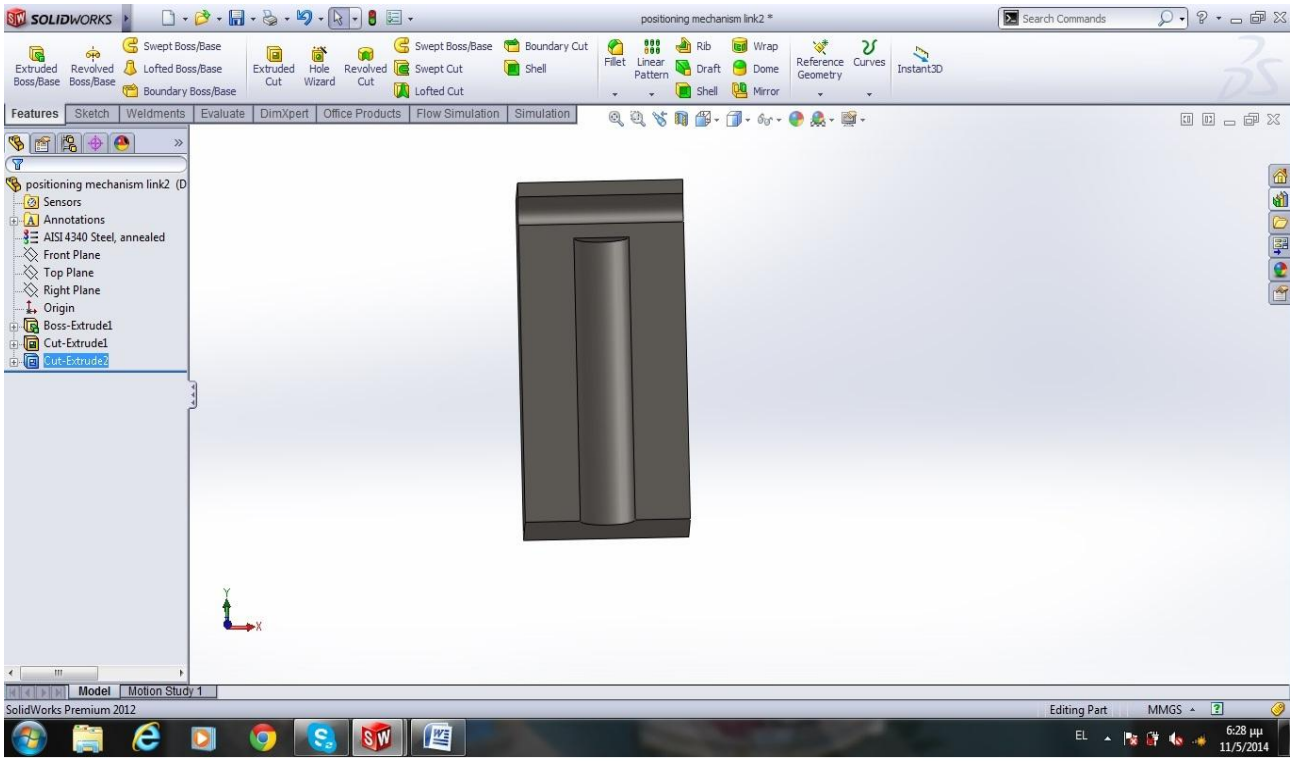


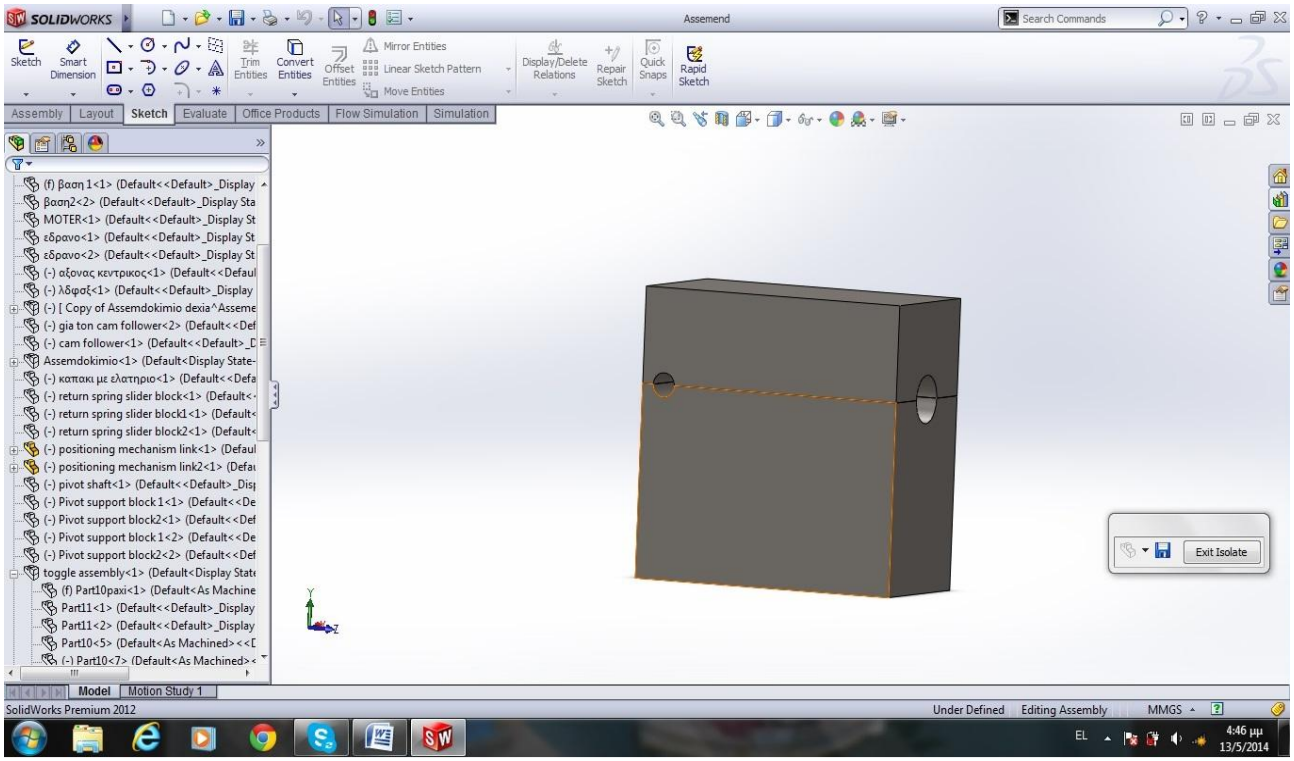
Μετά με Feature το κάνουμε τρισδιάστατο. Συνεχίζουμε σχεδιάζοντας στην κάτω επιφάνεια ένα κύκλο και κόβωντας τον με **Extruded cut** για **Blind 50mm** κάνουμε μια ημικύκλια υποδοχή του κάθετου άξονα όπως φαίνεται παρακάτω.



Κάνω το ίδιο και από την πλάγια επιφάνεια πατάω τικ και τελείωσα!


SOLIDWORKS
Sketch3 of positioning mechanism link2 *
Search Commands
Exit Sketch
Smart Dimension
Trim Entities
Convert Entities
Offset Entities
Mirror Entities
Linear Sketch Pattern
Move Entities
Display/Delete Relations
Repair Sketch
Quick Snaps
Rapid Sketch
Helix and Spiral
Features
Sketch
Weldments
Evaluate
DimXpert
Office Products
Flow Simulation
Simulation
positioning mechanism lin...
Cut-Extrude2
From
Sketch Plane
Direction 1
Up To Surface
Face<1>
Flip side to cut
Draft outward
Direction 2
Selected Contours
Model
Motion Study 1
SolidWorks Premium 2012
107.88mm
-11.79mm
0mm
Fully Defined
Editing Sketch3
MMGS
EL
10:37 πμ
13/5/2014

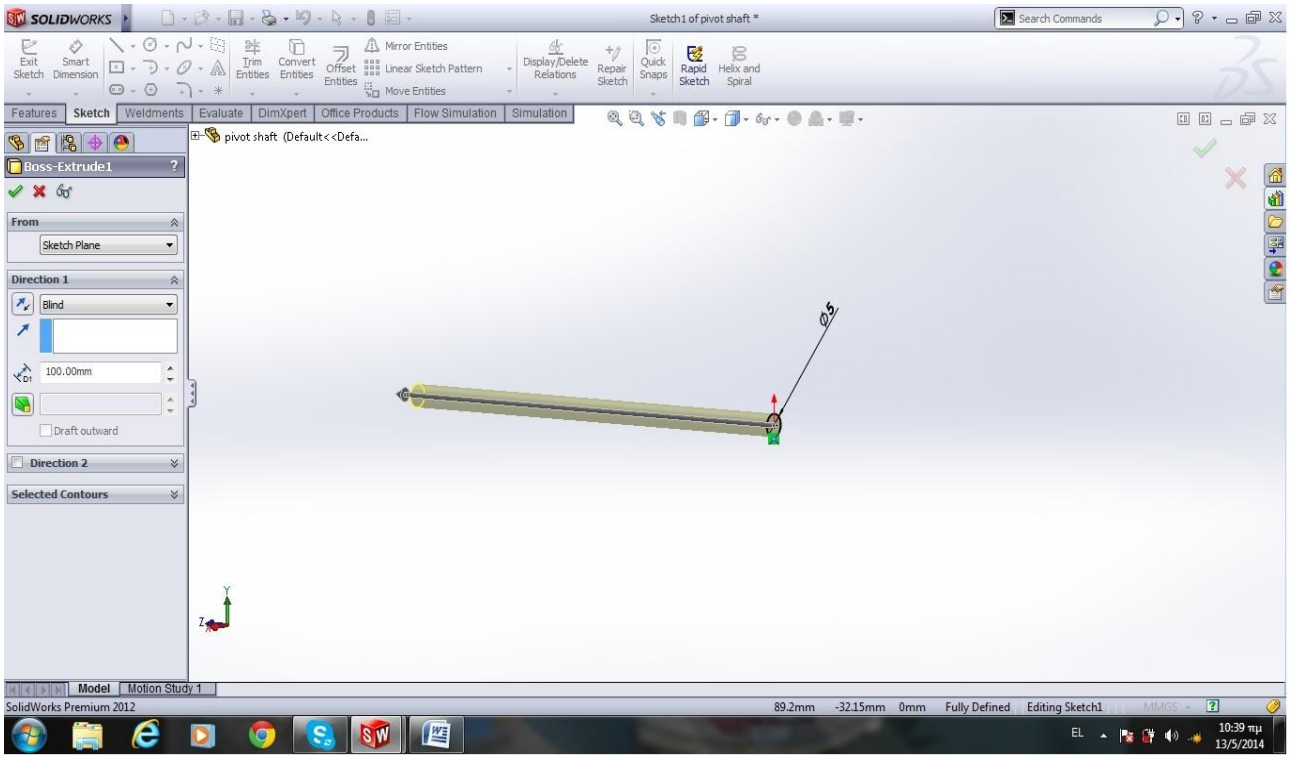

SOLIDWORKS
positioning mechanism link2 *
Search Commands
Extruded Boss/Base
Revolved Boss/Base
Swept Boss/Base
Lofted Boss/Base
Boundary Boss/Base
Extruded Cut
Hole Wizard
Revolved Cut
Swept Cut
Lofted Cut
Boundary Cut
Shell
Fillet
Linear Pattern
Rib
Draft
Shell
Wrap
Dome
Mirror
Reference Geometry
Curves
Instant3D
Features
Sketch
Weldments
Evaluate
DimXpert
Office Products
Flow Simulation
Simulation
positioning mechanism link2 (D
Sensors
Annotations
AISI 4340 Steel, annealed
Front Plane
Top Plane
Right Plane
Origin
Boss-Extrude1
Cut-Extrude1
Cut-Extrude2
Model
Motion Study 1
SolidWorks Premium 2012
Editing Part
MMGS
EL
6:28 μμ
11/5/2014

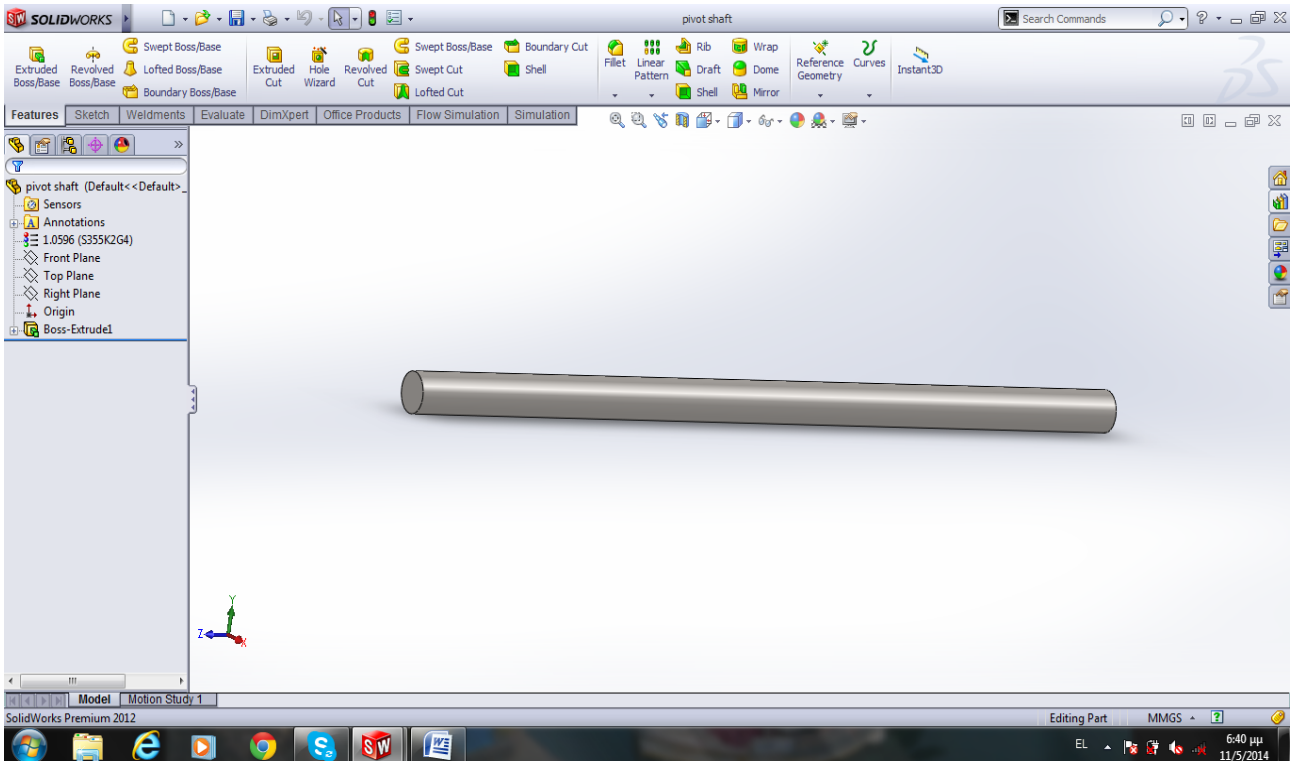


3. Pivot shaft (Άξονας περιστροφής)

<u>Σχεδιασμός:</u>

Σχεδιάζουμε έναν κύκλο διαμέτρου 5mm από την καρτέλα **Sketch** , μετά **Feature** με **Blind** 100mm για 3D και τέλος!

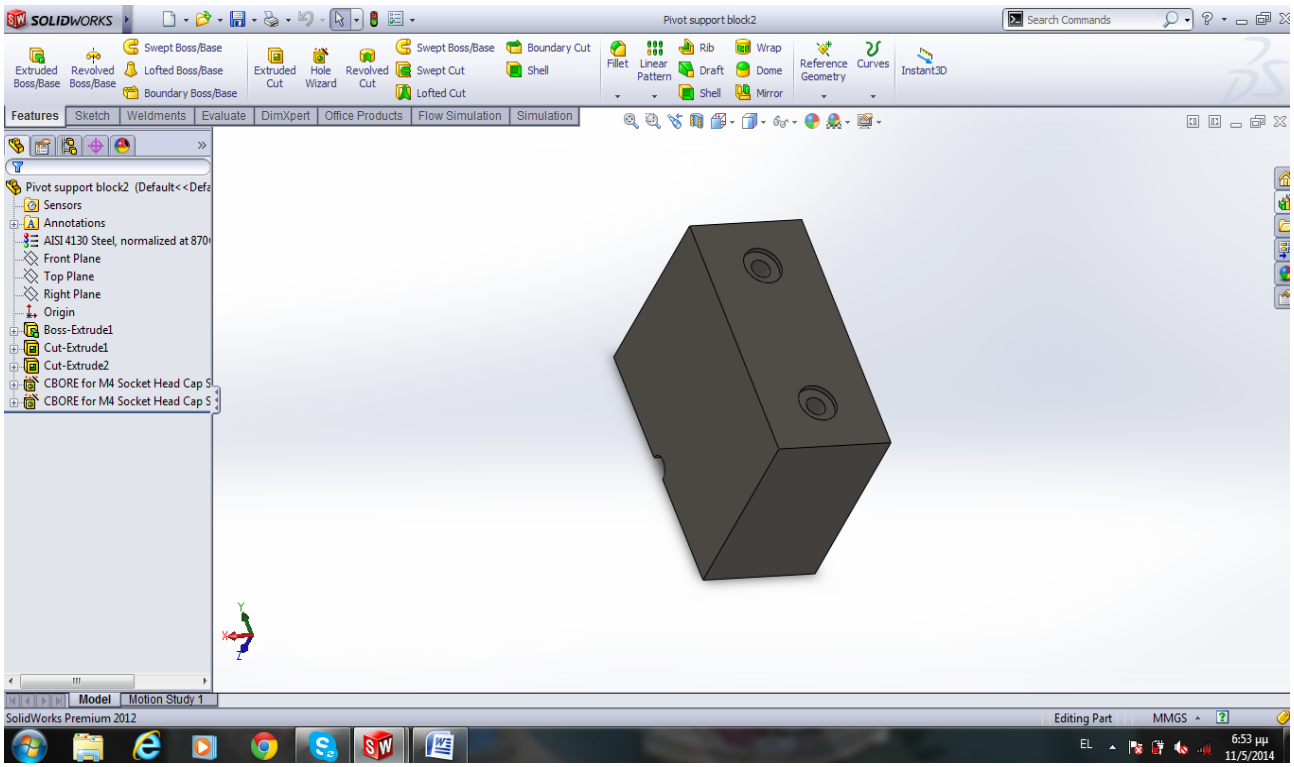




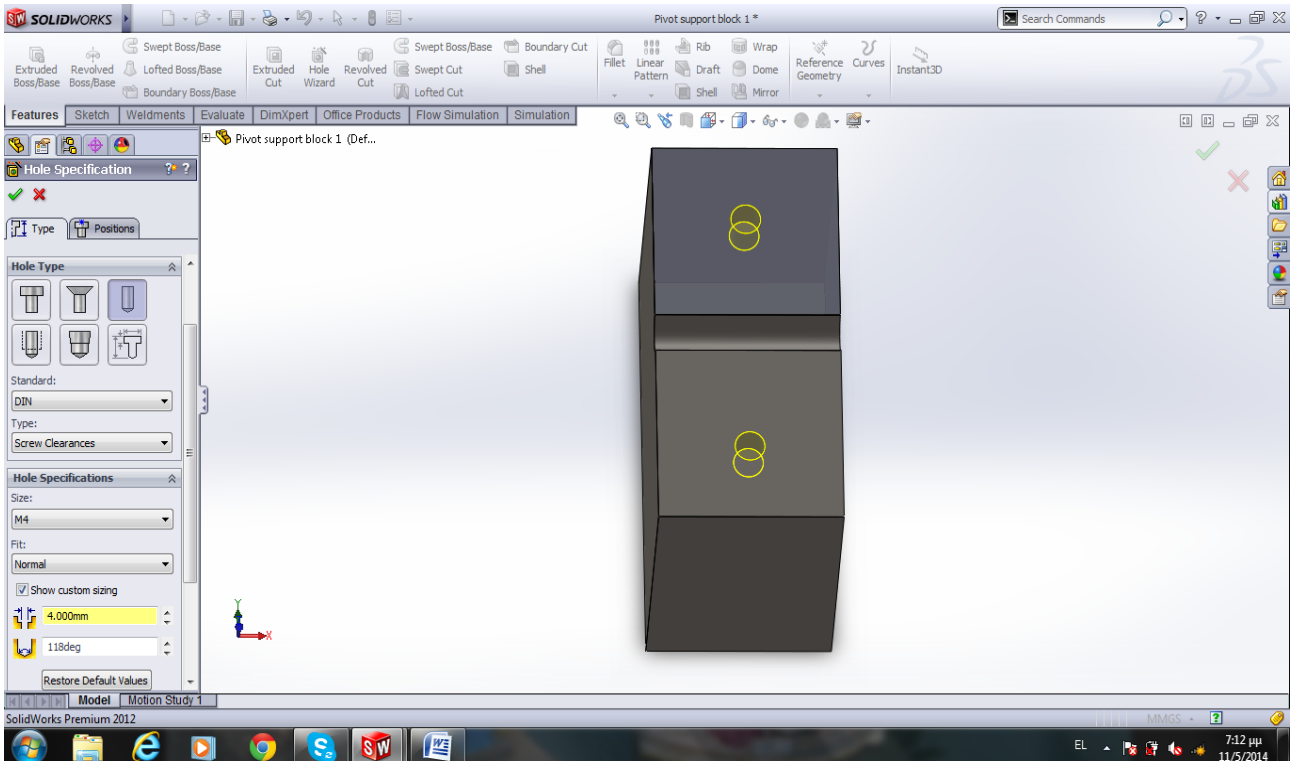
4. Pivot support blocks (Μπλοκ στήριξης άξονα)

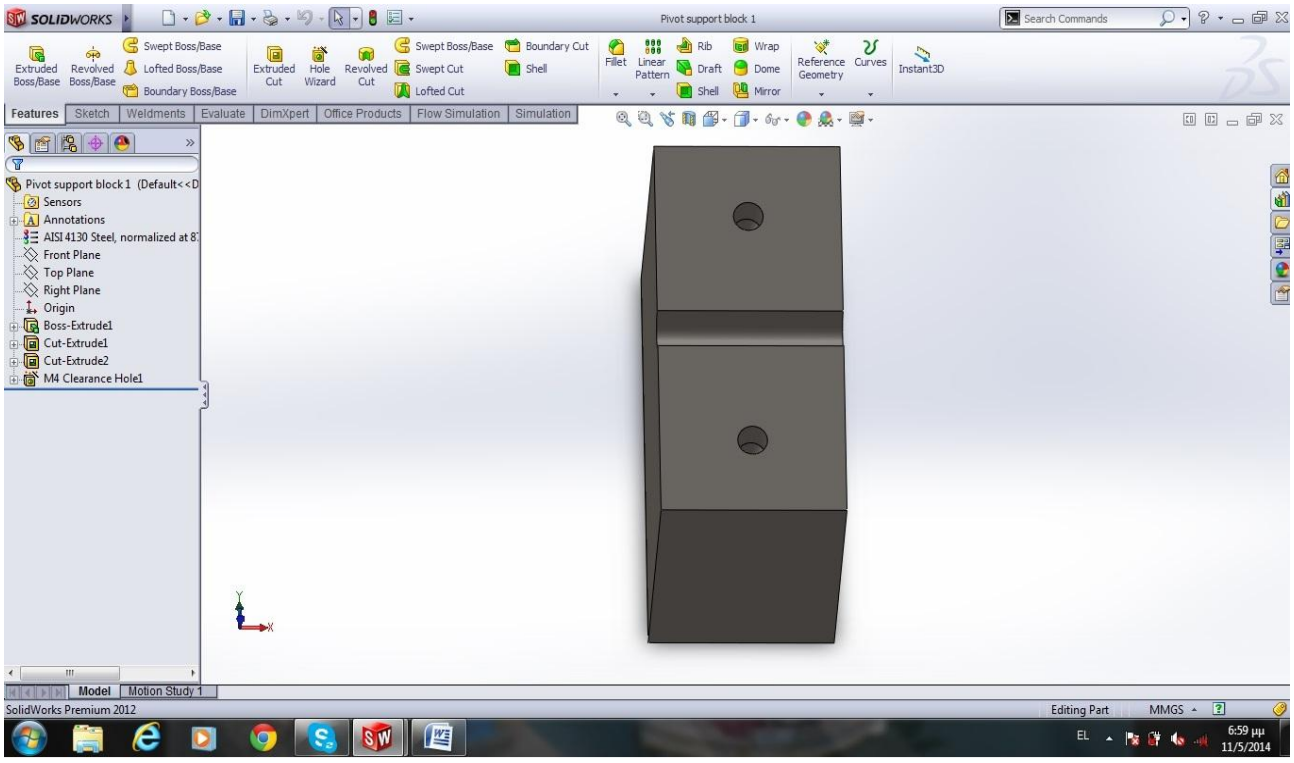
<u>Σχεδιασμός:</u> Και εδώ το έκανα σε 2 κομμάτια

1^{ο}: Έχουμε δείξει πως γίνεται. Διαστάσεις 25*52

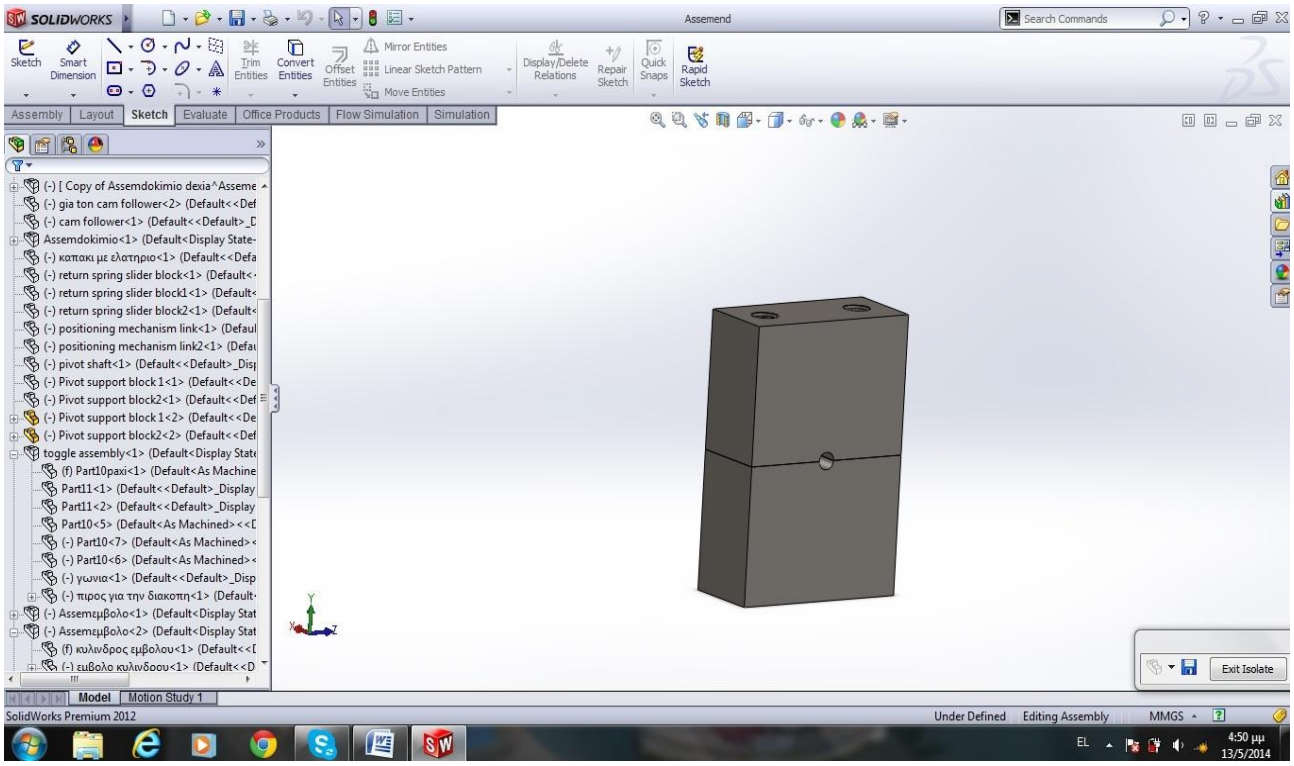


2^{ο}: Εδώ η μόνη διαφορά είναι ότι στο **Hole Wizard** αντί **Through All** που κάναμε τις τρύπες μέχρι τώρα , τωρα θα τις κάνουμε blind 5mm και με άλλο τύπο βίδας.





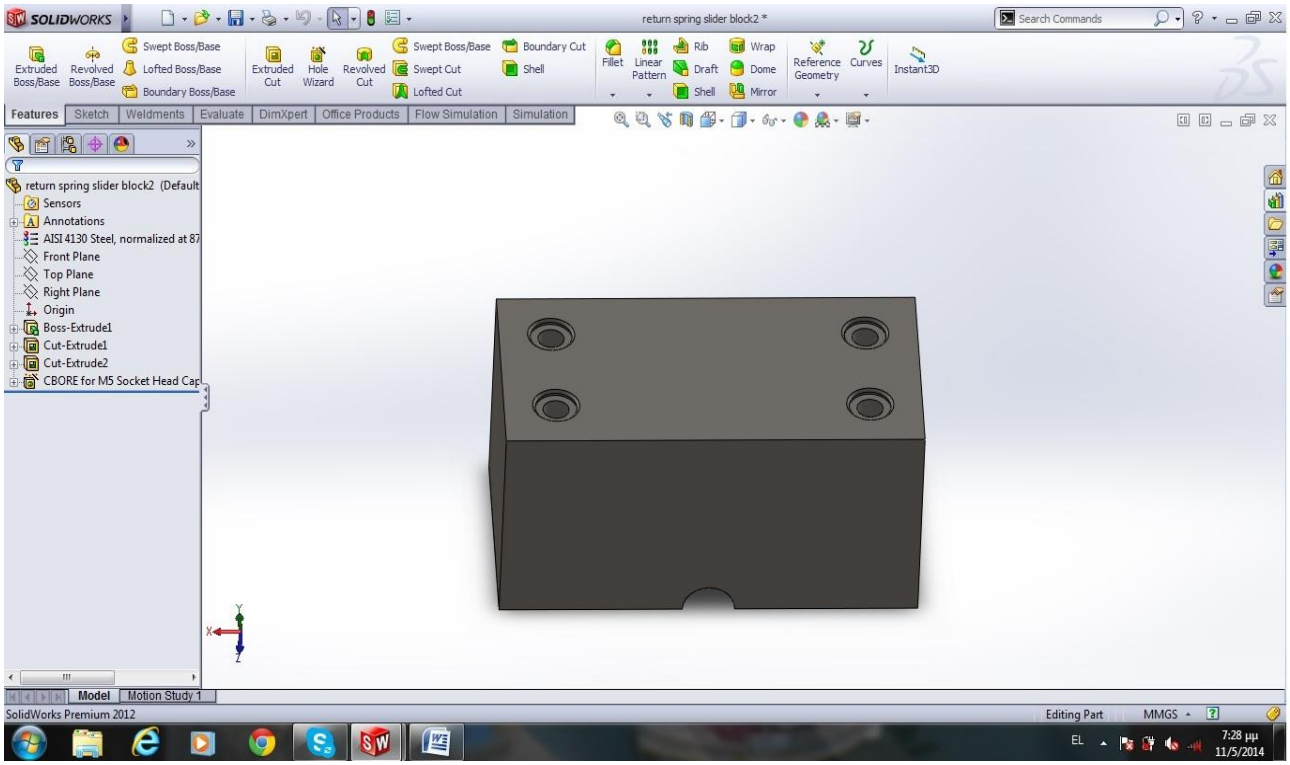
Στην επόμενη σελίδα είναι το τελικο εξάρτημα!



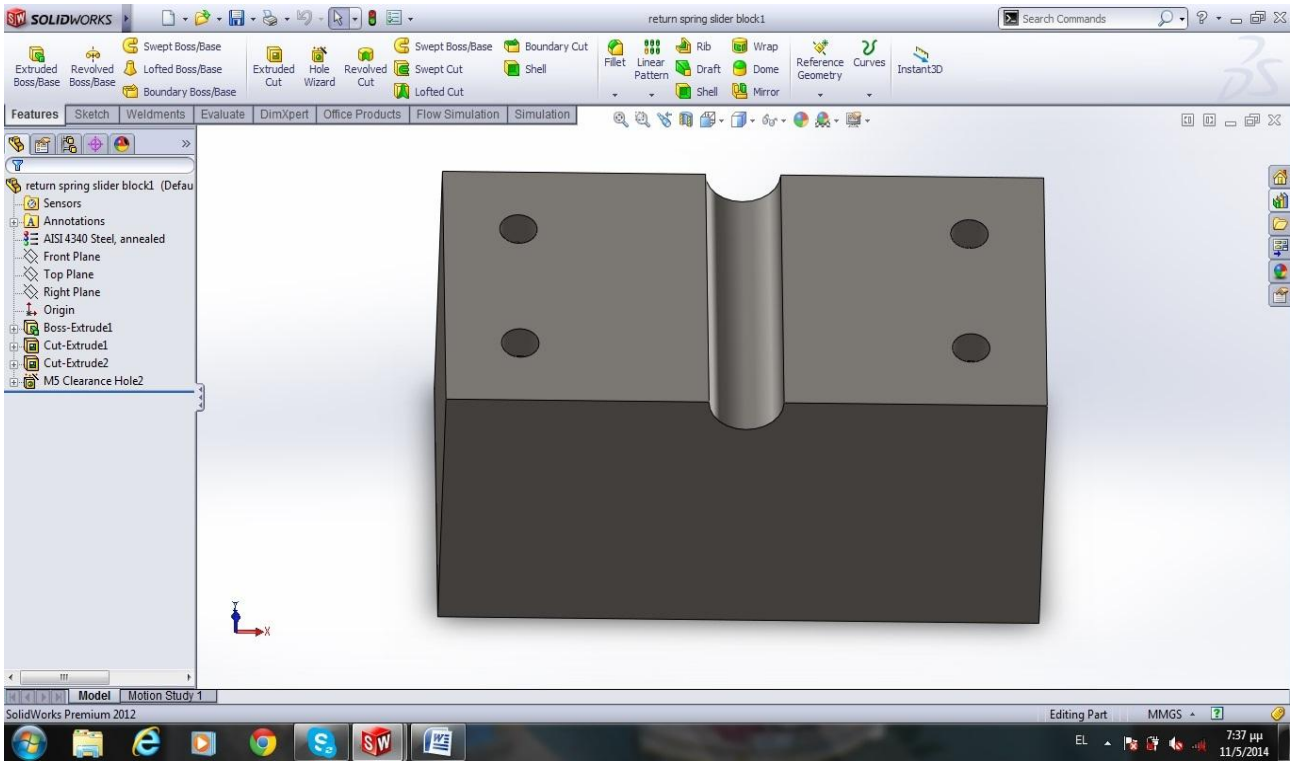
5. Return spring slider block(Μπλοκ ολίσθησης επιστρεφόμενου ελατηρίου)

Σχεδιασμός: 2 κομμάτια

1^{ο}: Παρόμοιο με το Part 4 το 1^{ο} με 4 τρύπες αυτή τη φορά. Αυτό έχει διαστάσεις 80*40.



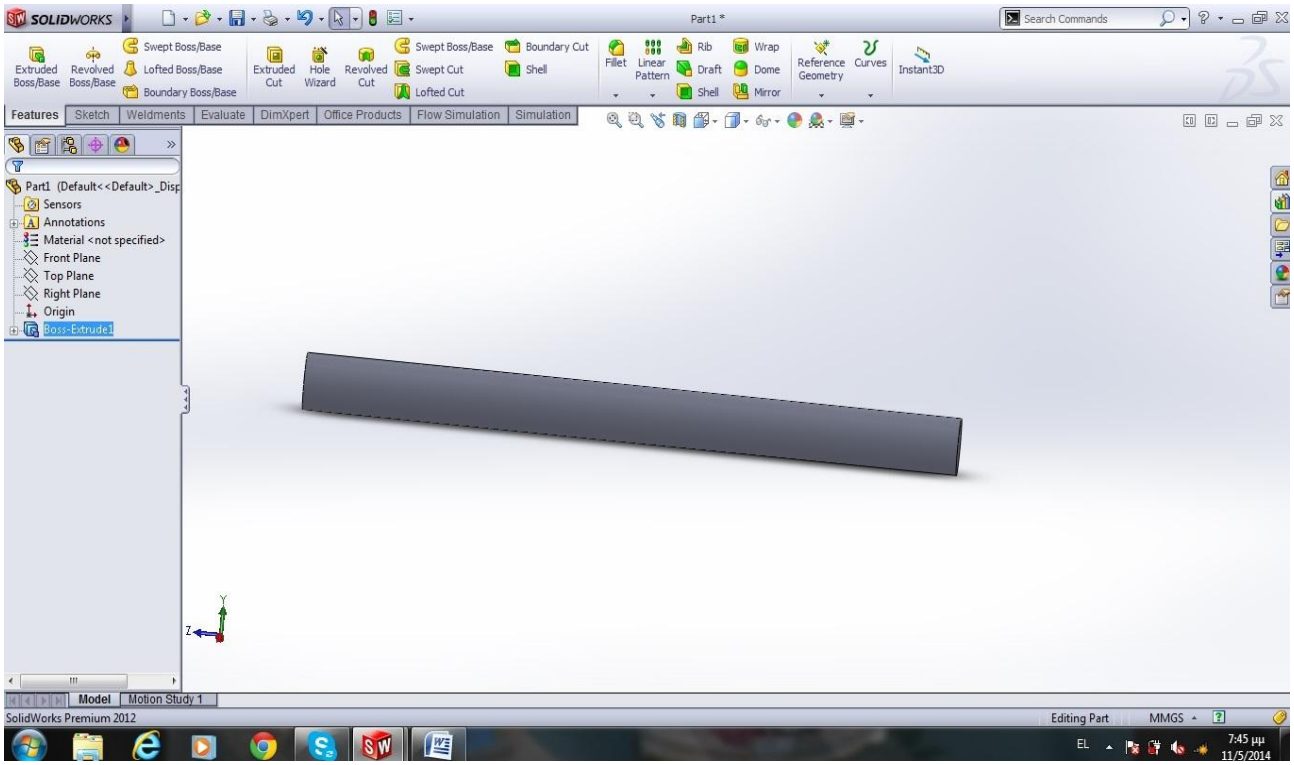
2^{ο}: Παρόμοιο με το Part 4 το 2^{ο}



6. Return spring tensioner and slider (τεντωτήρας και ολισθητήρας ελατήριου επιστροφής)

<u>Σχεδιασμός:</u>

Σχεδιάζω κύκλο 10mm διαμέτρου και μήκους 120mm.

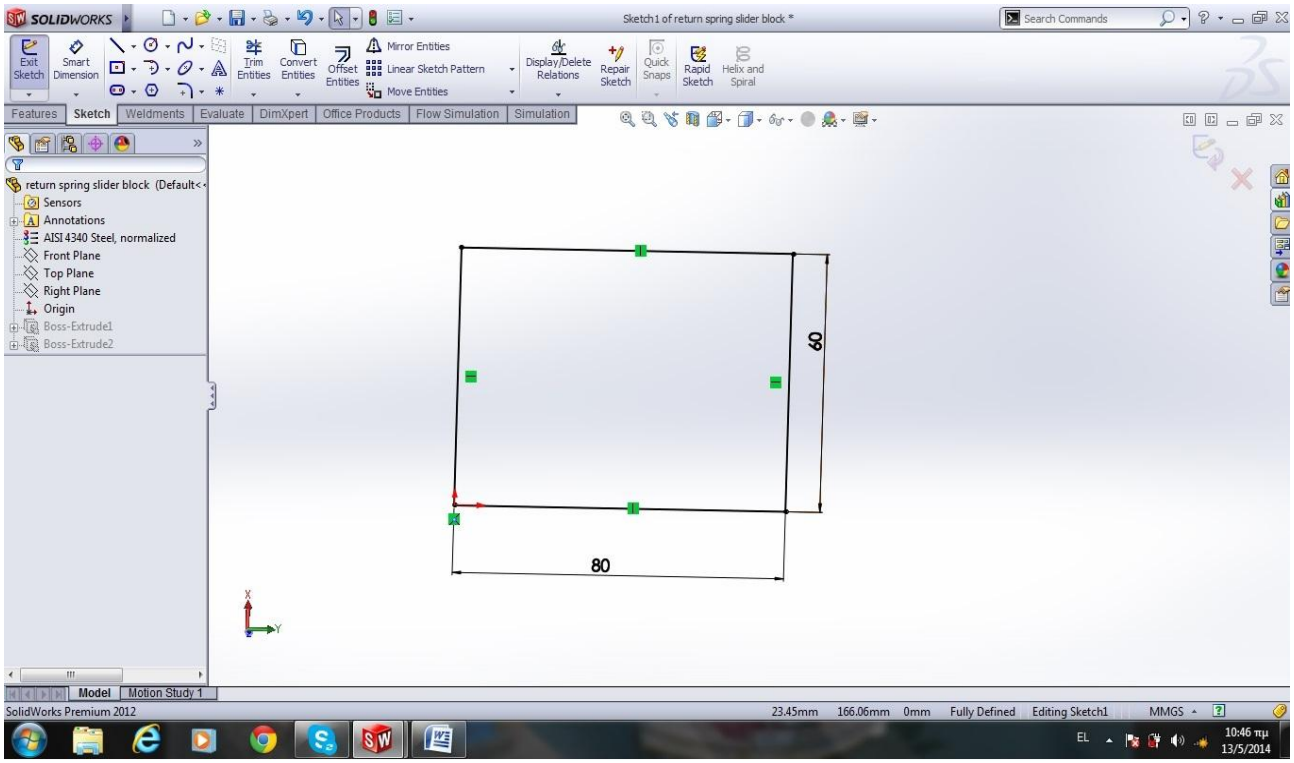


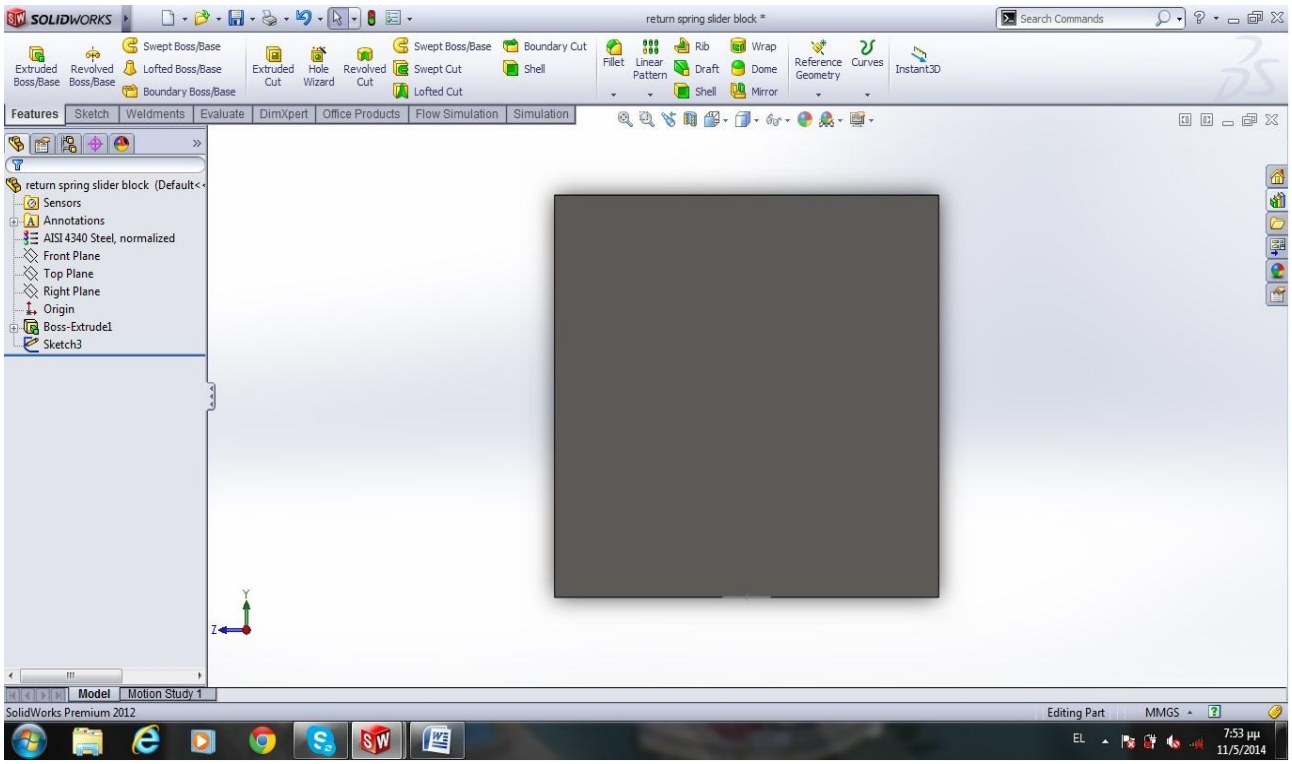
7. Return spring locator (Επιστρεφόμενο ελατήριο εντοπισμού)

Σχεδιασμός:

Φτιάχνω ένα παραλληλόγραμμο 60*80

Sketch→ Center Rectangle …Feature →3D



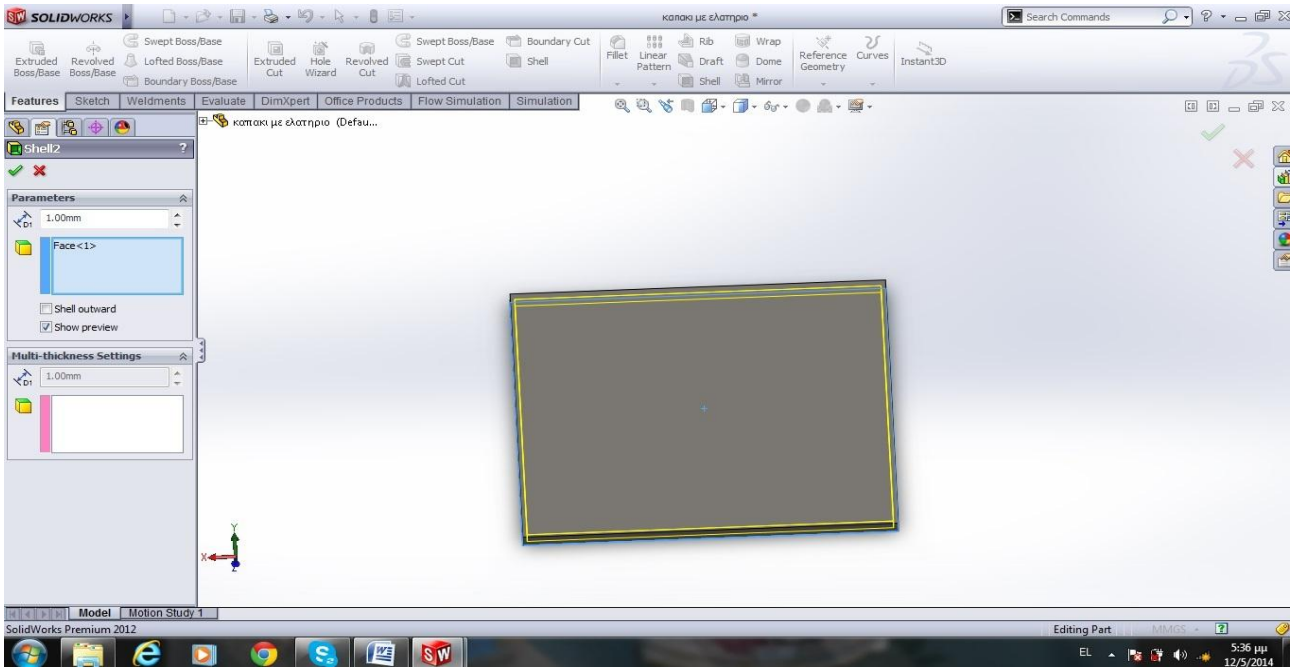


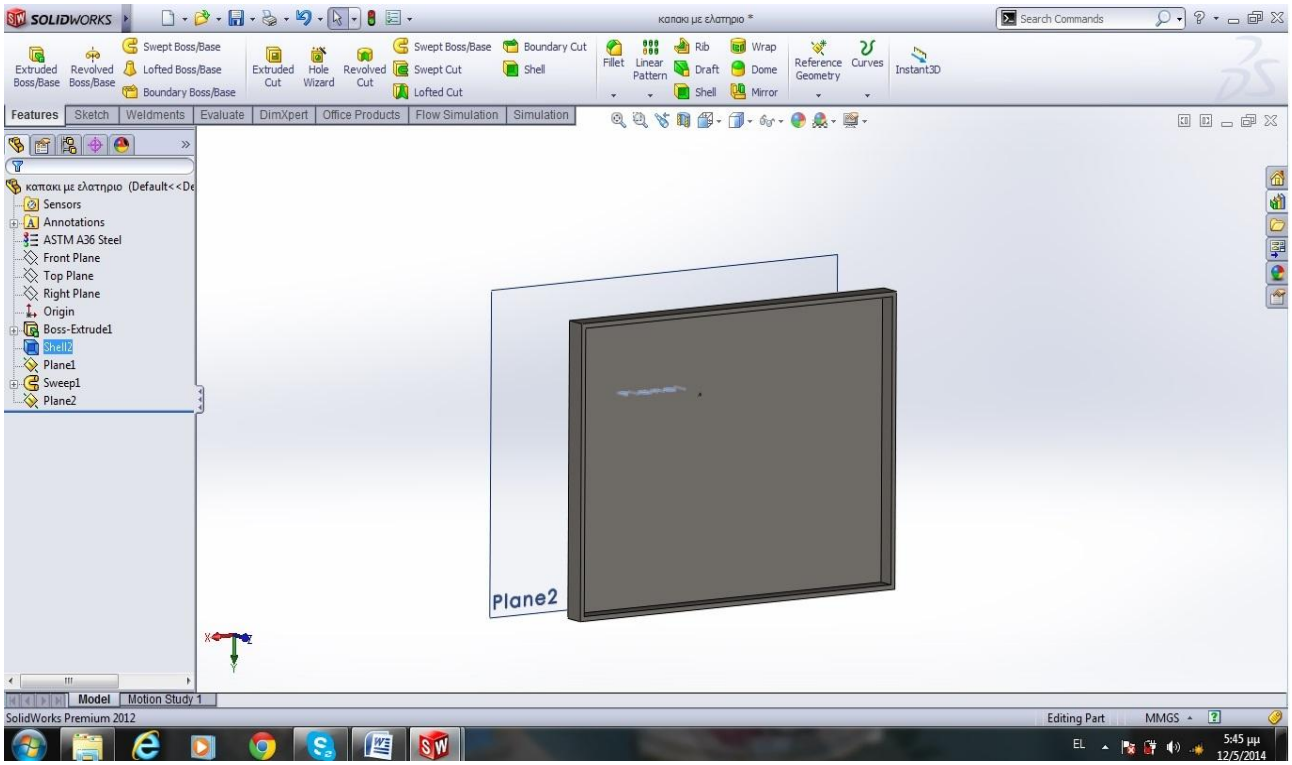
8. Return spring (Επιστρεφόμενο ελατήριο)

Σχεδιασμός:

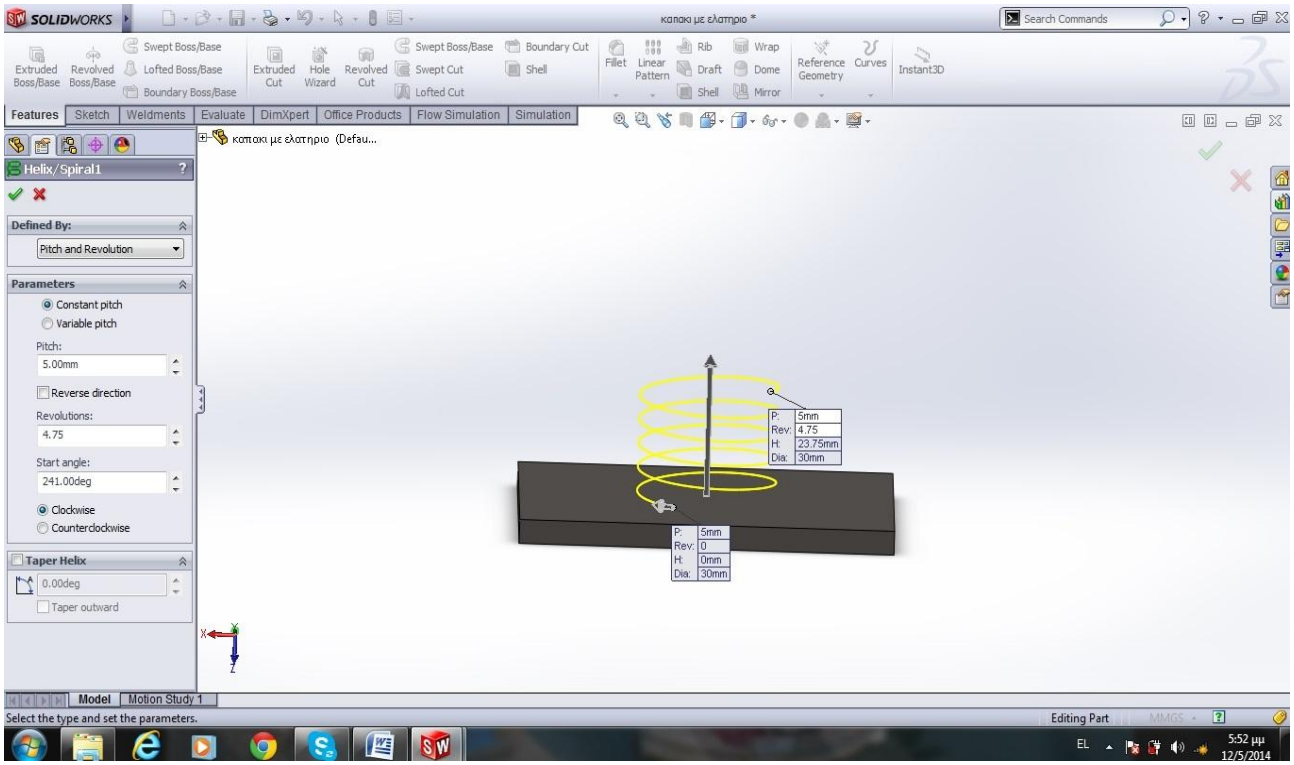
Το ελατήριο το έκανα κατευθείαν πάνω στο καπάκι του part 9

Σχεδιάζω ένα παραλληλόγραμμο 62*82, πηγαίνω στην καρτέλα **Sketch** παω στο σχήμα με το παραλληλόγραμμο και το σχεδιάζω στο **Front plane.** Πάμε στην καρτέλα **Features→ Extruded Boss/Base** και δίνω πάχος 5mm. Στη συνέχεια πάω στην εντολή **Shell** στην ίδια καρτέλα για να κάνω μια εσοχή στην κάτω επιφάνεια ,έτσι ώστε να γίνει καπάκι όπως φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες.

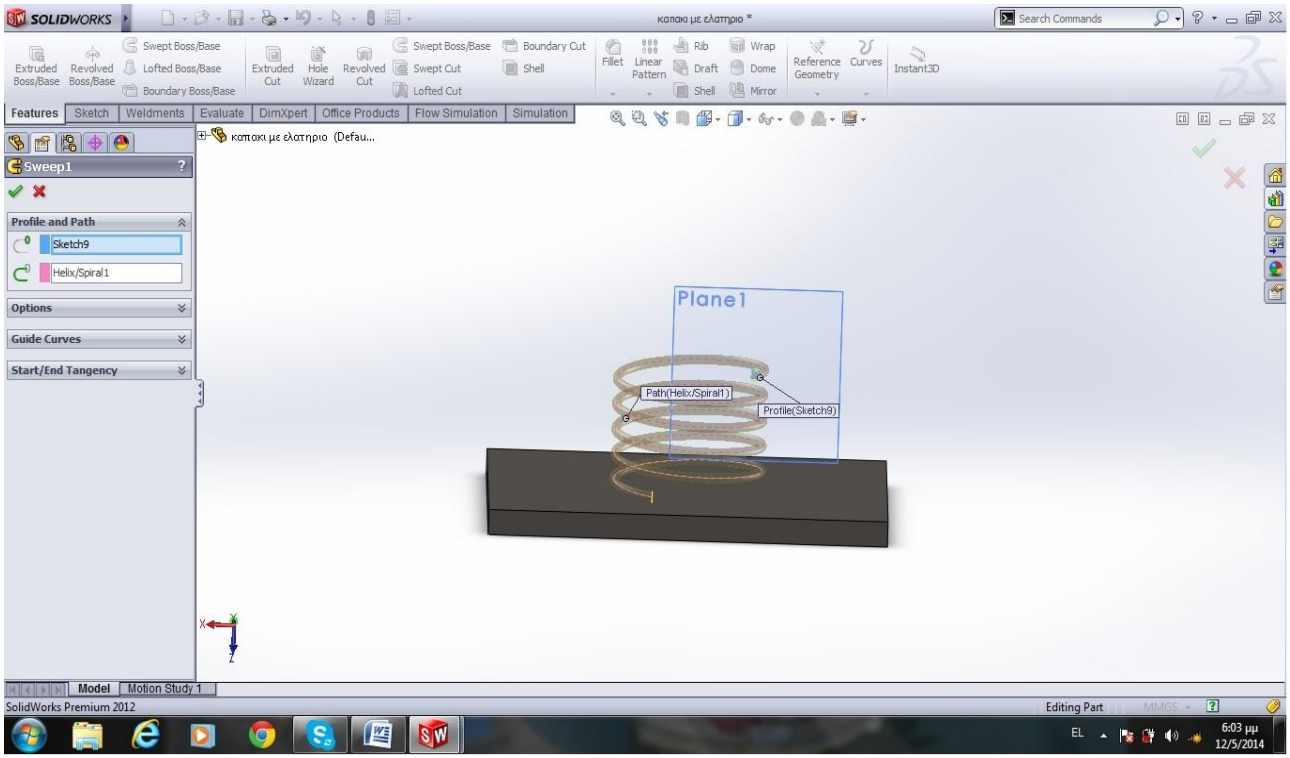




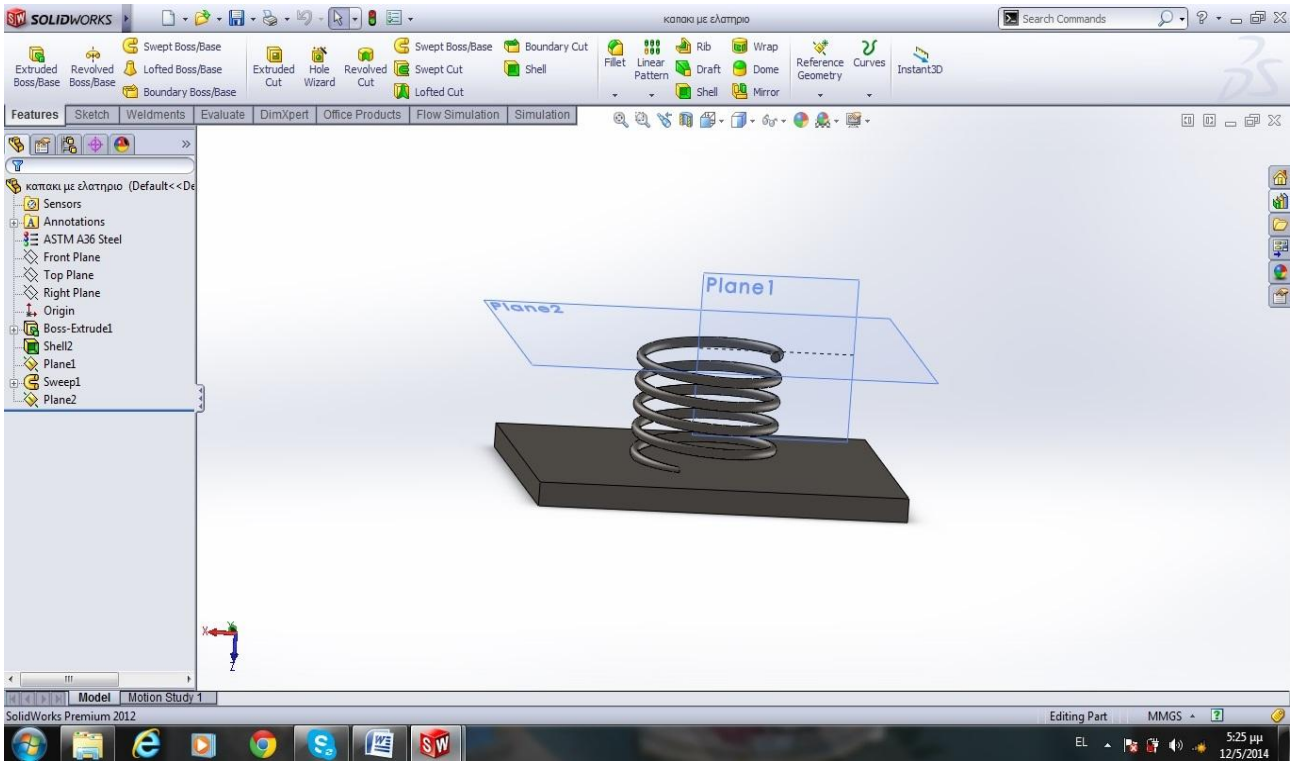
Για να φτιάξω το ελατήριο σχεδιάζω στην επιφάνεια ένα κύκλο 30mm , πηγαίνω στην εντολή **Helix and Spiral** και φτιάχνω το ελατήριο δίνοντας διαφορα στοιχεία που φαίνονται στην εικόνα.



Οκ και συνεχίζω φτιάχνωντας ένα plane από το Reference geometry → Plane κάθετα από την ακμή του ελατηρίου. Πάνω του σχεδιάζω έναν κύκλο με κέντρο την ακμη του ελατηρίου. Αυτό θα τον χρειαστώ για να δώσω έναν όγκο στο ελατήριο από την εντολή **Swept Boss/Base**.



Και το τελικό κομμάτι!!!

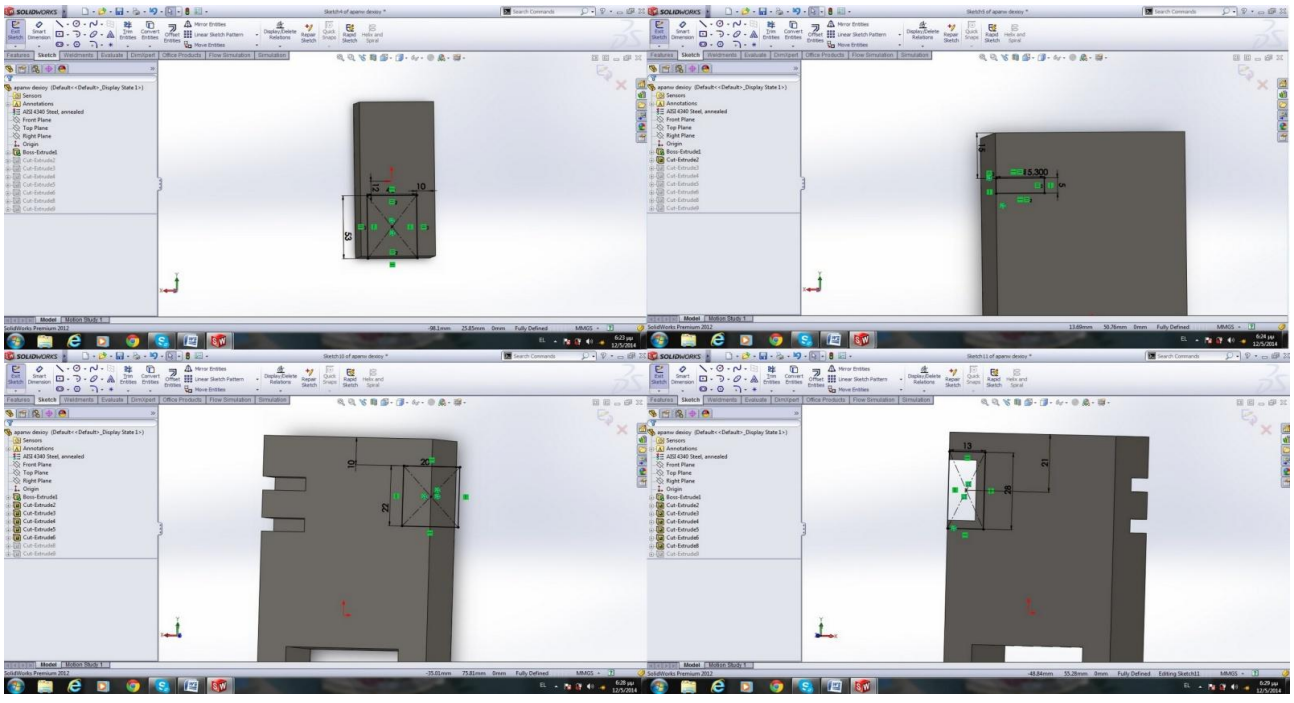


9. Oscillating chuck (Τσοκ ταλάντωσης)

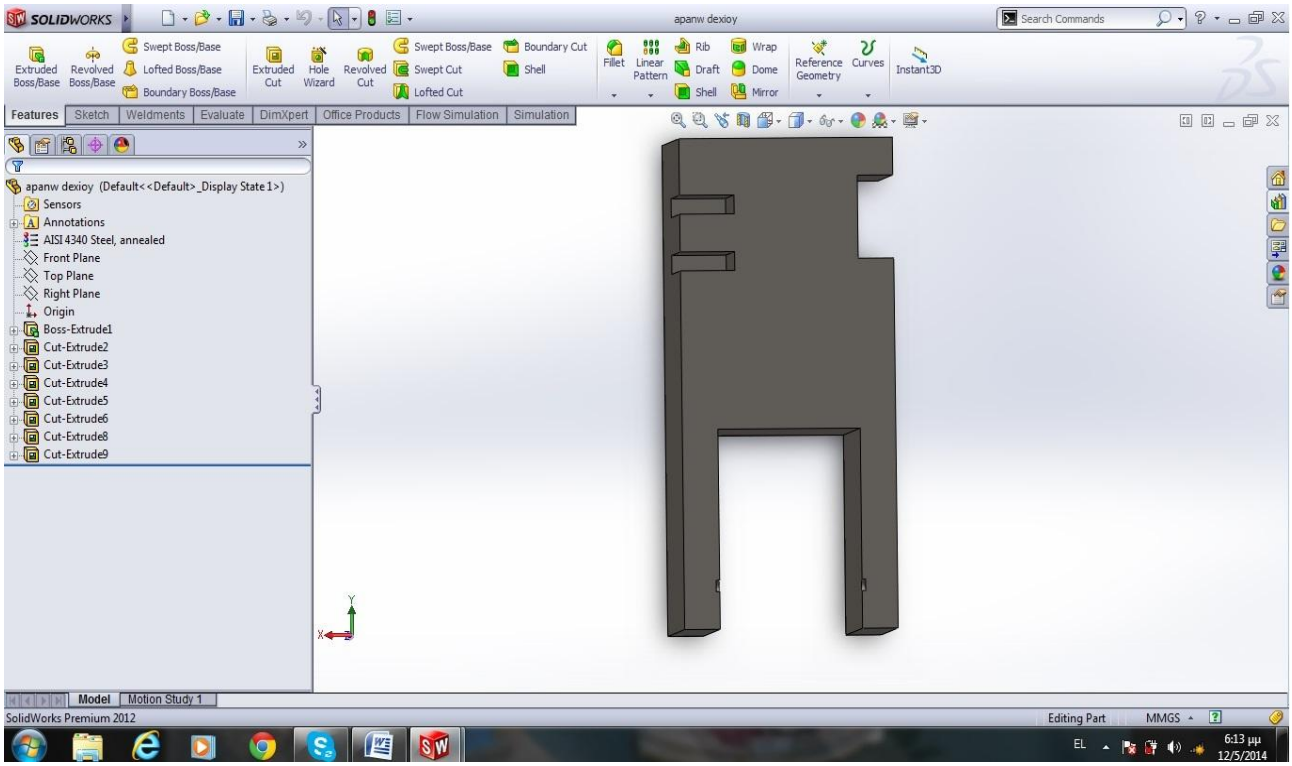
Σχεδιασμός:

Και αυτό είναι σε 2 κομμάτια

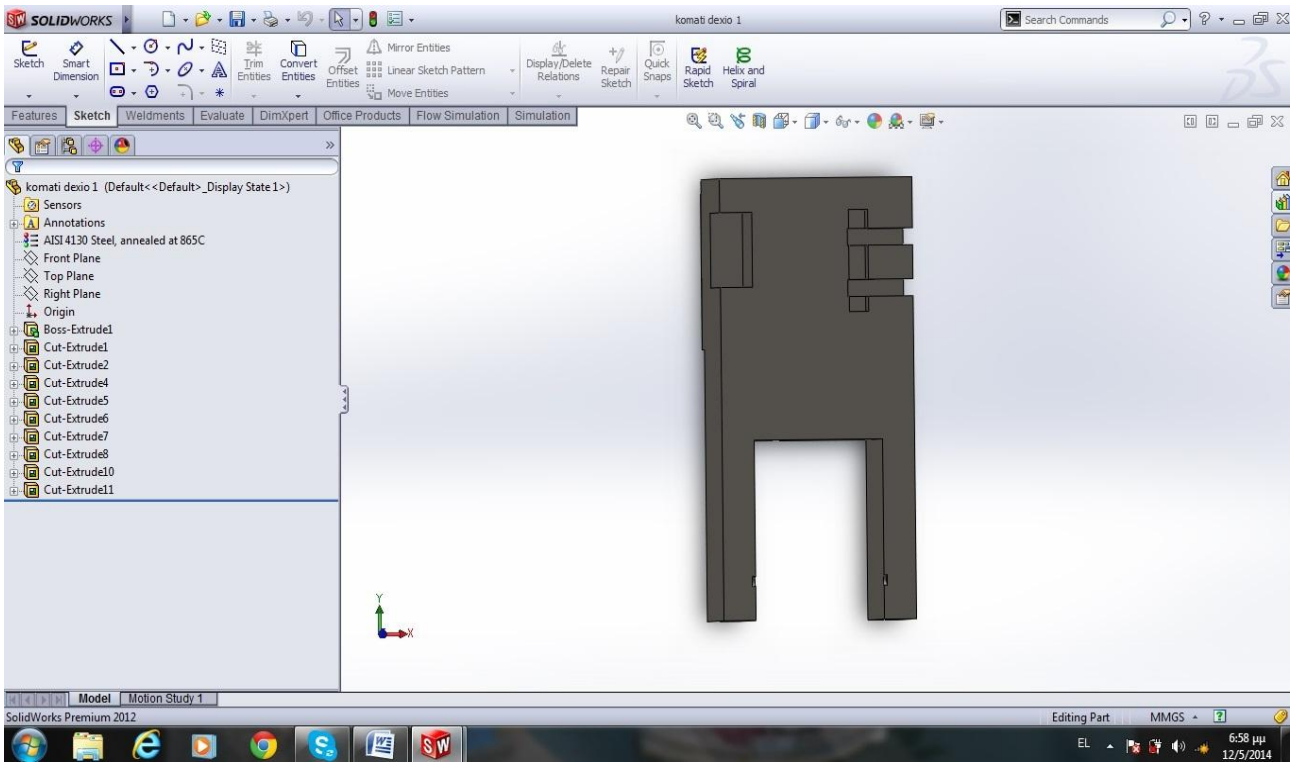
1^{ο}: Αυτό είναι το πάνω κομμάτι το οποίο σχεδιάστηκε πάλι από ένα παραλληλόγραμμο διαστάσεων 60*130 . Όλα τα κενά (κοψίματα) έγιναν με το **Extruded cut** όπως φαίνεται παρακάτω.



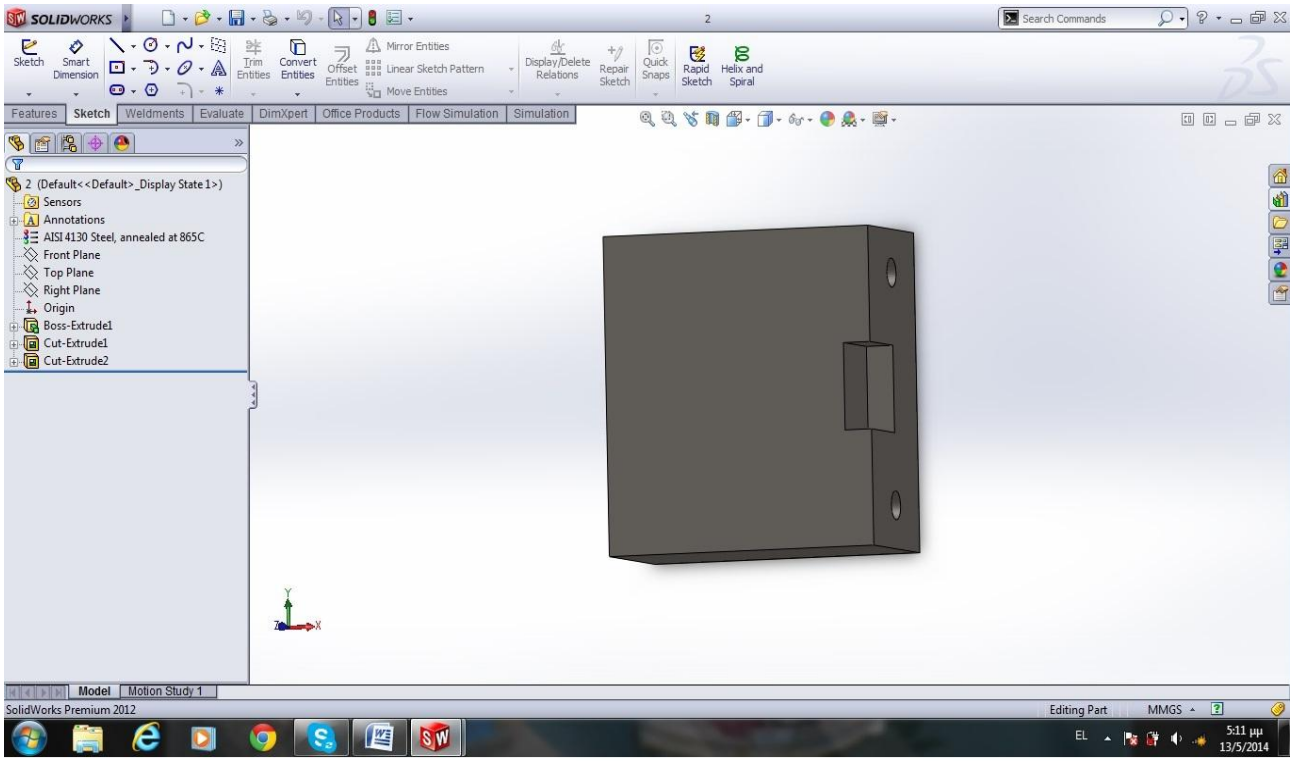
Και το πρώτο είναι αυτό…



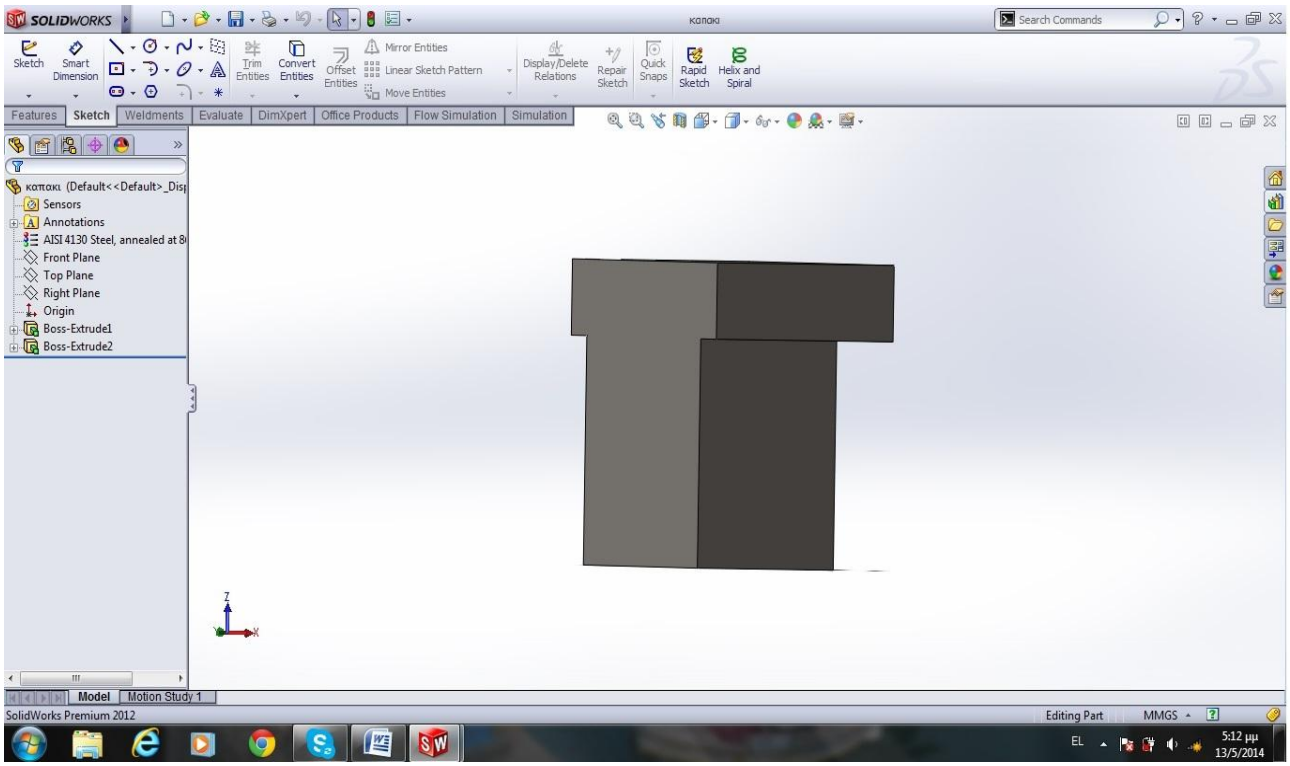
2^{ο}: Είναι σχεδιασμένο όπως και το άλλο



Άλλα κομάτια του Part:

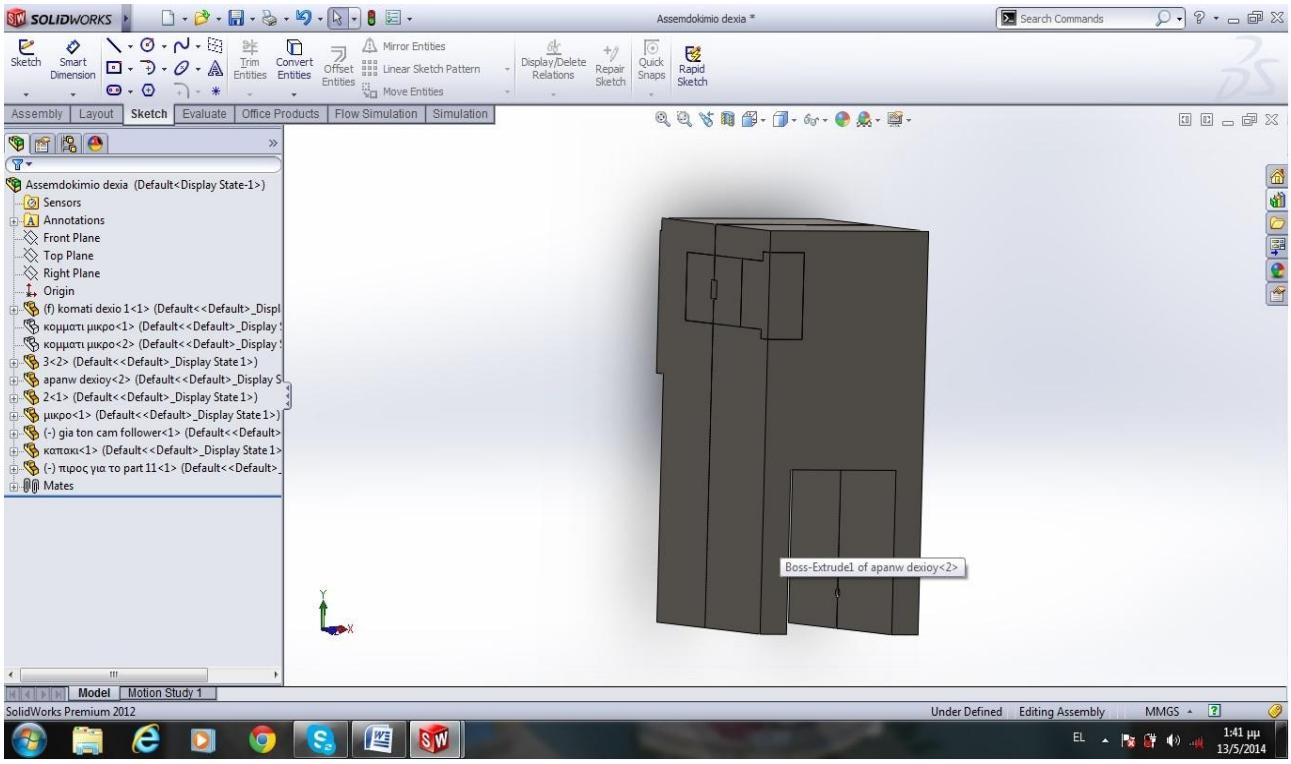


Αυτό το κομμάτι μας βοηθάει στη συγκράτηση του δοκιμίου μας.



Καπάκι για την συγκράτηση.

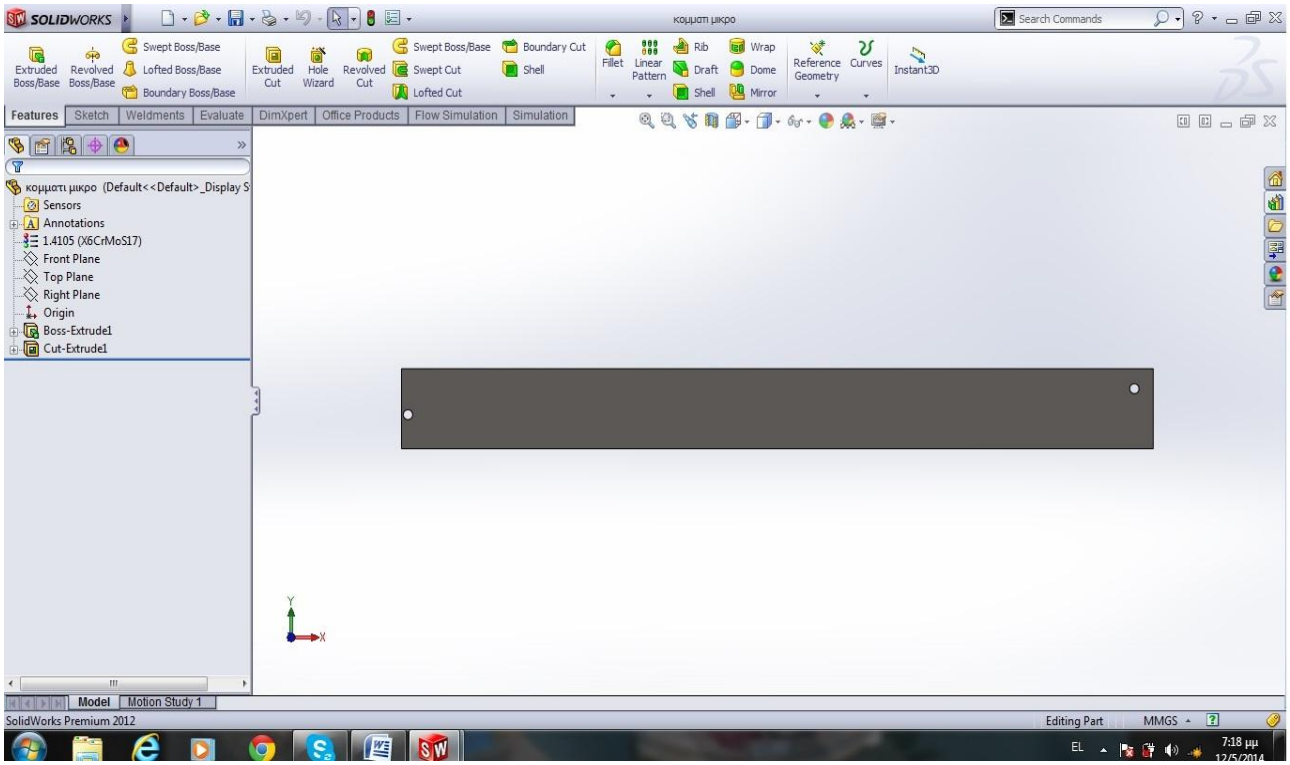
Και το συνολικό εξάρτημα:



10. Oscillating chuck parallel beams (Παράλληλοι δοκοί του τσοκ ταλάντωσης)

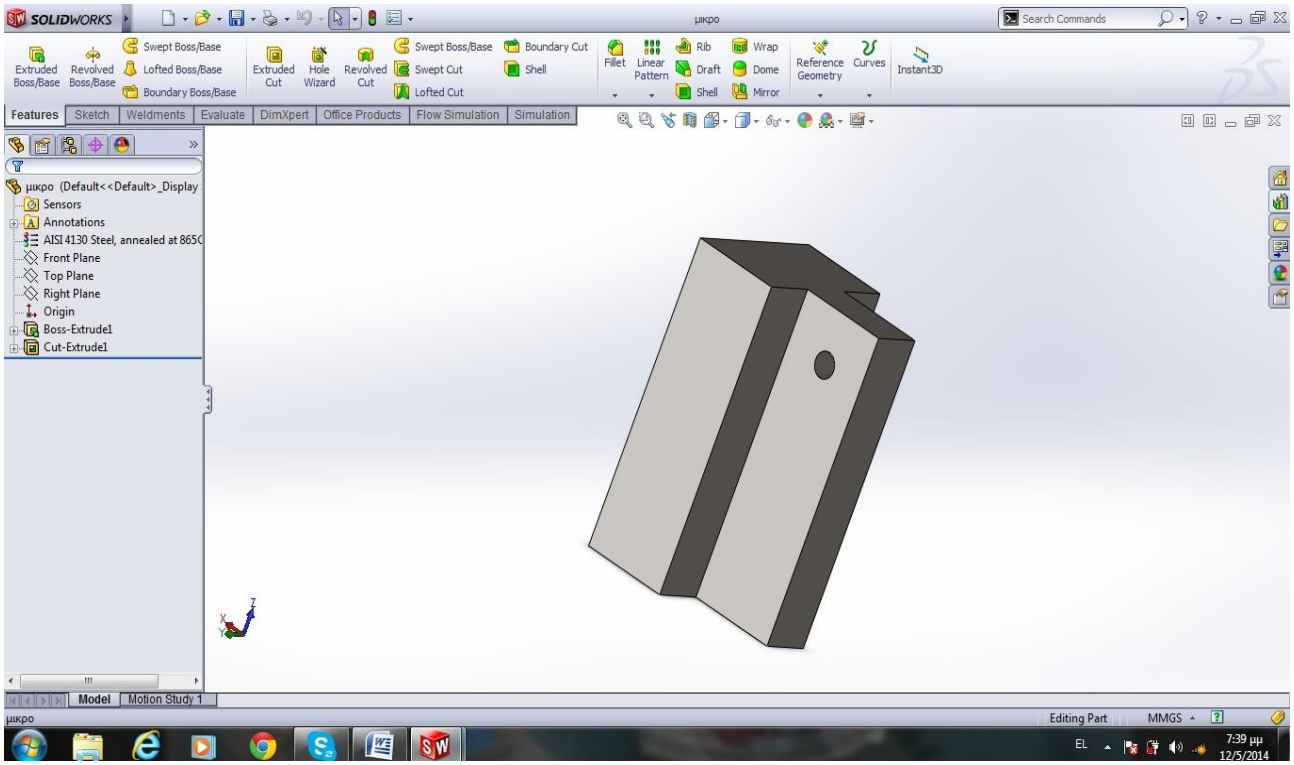
<u>Σχεδιασμός:</u>

Είναι 2 ίδιοι δοκοί.



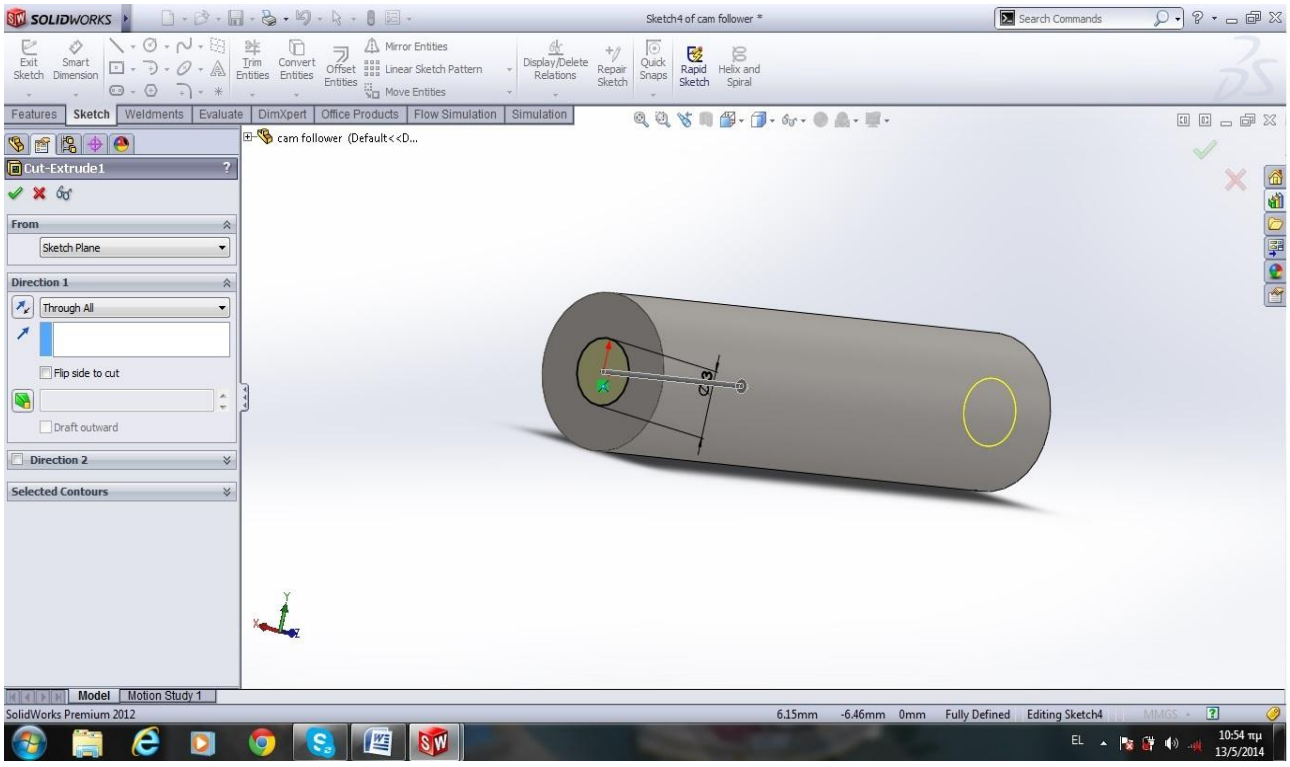
11. Oscillating chuck support block (Μπλοκ στήριξης του τσοκ ταλάντωσης)

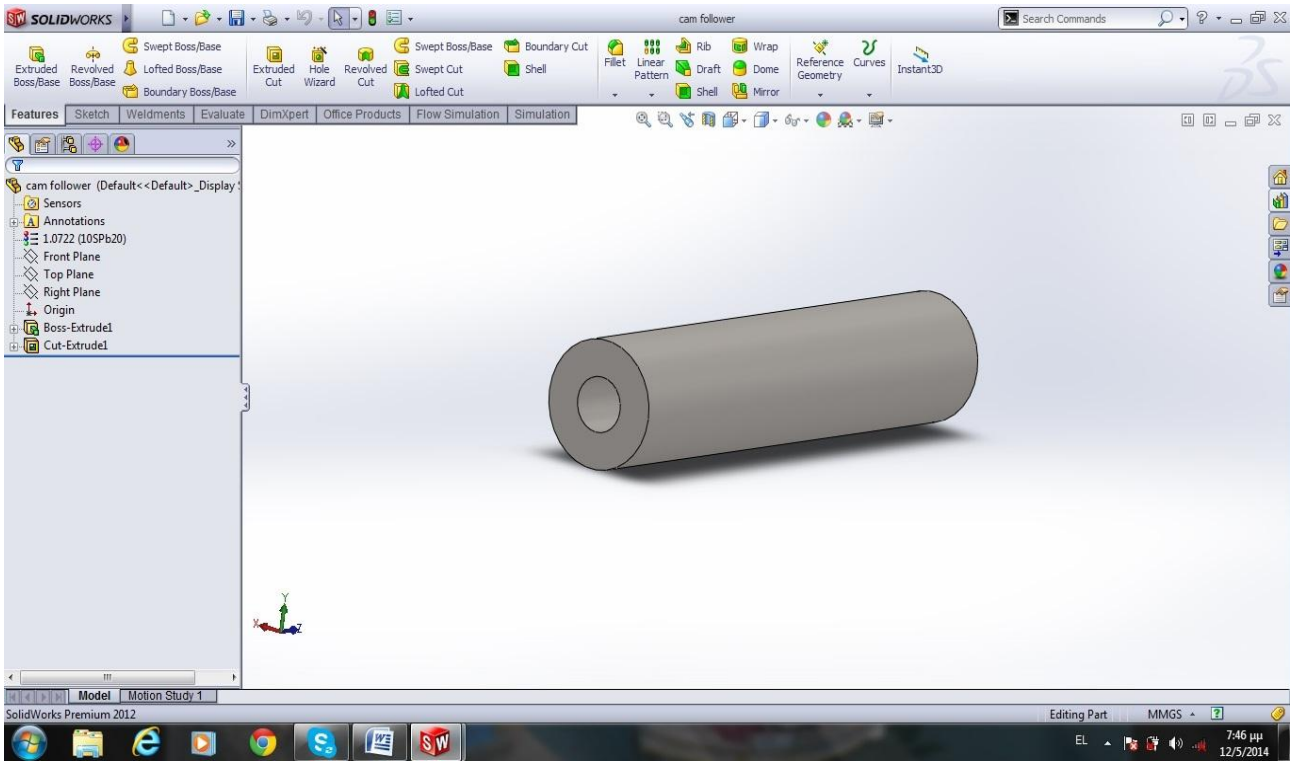
Σχεδιασμός: Είναι παρόμοιο με το Part 1



12. Cam follower (Ακόλουθο έκκεντρο)

Το sketch (σχέδιο) ξέρουμε να το κάνουμε ,οπότε σχεδιάζω έναν κύκλο 7mm , τον κάνω τρισδιάστατο και μετά από μπροστά κόβω με έναν μικρότερο κύκλο.

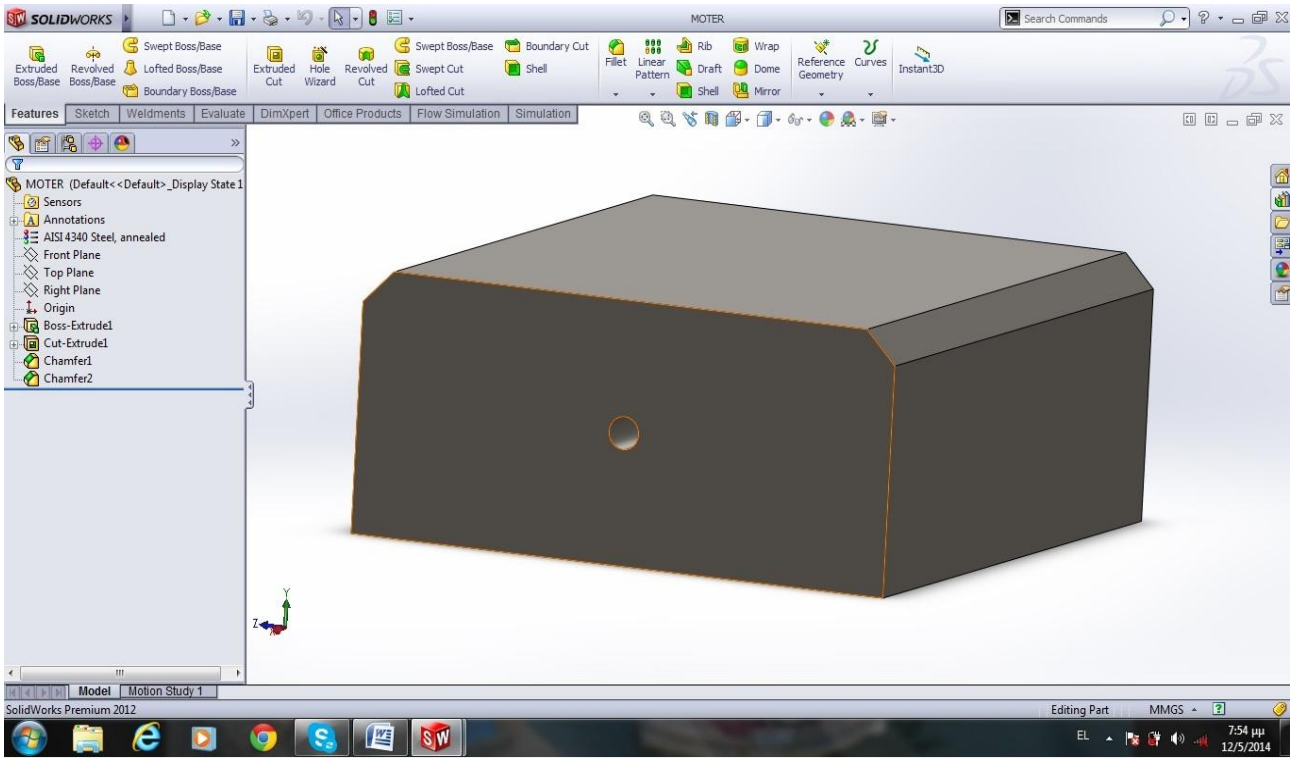




13. Motor (μοτέρ)

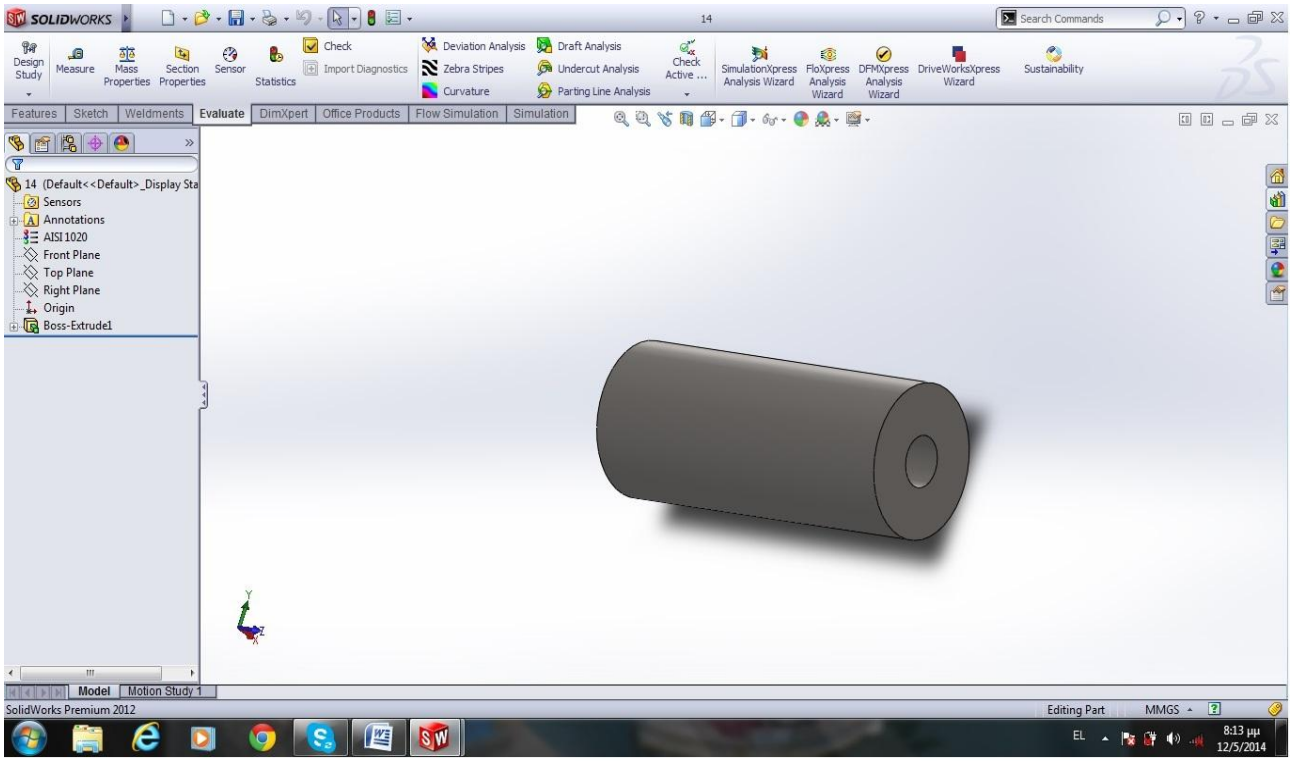
<u>Σχεδιασμός:</u>

Φτιάχνω ως συνήθως ένα παραλληλόγραμμο 80*200 του δίνω ύψος 170mm , σχεδιάζω από μπροστά ένα κύκλο και τον κόβω μέχρι την άλλη πλευρά. Επίσης έκανα και ένα κόψιμο στις 2 μεριές με την εντολή **Chamfer** 10mm.



14. Shaft coupling (Σύζευξη άξονα)

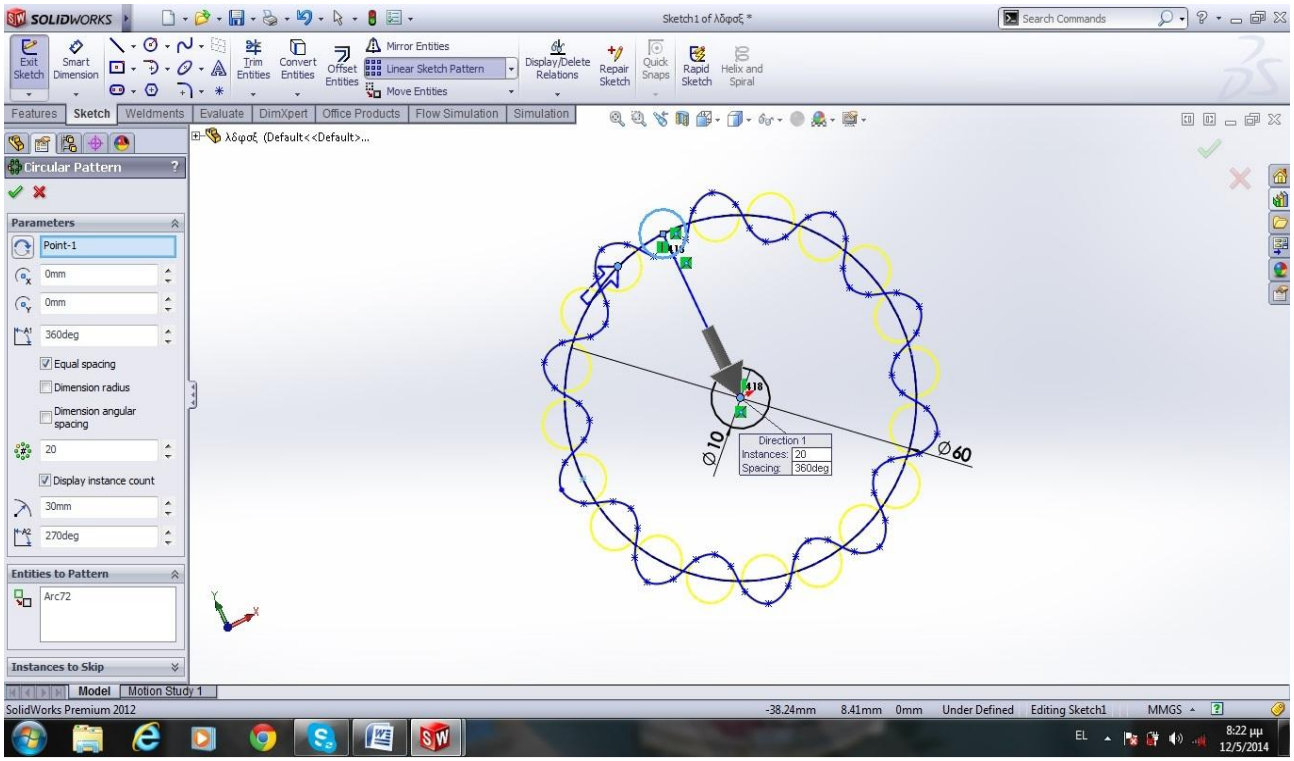
Είναι όμοιο με το Part 12

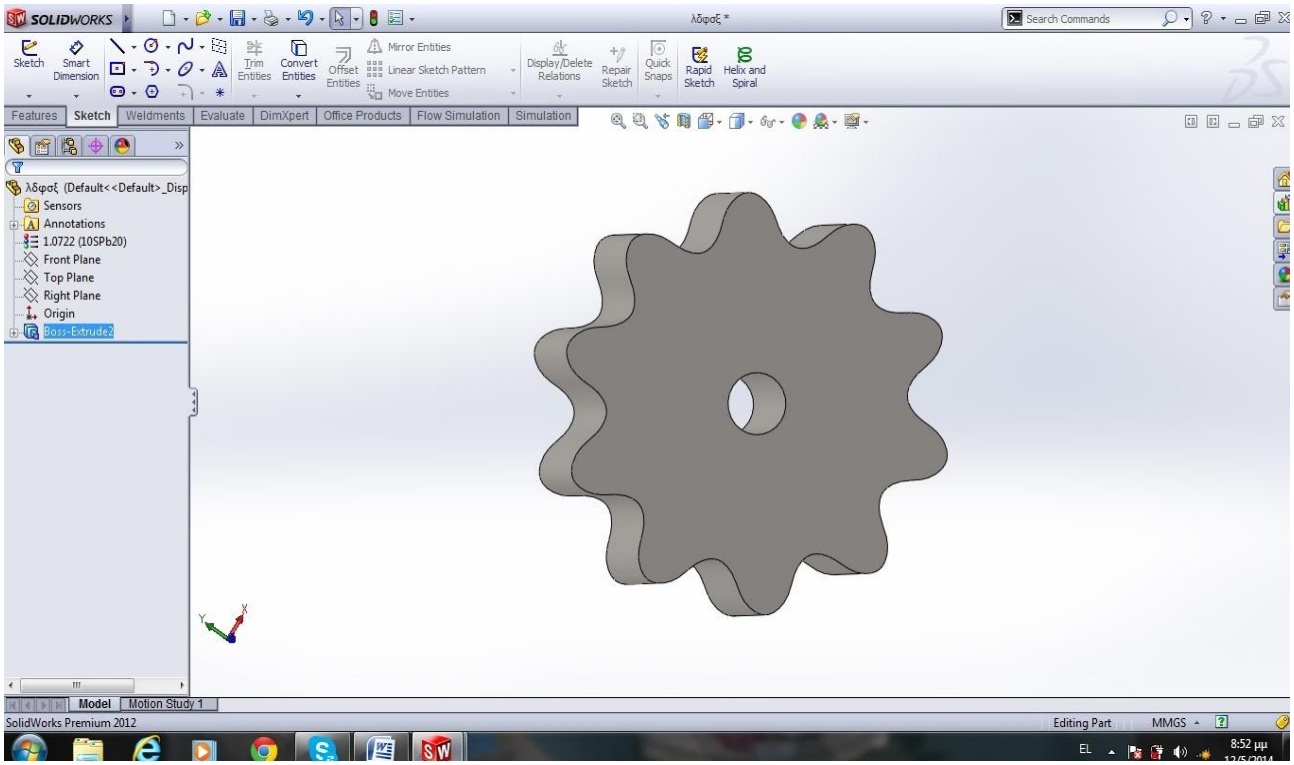


16. Lobed cam (Λοβωτό έκκεντρο)

<u>Σχεδιασμός:</u>

Αρχικά σχεδιάζουμε έναν κύκλο 60mm ,πάνω στη περιφέρεια του σχεδιάζω επίσης ένα κύκλο 8mm με κέντρο τον μεγάλο κύκλο και με τη βοήθεια της εντολής **Circular sketch pattern** (όπως βλέπουμε από κάτω) δίνουμε κάποια στοιχεία και μας σχεδιάζει κυκλικά όσους κύκλους θέλουμε .Επίσης σχεδίασα ένα κύκλο 10mm με κέντρο την αρχή των αξόνων. Με την εντολή **Spline** τελικώς ενώνοντας τους κύκλους από κάποια σημεία σχεδίασα το σχήμα μου. Δίνουμε όγκο 30mm (Feature) και τελειώσαμε !

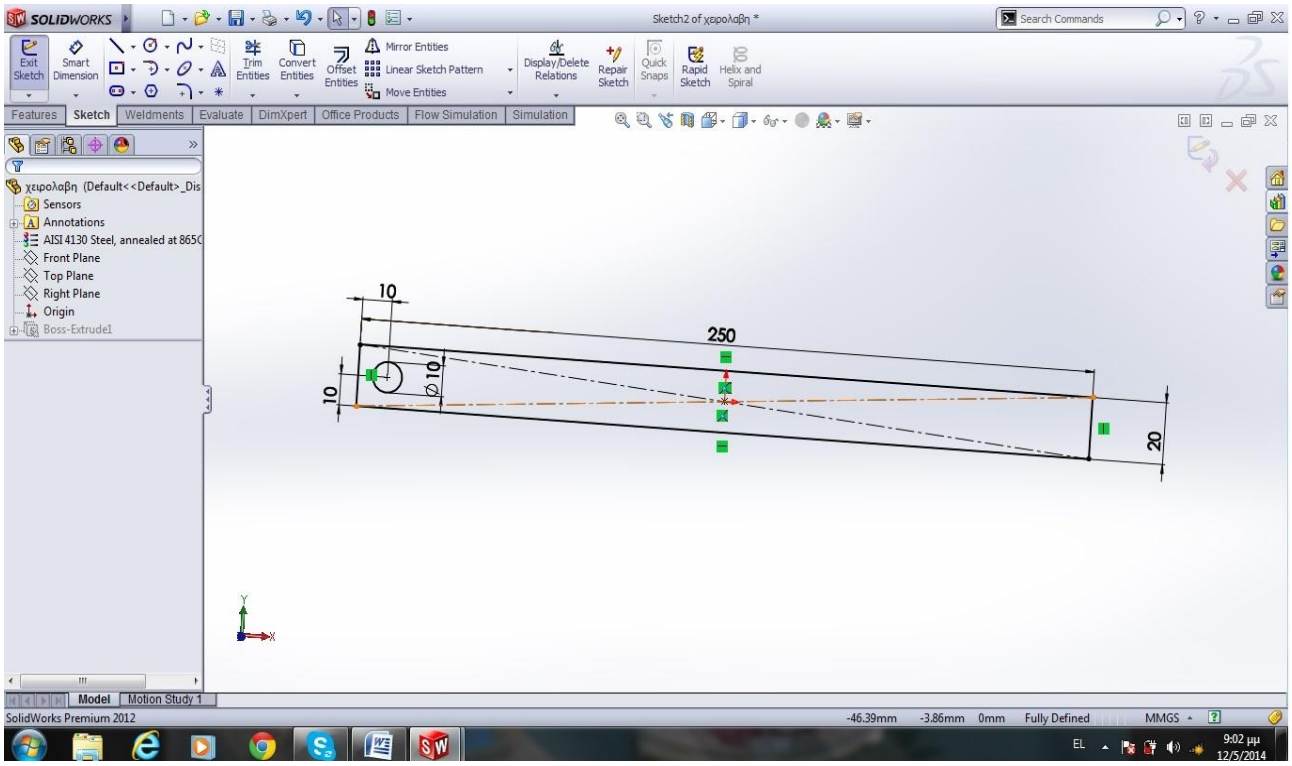


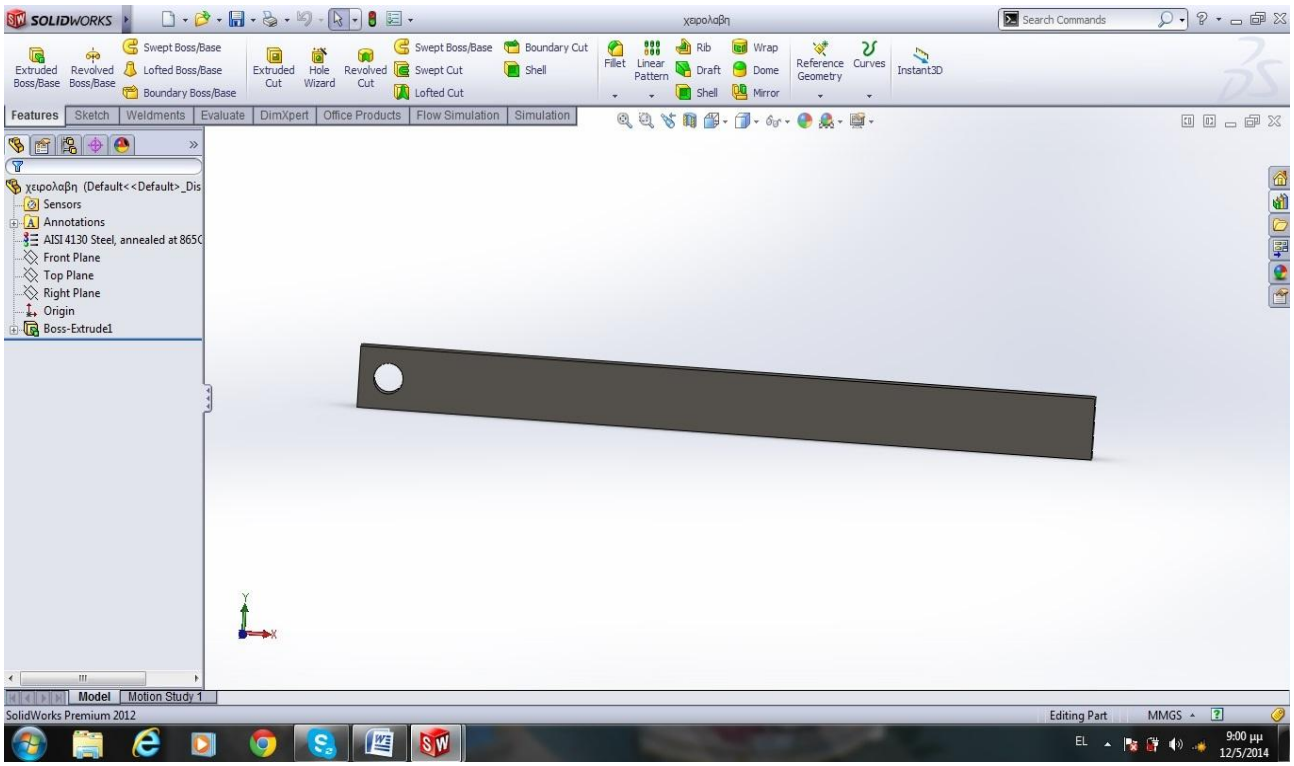


17. Forging force application arm (Σφυρήλατος βραχίονας εφαρμογής δύναμης)

<u>Σχεδιασμός:</u>

Σχεδιάζω ένα παραλληλόγραμμο και ένα εσωτερικό κύκλο και με το Extruded boss/base το κάνω τρισδιάστατο.
(Διαδικασία: Front plane→Sketch→Center Rectangle, Sketch→Circle, Feaure→ Extruded boss/base)

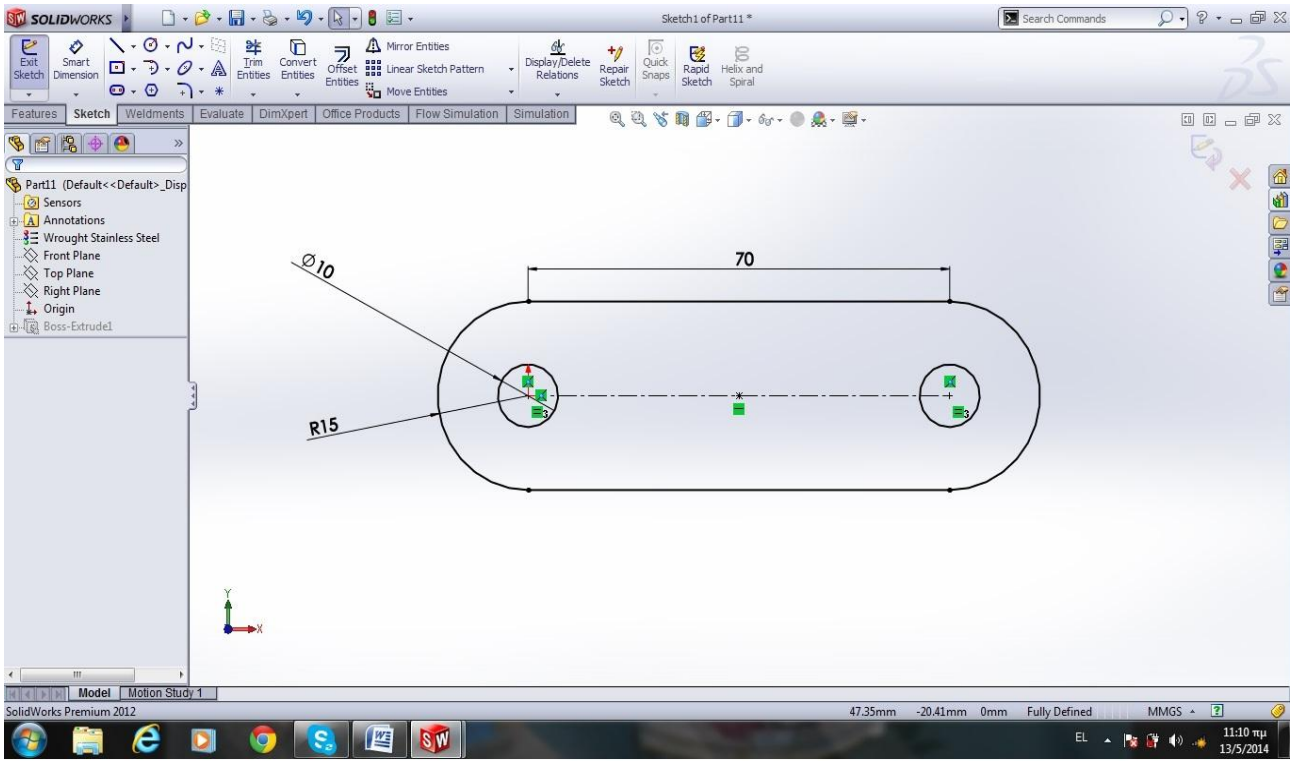


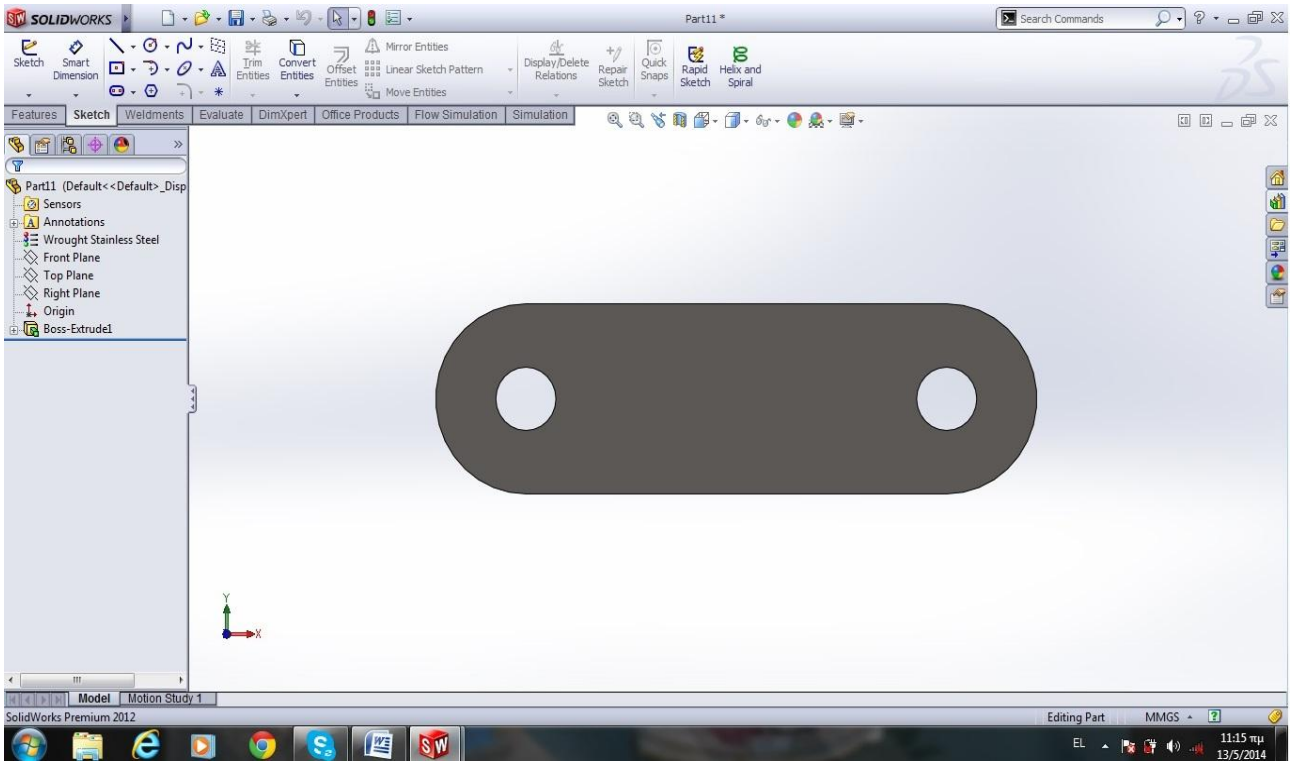


18. Toggle (Εναλλαγή)

<u>Σχεδιασμός:</u>

Αυτό που κάνω είναι να σχεδιάσω 2 κύκλους R15 ,να τους ενώσω με **lines**(γραμμές) και εσωτερικά να κάνω άλλους 2 με το ίδιο κέντρο αλλά με διάμετρο 10mm. Τέλος χρησιμοποιώ πάλι το **Extruded boss/base** για να το κάνω τρισδιάστατο.

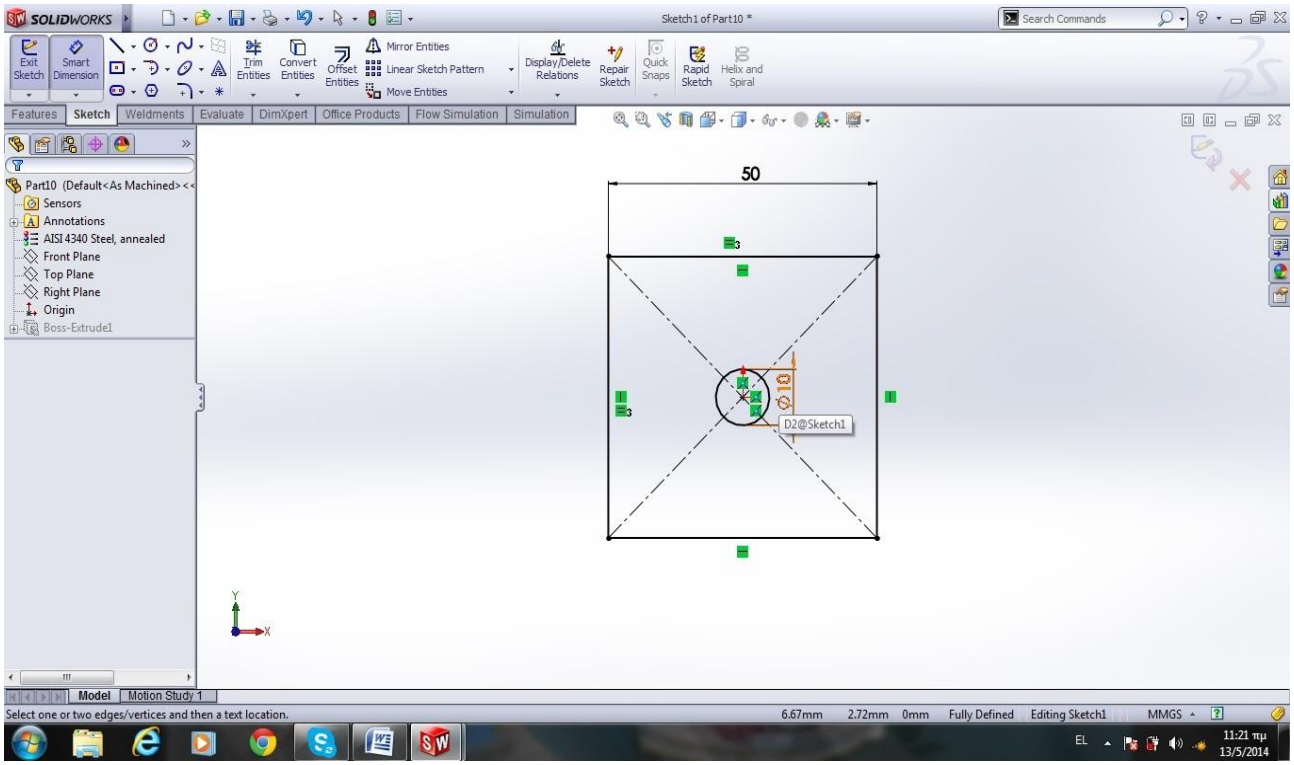

SOLIDWORKS
Sketch1 of Part11 *
Search Commands
Exit Sketch
Smart Dimension
Trim Entities
Convert Entities
Offset Entities
Mirror Entities
Linear Sketch Pattern
Move Entities
Display/Delete Relations
Repair Sketch
Quick Snaps
Rapid Sketch
Helix and Spiral
Features
Sketch
Weldments
Evaluate
DimXpert
Office Products
Flow Simulation
Simulation
Part11 (Default<<Default>_Disp
Sensors
Annotations
Wrought Stainless Steel
Front Plane
Top Plane
Right Plane
Origin
Boss-Extrude1
Ø10
70
R15
Model
Motion Study 1
SolidWorks Premium 2012
47.35mm
-20.41mm
0mm
Fully Defined
MMGS
EL
11:10 πμ
13/5/2014

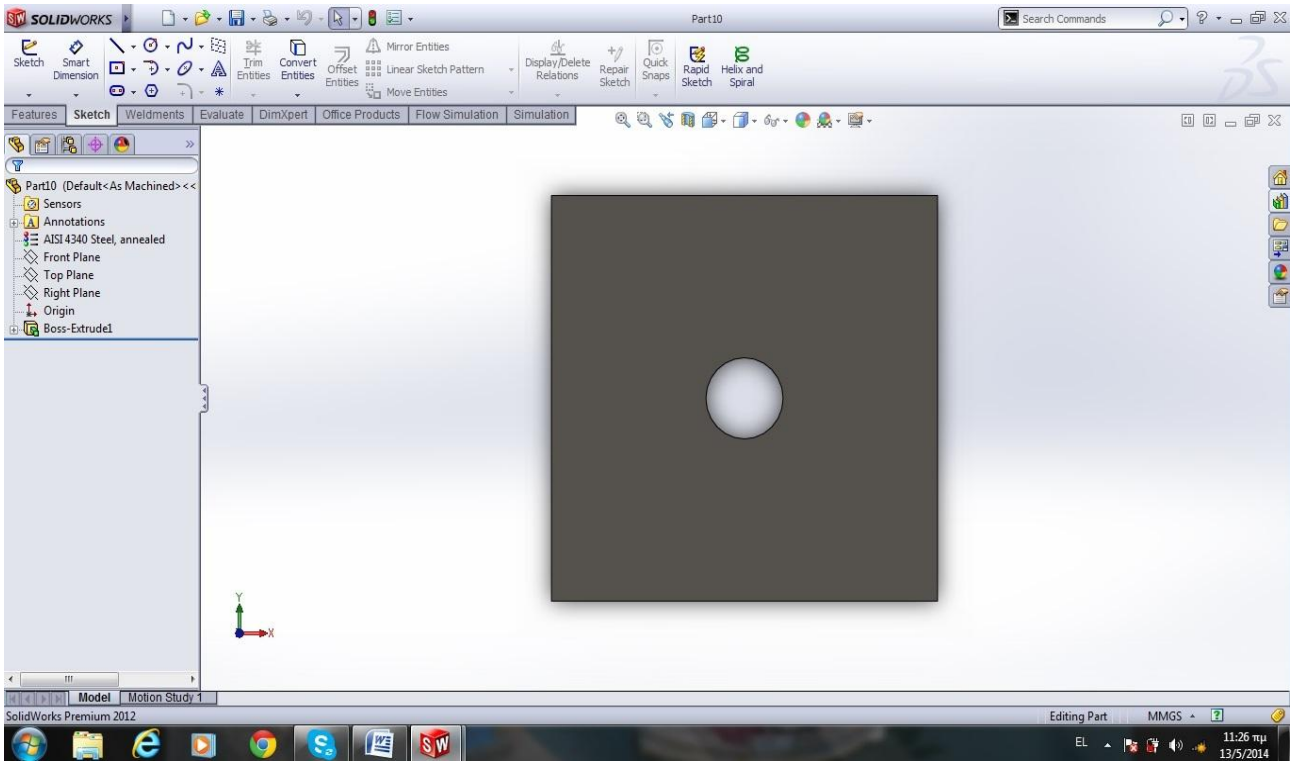

SOLIDWORKS
Part11 *
Search Commands
Sketch
Smart Dimension
Trim Entities
Convert Entities
Offset Entities
Mirror Entities
Linear Sketch Pattern
Move Entities
Display/Delete Relations
Repair Sketch
Quick Snaps
Rapid Sketch
Helix and Spiral
Features
Sketch
Weldments
Evaluate
DimXpert
Office Products
Flow Simulation
Simulation
Part11 (Default<<Default>_Disp
Sensors
Annotations
Wrought Stainless Steel
Front Plane
Top Plane
Right Plane
Origin
Boss-Extrude1
Model
Motion Study 1
SolidWorks Premium 2012
Editing Part
MMGS
EL
11:15 πμ
13/5/2014

19 και 21. Toggle block (Μπλοκ εναλλαγής)

Σχεδιασμός:

Το **Extruded boss/base** έχει γίνει με ύψος 10mm.





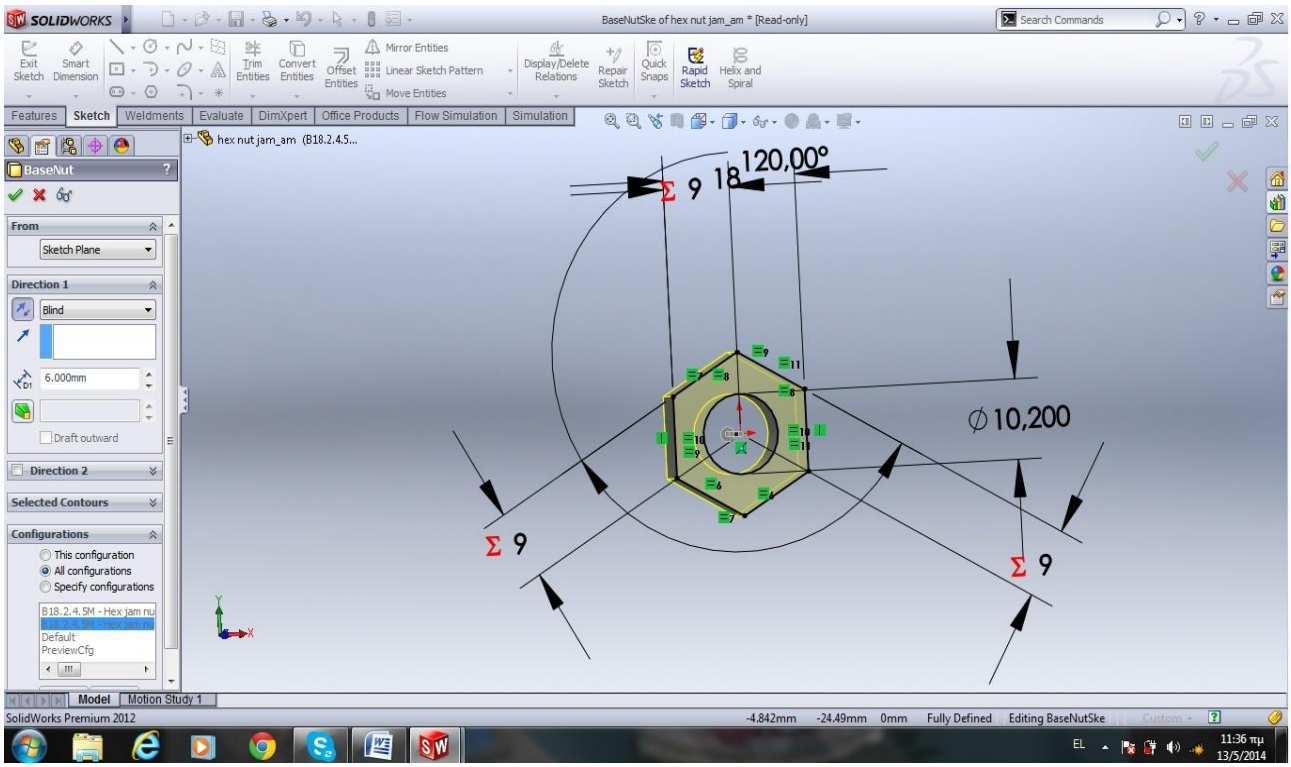
20. Axial spring adjuster and slider (Ρυθμιστής αξονικού ελατηρίου)

Το παξιμάδι μας ρυθμίζει την μη οπισθοχώρηση του σταθερού τσοκ.

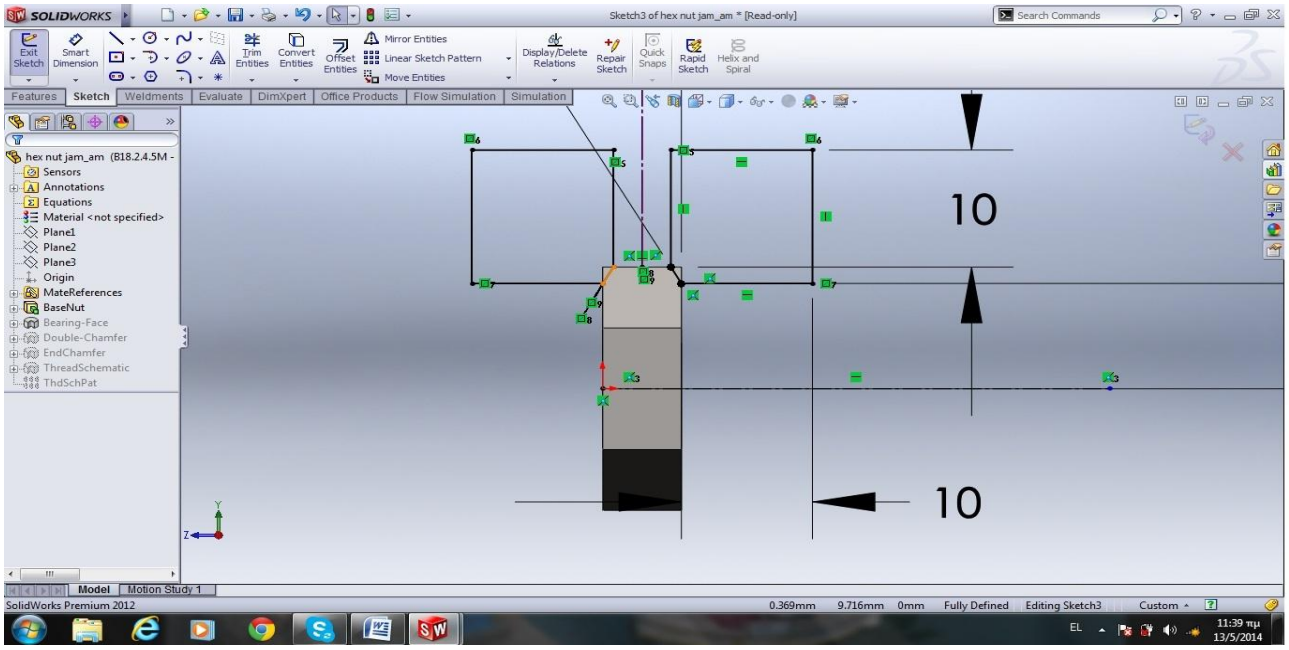
Σχεδιασμός:

Εμείς αντί ελατήρια βάλαμε έμβολα , ουσιαστικά δηλαδή είναι ρυθμιστής εμβόλων. Το οποίο είναι ένα παξιμάδι και το πήρα έτοιμο από το **Toolbox.**

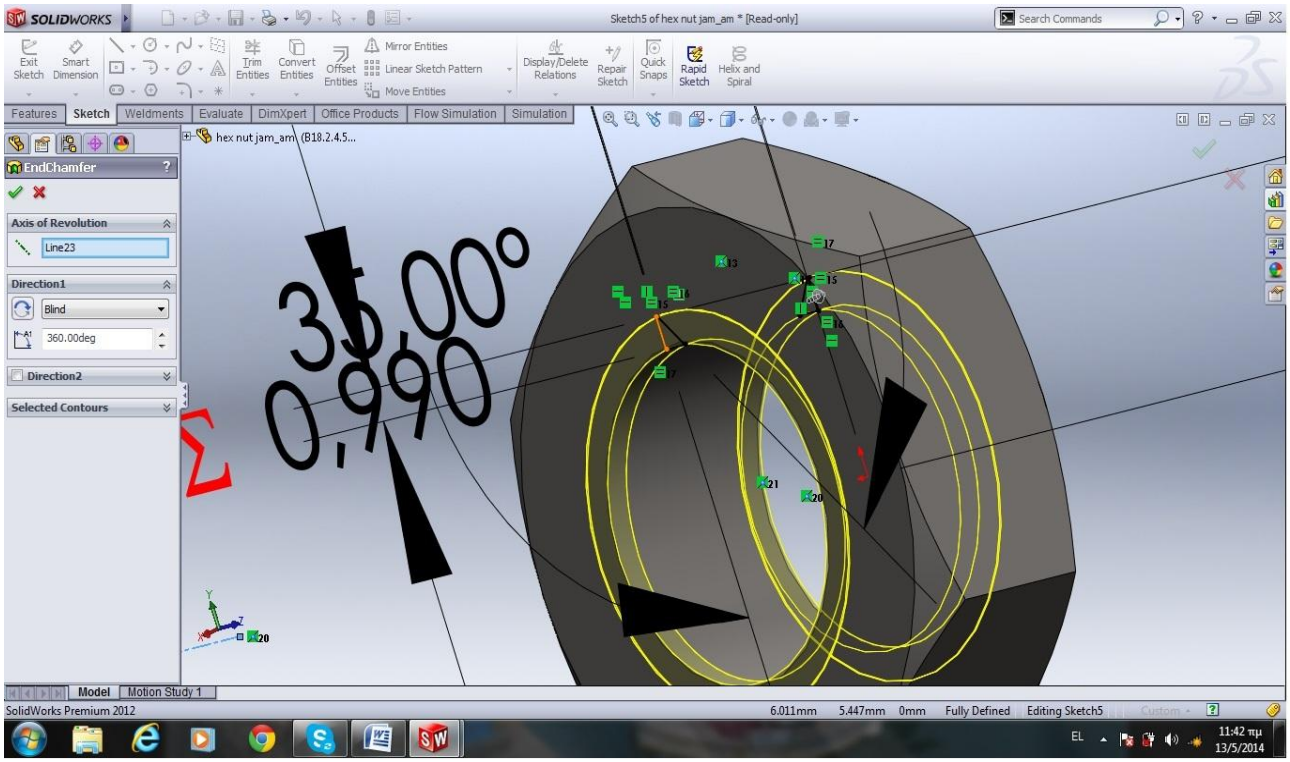
Η εικόνα παρακάτω μας δείχνει το σχήμα του και το πάχος που δημιουργεί. Έχει σχεδιαστεί με γραμμές αλλά θα μπορούσε να γίνει και με την εντολή **Polygon** . κατατάλλα είναι ένα κατανοητό σχήμα με περιορισμούς (Πράσινα τετραγωνάκια) και με διαστάσεις.



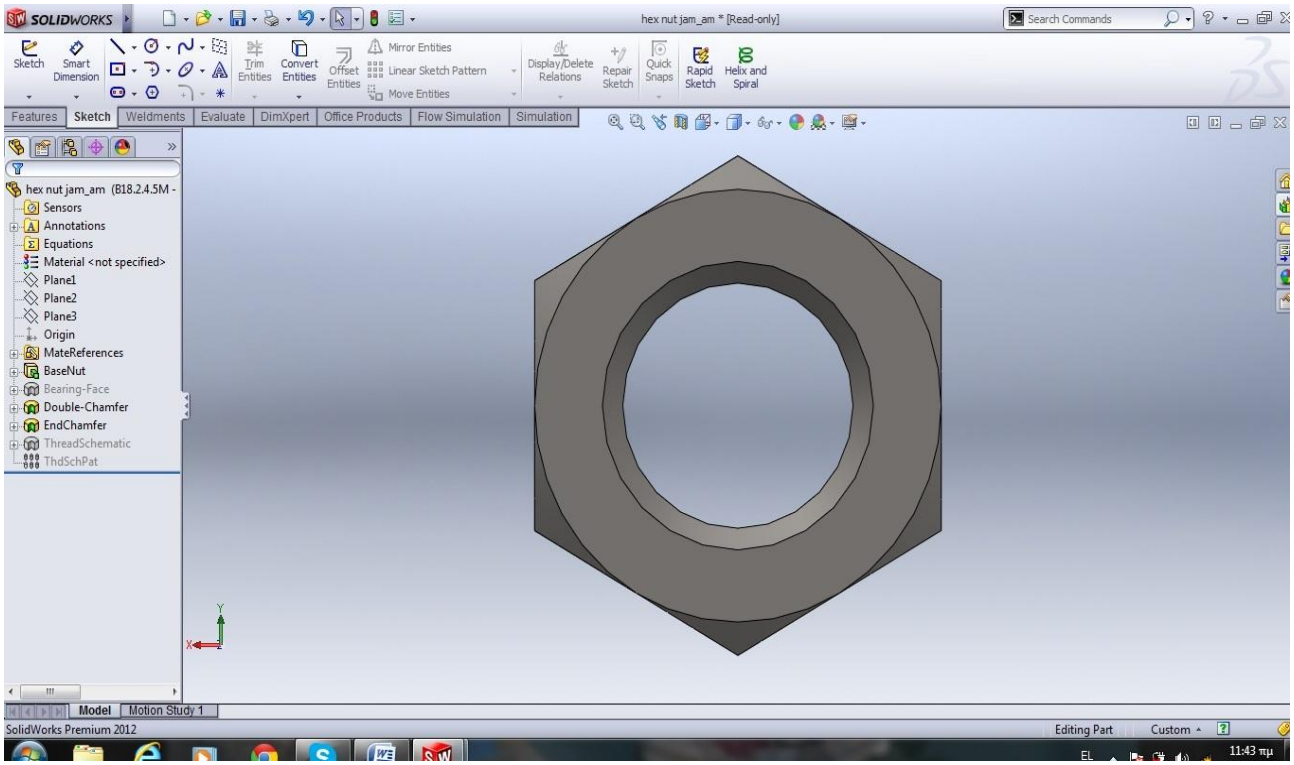
Εδώ βλέπουμε ότι φτιάχνει ένα τετράγωνο με γραμμές που κόβει την κάτω αριστερή γωνία για να κάνει ένα πλάγιο κόψιμο στο εξάρτημα μας.



Σε αυτή την εικόνα μας δείχνει άλλο ένα κόψιμο που μας κάνει στην εσωτερική επιφάνεια με τη βοήθεια ενός τριγώνου και της εντολής **End chamfer.** Επίσης φαίνεται ότι το σχήμα μας είμαι σε ίντσες αλλά εγώ για την χρησιμοποίηση του μετέτρεψα την εσωτερική επιφάνεια σε mm.



Έτσι λοιπόν έγινε το παξιμάδι μας!

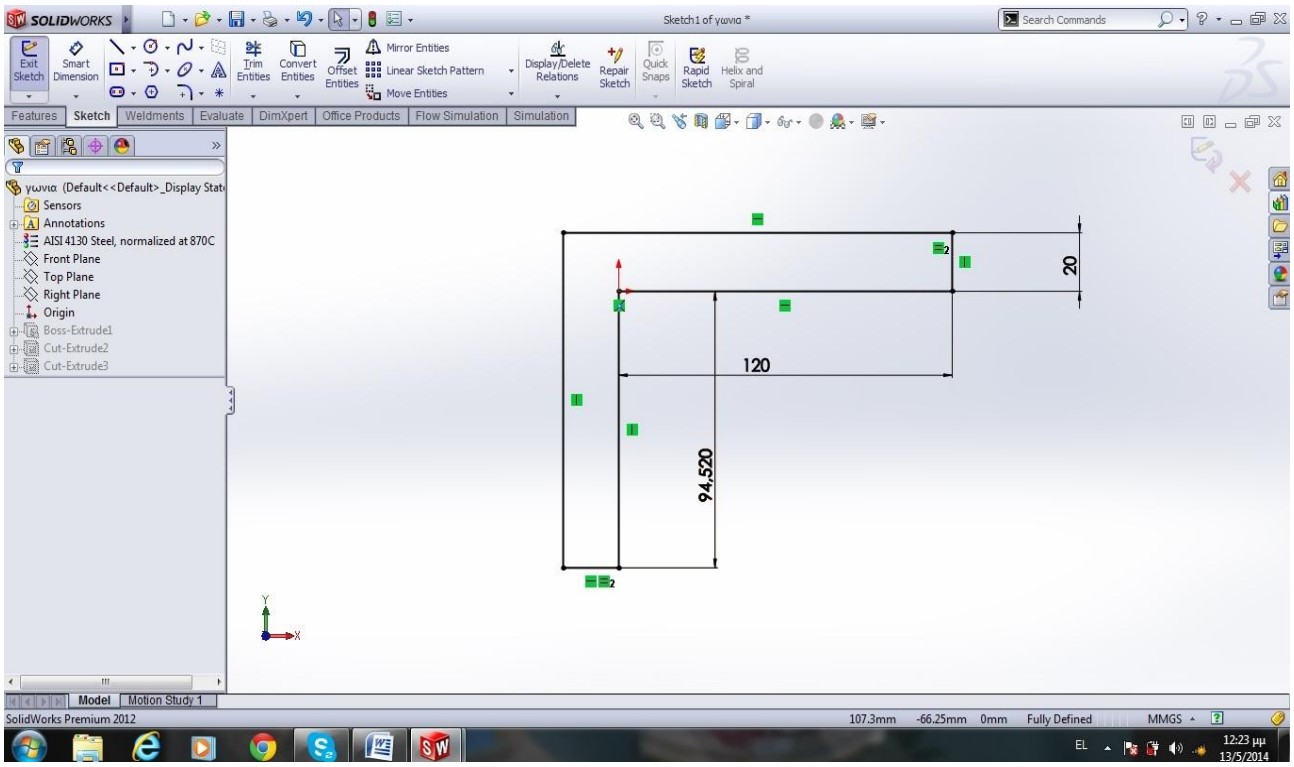


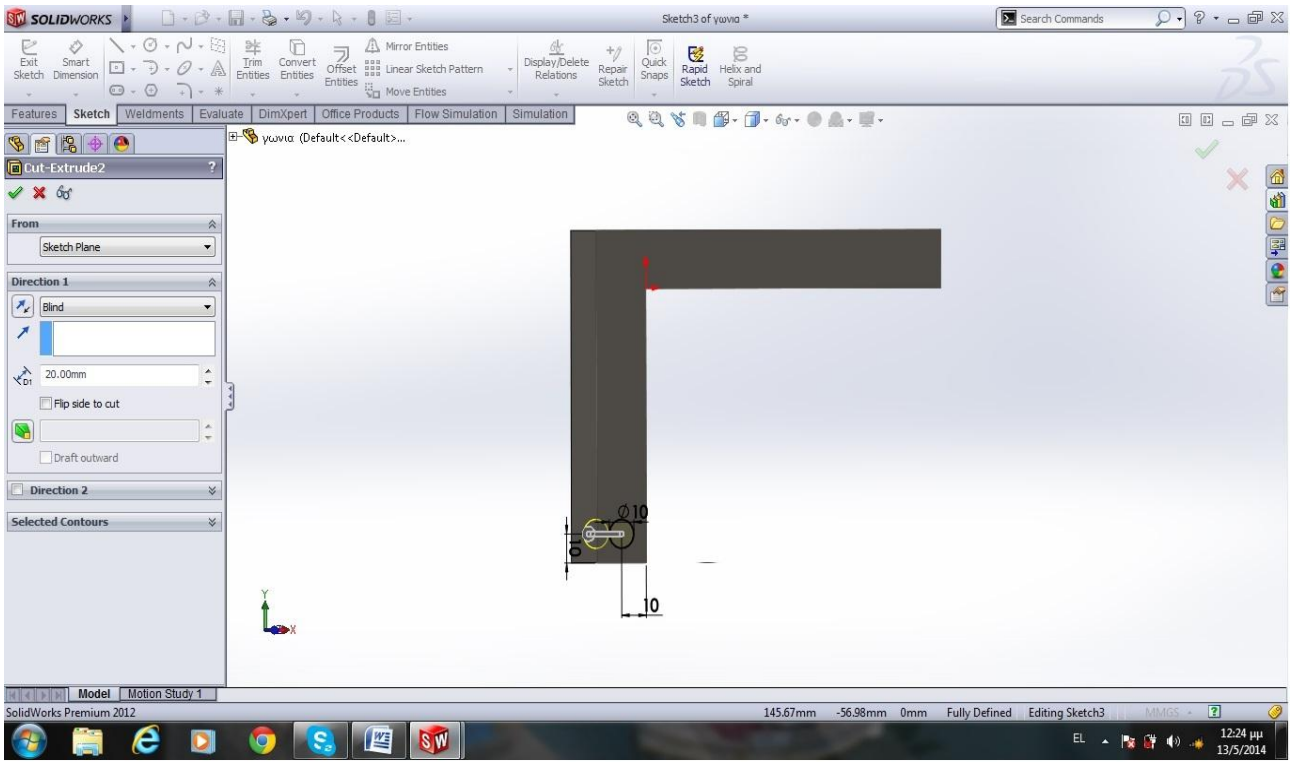
22. Toggle restraint (Συγκράτηση εναλλαγής)

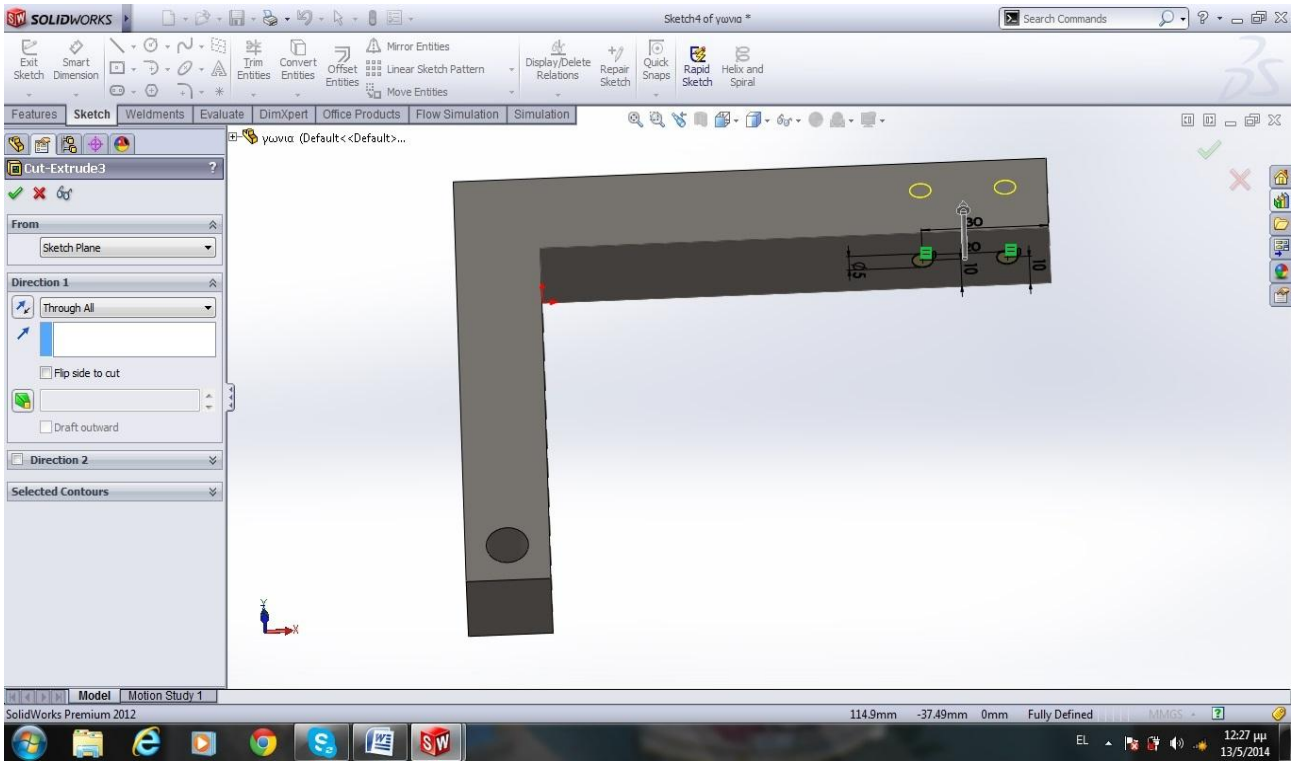
Η συγκράτηση αυτή χρησιμεύει στην απεμπλοκή του σταθερού τσοκ και συνεπώς στο σταμάτημα της κόλλησης.

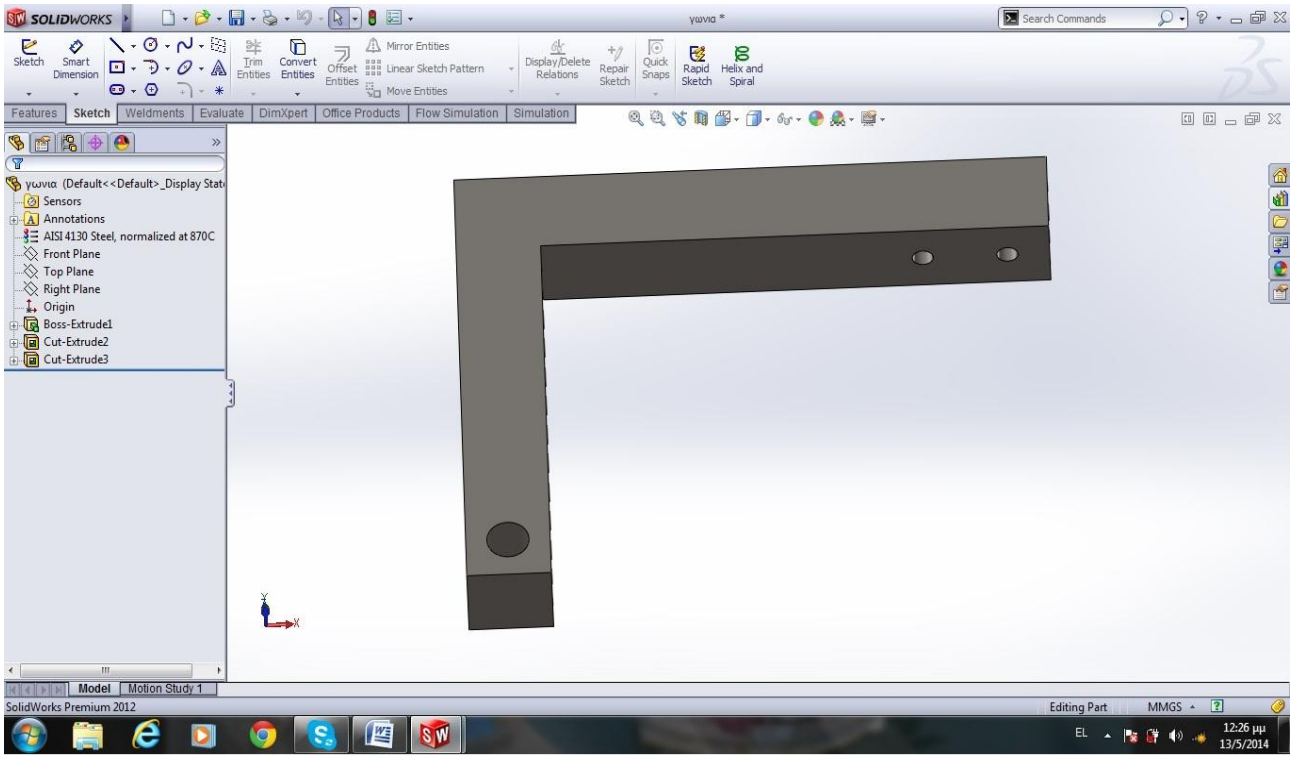
Σχεδιασμός:

Ο σχεδιασμός του αντικειμένου φαίνεται στην πρώτη εικόνα, στη δεύτερη και στη τρίτη φαίνεται το σχέδιο και η κοπή των τρυπών και στην τελευταία εικόνα είναι το εξάρτημα μας.





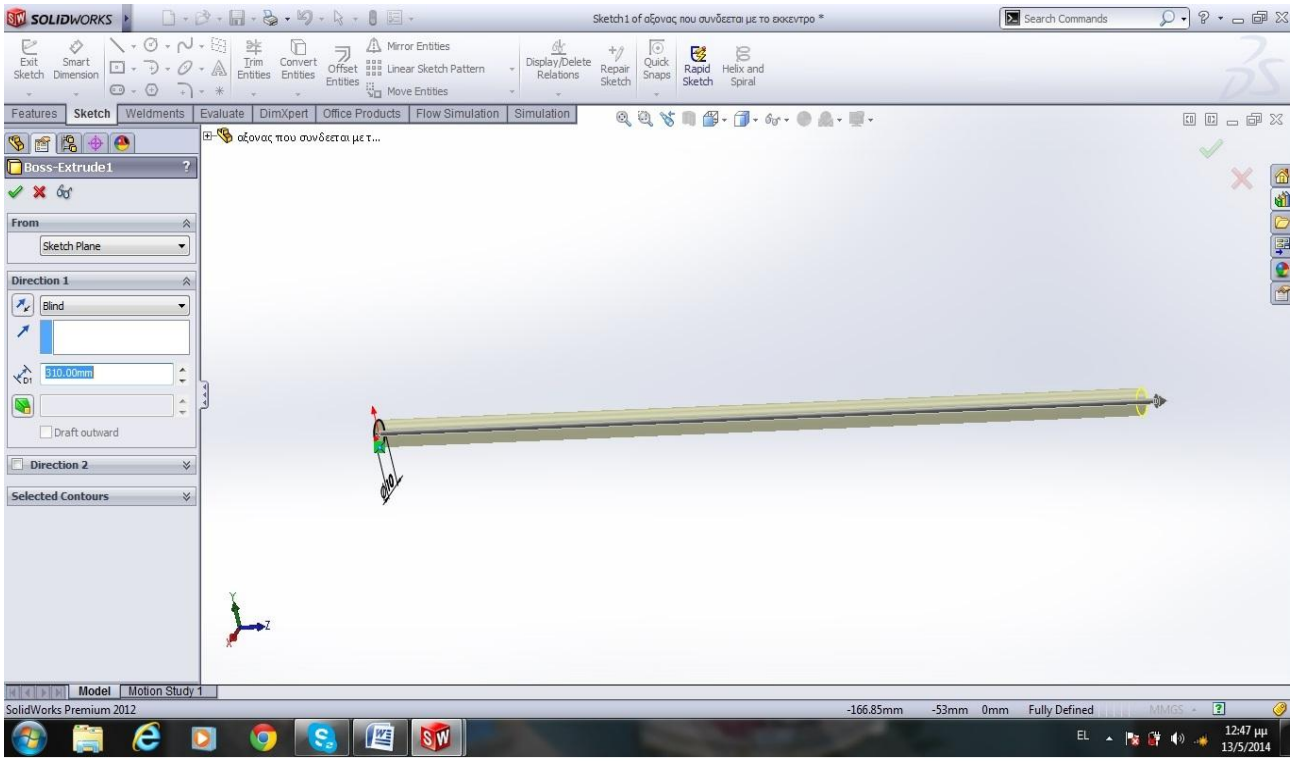


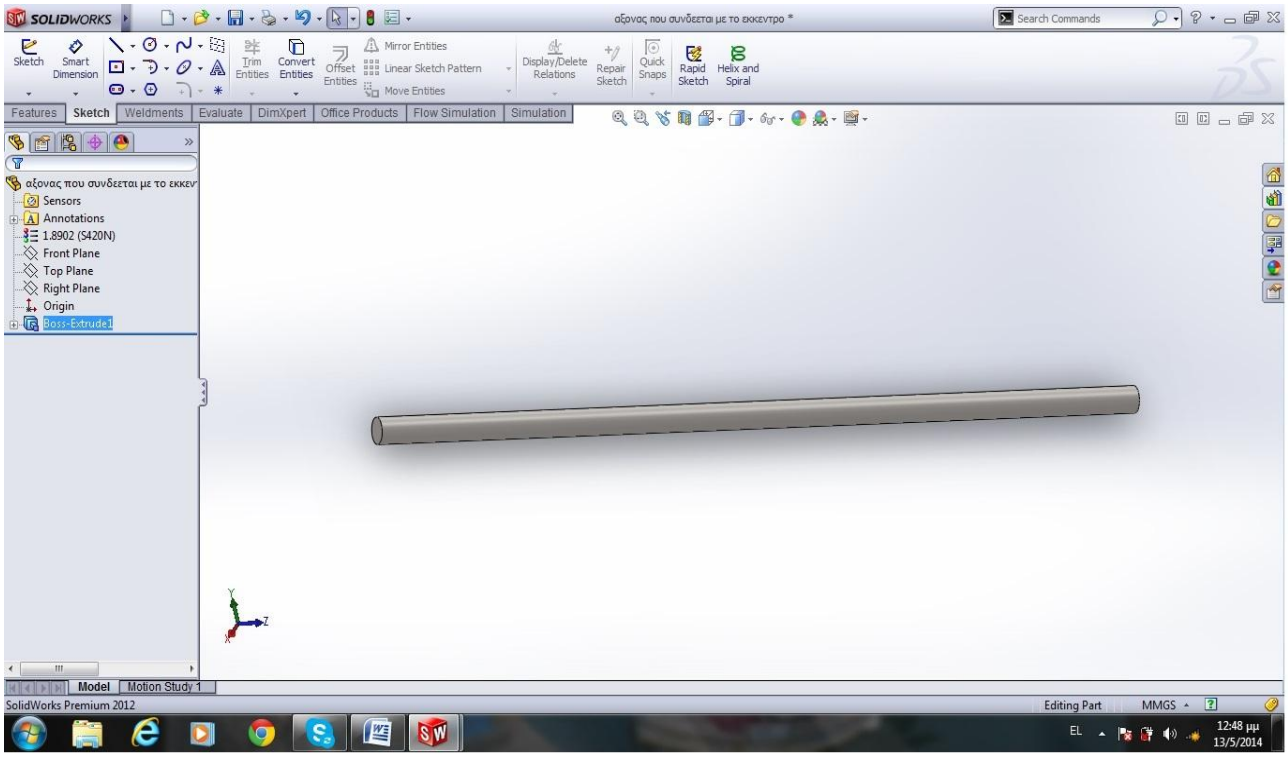


23. Forging applicator cam shaft (Άξονας εφαρμογής έκκεντρου σφυρηλάτησης)

Σε αυτόν τον άξονα μεταφέρεται η δύναμη του βραχίονα προς το έκκεντρο.

<u>Σχεδιασμός:</u>

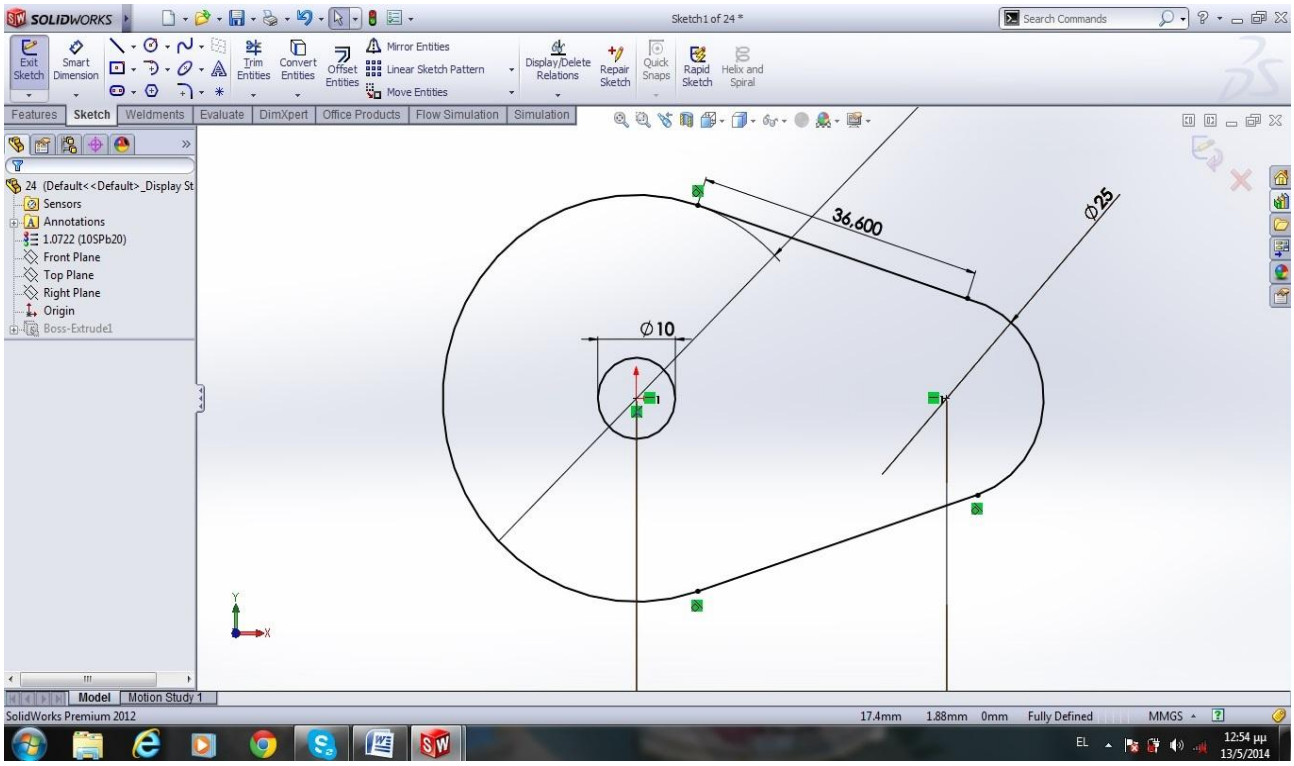


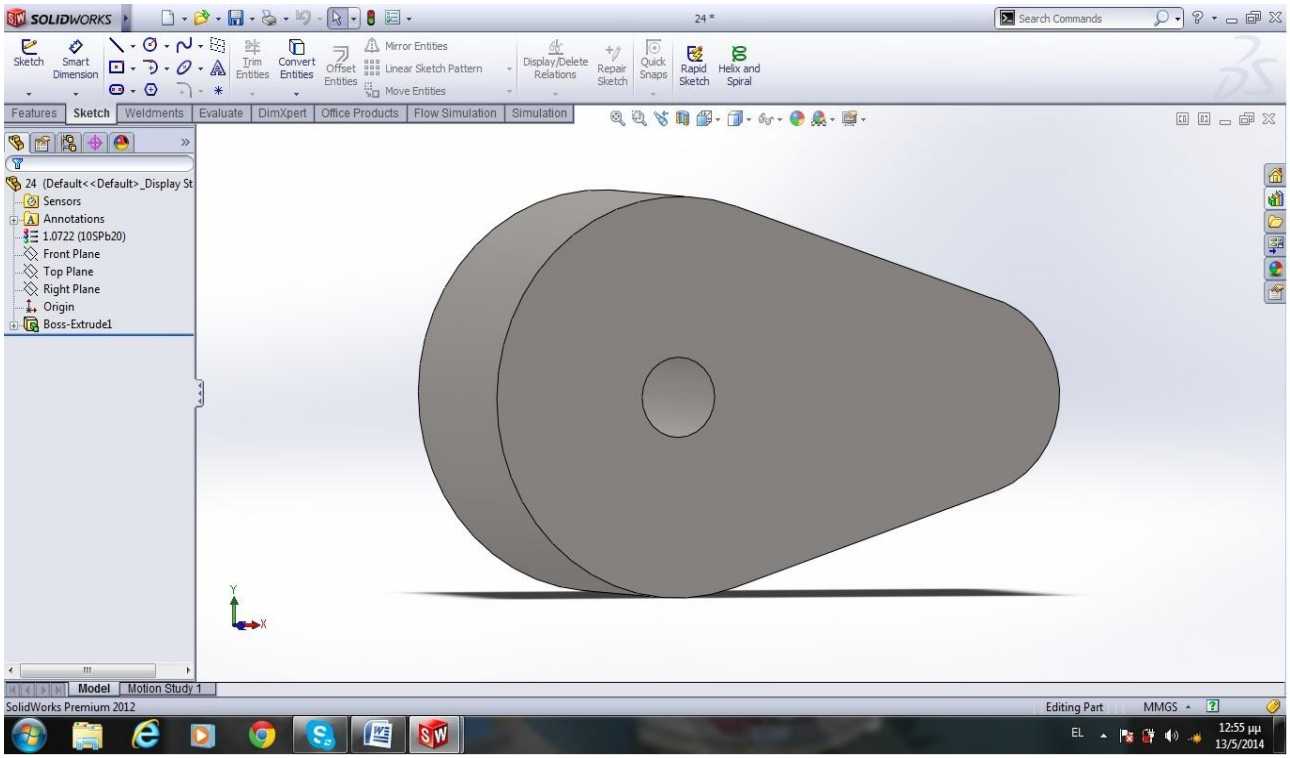


24. Forging force cam (έκκεντρο δύναμης σφυρηλάτησης)

<u>Σχεδιασμός:</u>

Σχεδιάζω 2 κύκλους ένα 50mm και ένα 25mm τους ενώνω και φτιανω επίσης έναν άλλο με κέντρο ίδιο με αυτό των 50mm , ο οποίος είναι 10mm. Ορίζω τις παρακάτω διαστάσεις και τελείωσα με το σχέδιο. Κάνω ένα **Extruded boss/base** 30mm και έτοιμο το εξάρτημα!

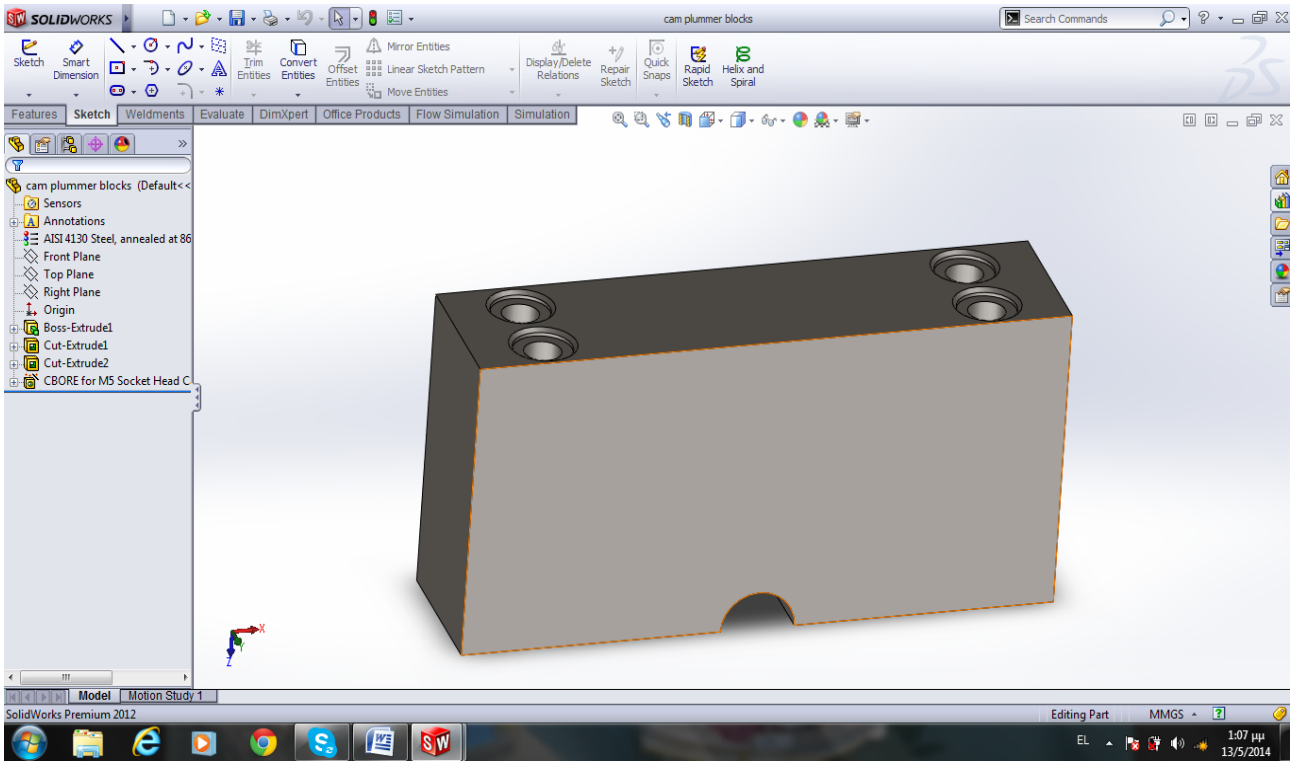


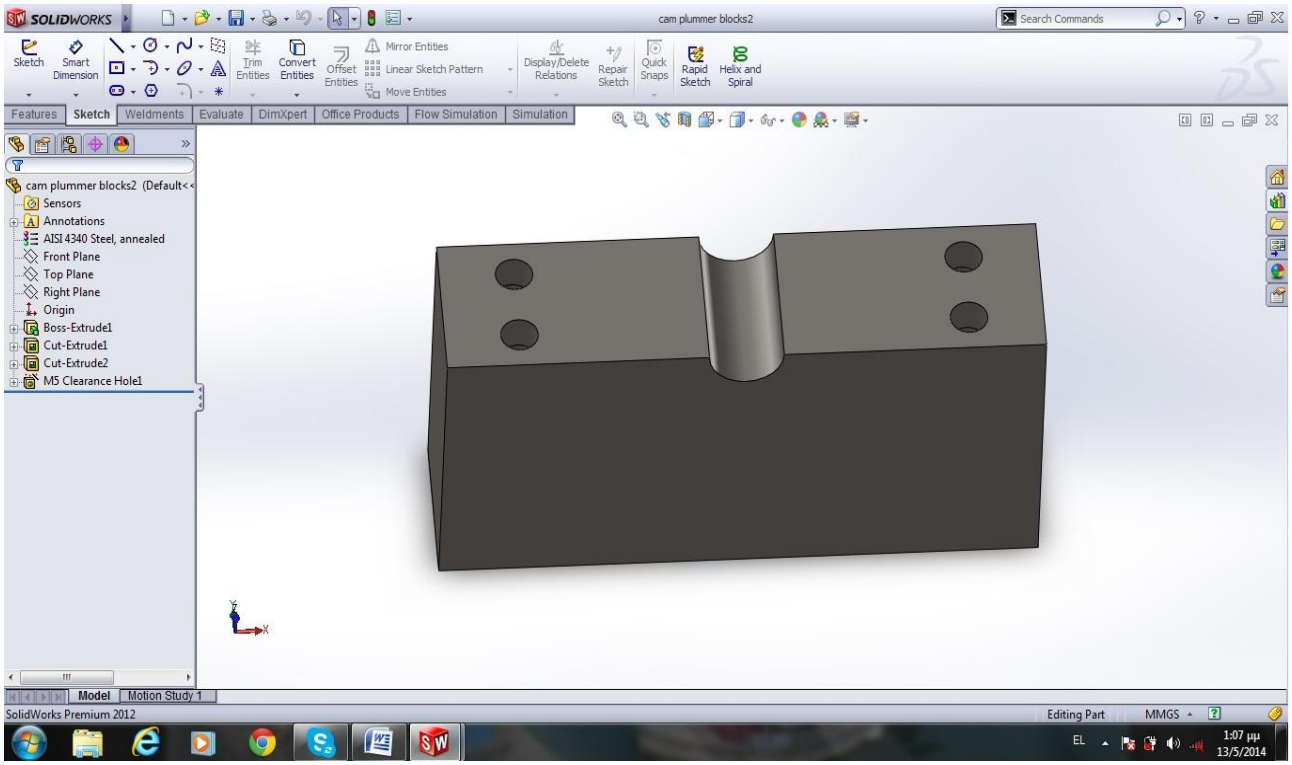


25. Cam Plummer blocks

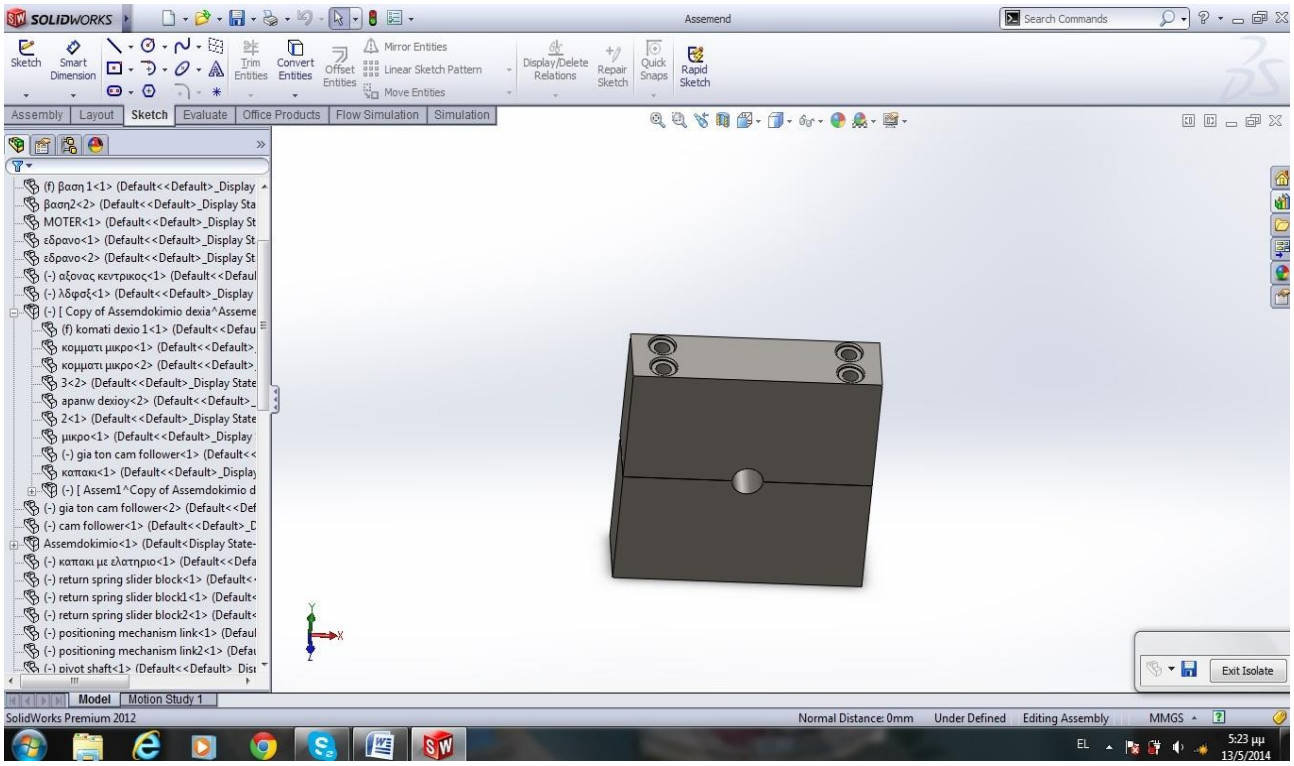
Σχεδιασμός:

Είναι όμοια με το Part 4 απλώς αυτό έχει 4 τρύπες.





Τελικό εξάρτημα!



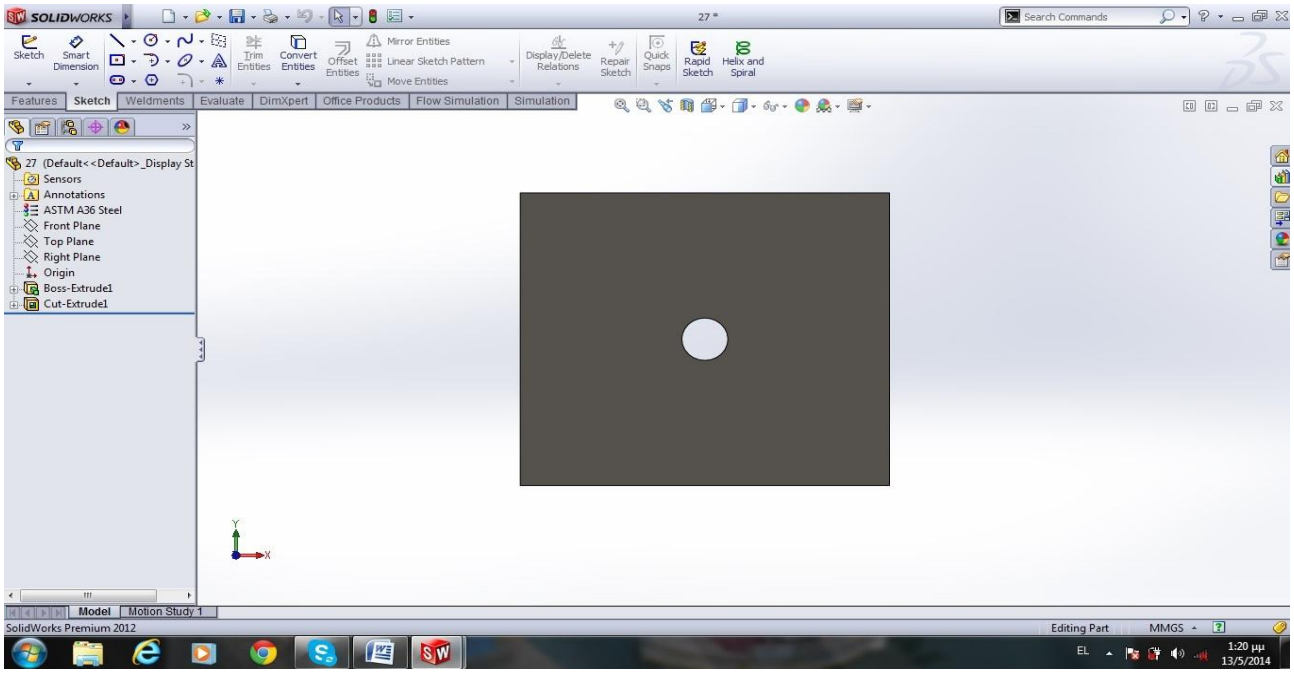
26. Axial spring slider

Είναι το ίδιο εξάρτημα με το εξάρτημα 5.

27. Axial springs guide (Οδηγός αξονικών ελατηρίων)

Υπενθύμιση: αντί ελατήρια έχω έμβολα.

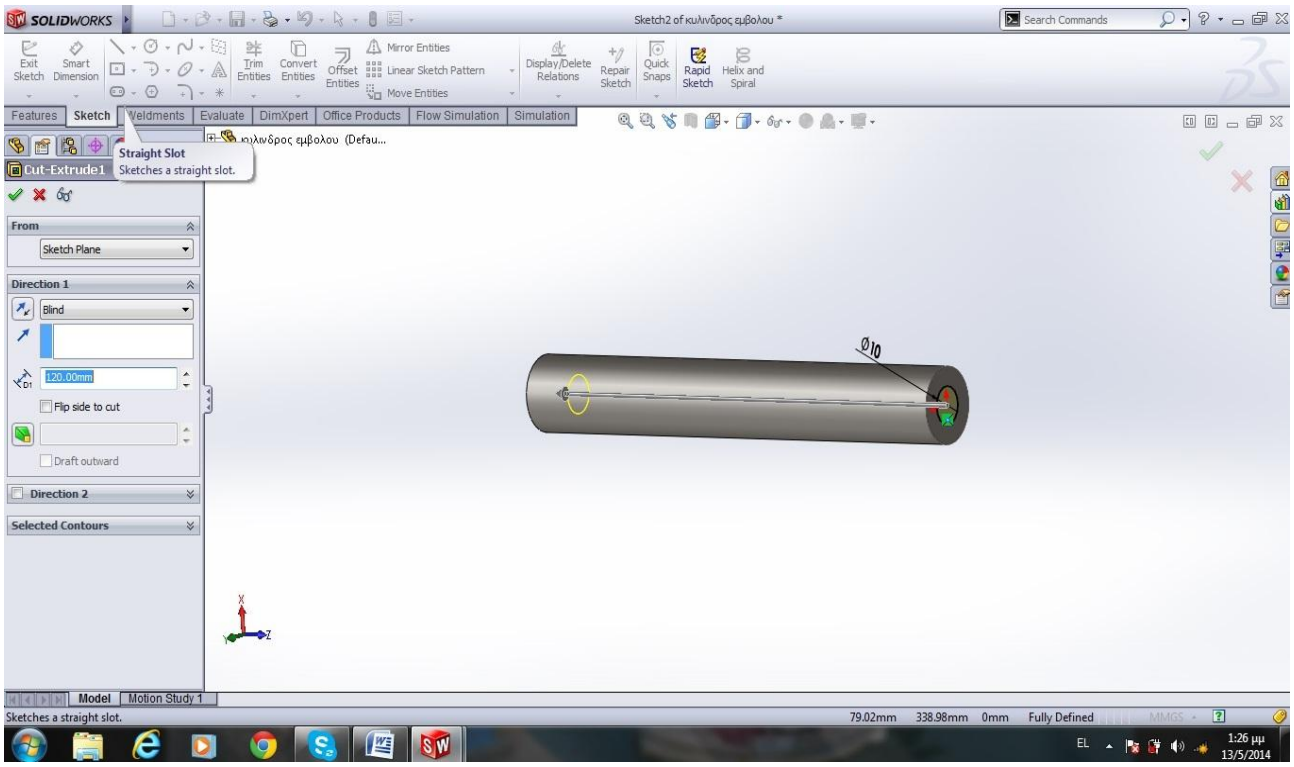
Σχεδιασμός:



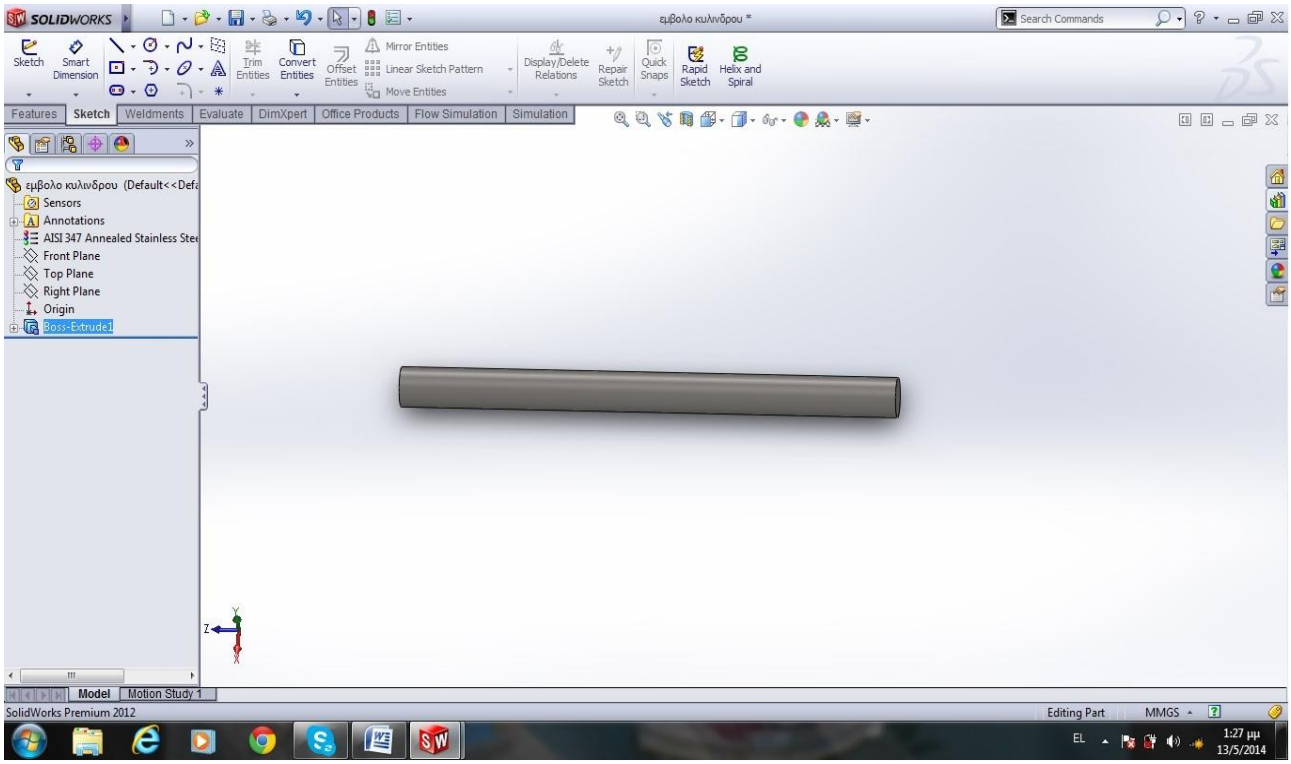
28. Axial springs (Αξονικά ελατήρια)

Υπενθύμιση: αντί ελατήρια έχω έμβολα.

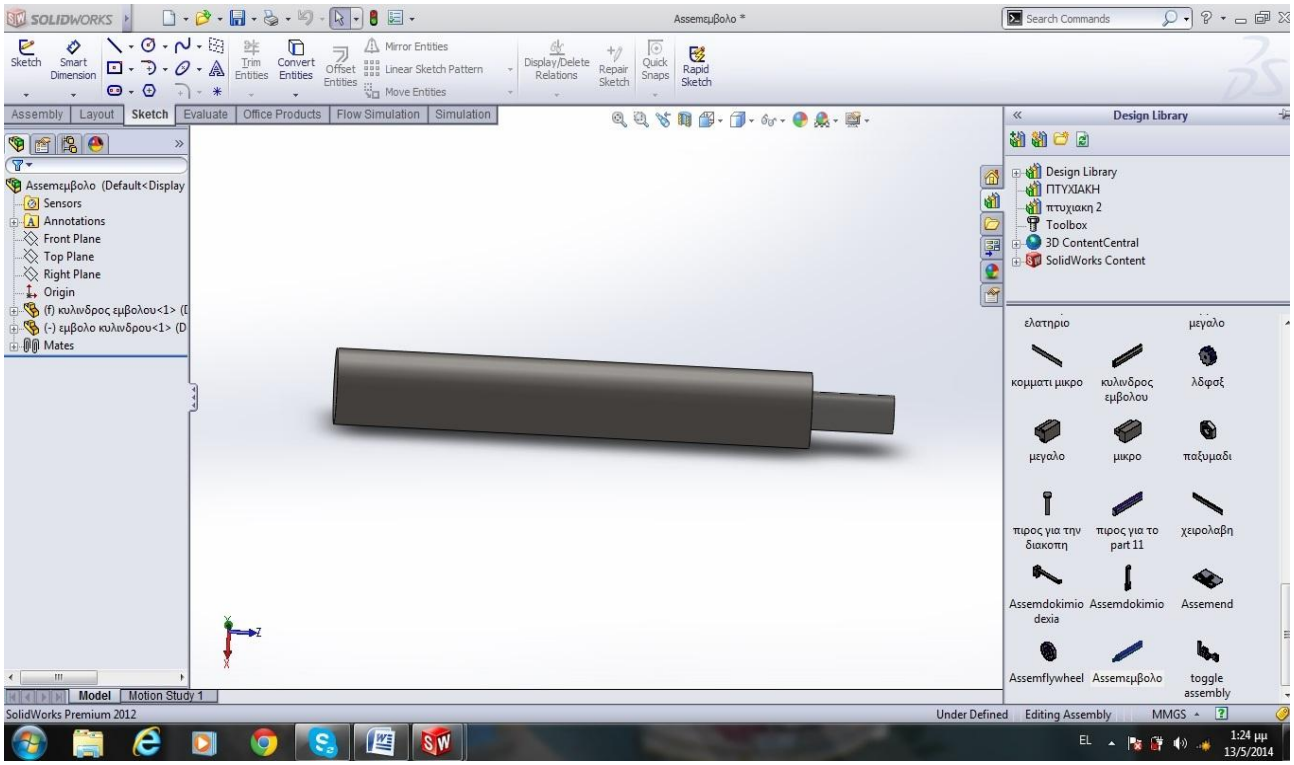
Σχεδιασμός:



Στην προηγούμενη εικόνα είναι ι κύλινδρος των εμβόλων και δείχνεται το μήκος του κενού εσωτερικά.

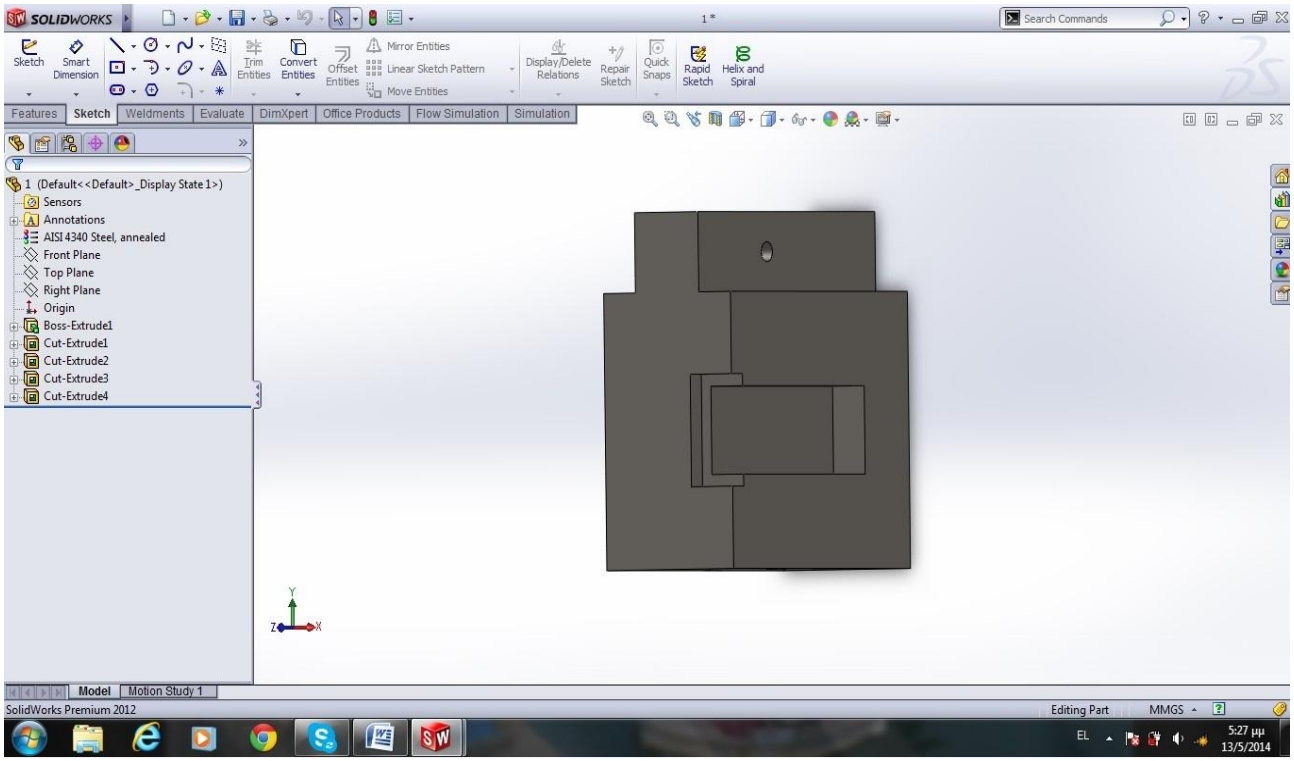


Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε το τελικό εξάρτημα!

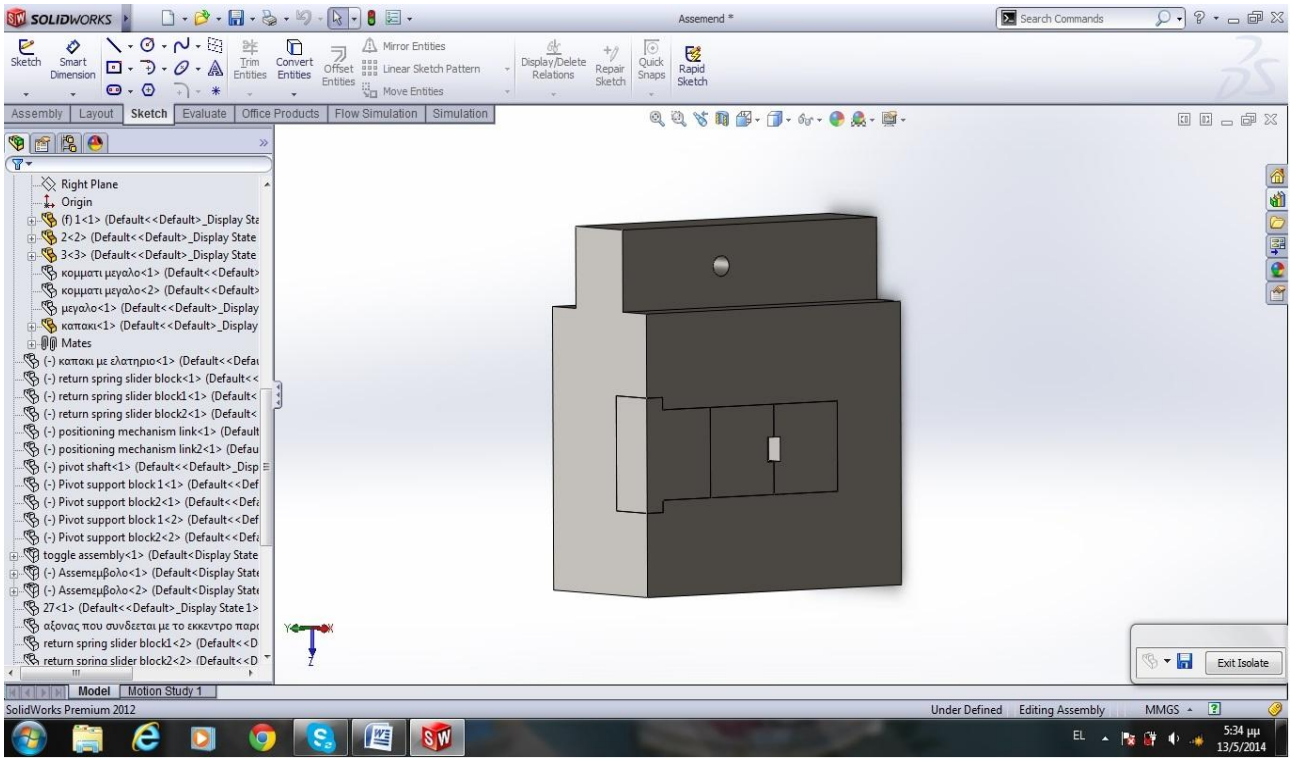


30. Fixed chuck (Σταθερό τσοκ)

<u>Σχεδιασμός:</u>



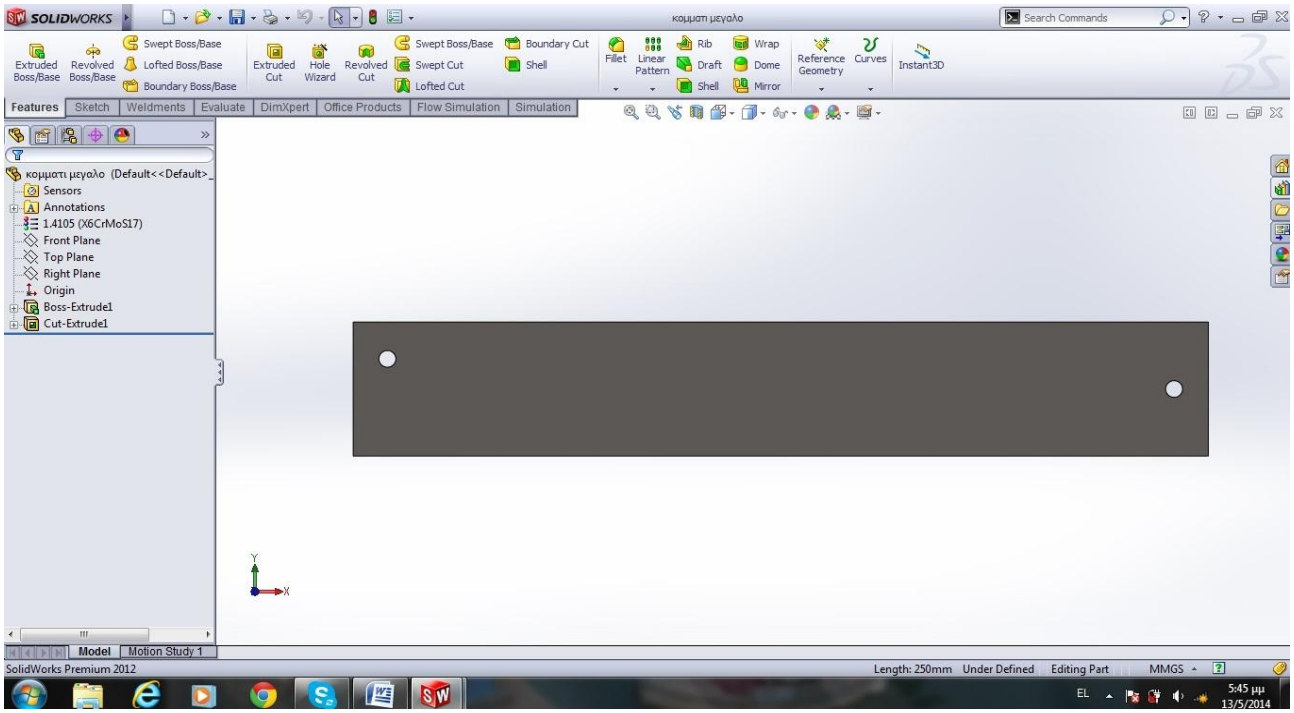
Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε το τελικό εξάρτημα!



31. Fixed chuck parallel beams (Παράλληλοι δοκοί σταθερού τσοκ)

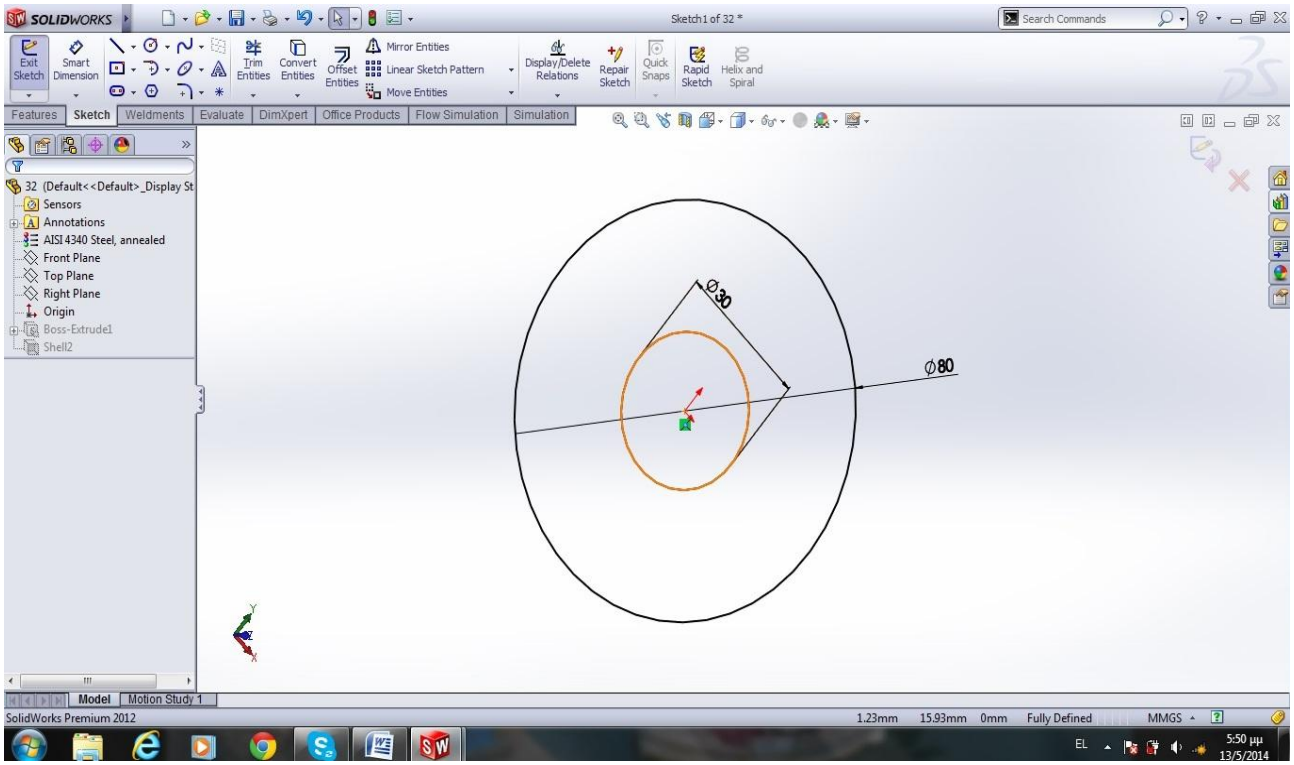
Σχεδιασμός:

Έχουμε 2 ίδιους δοκούς με πάχος 10mm.

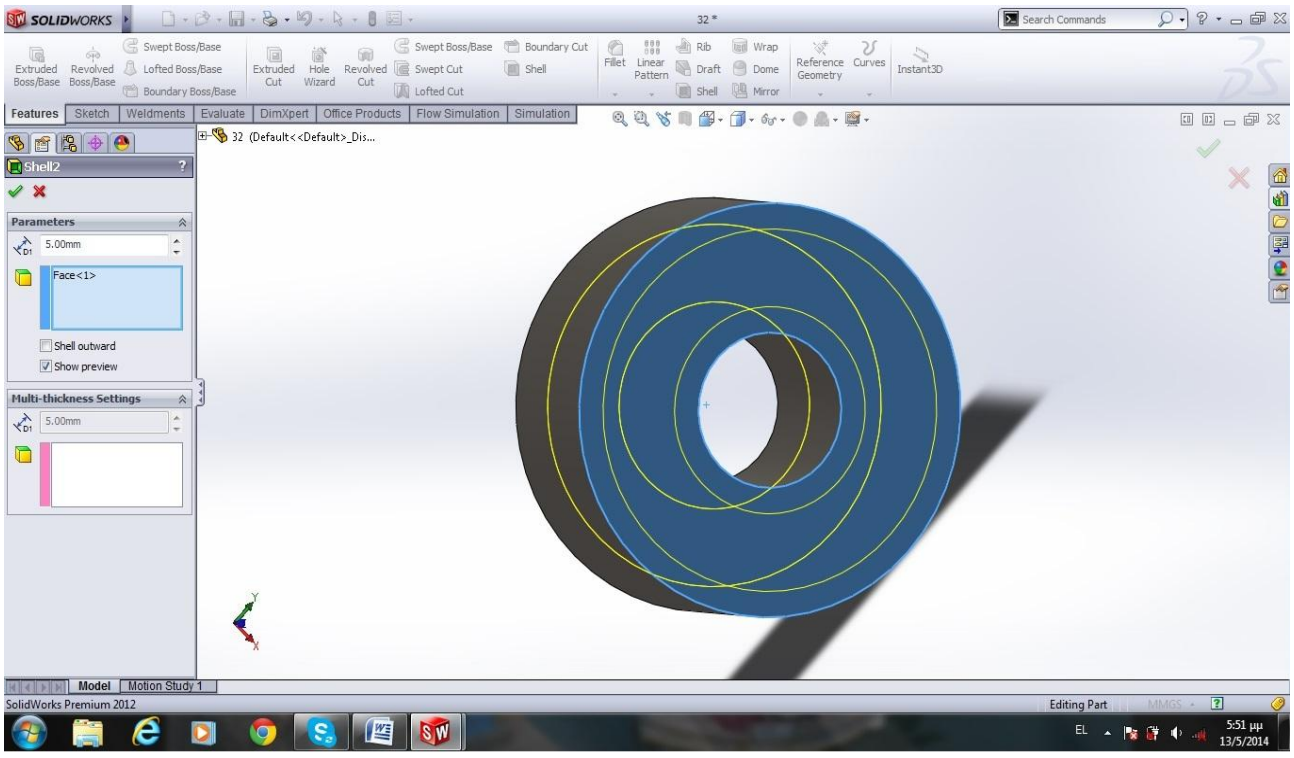


32. Flywheel (Βολάν)

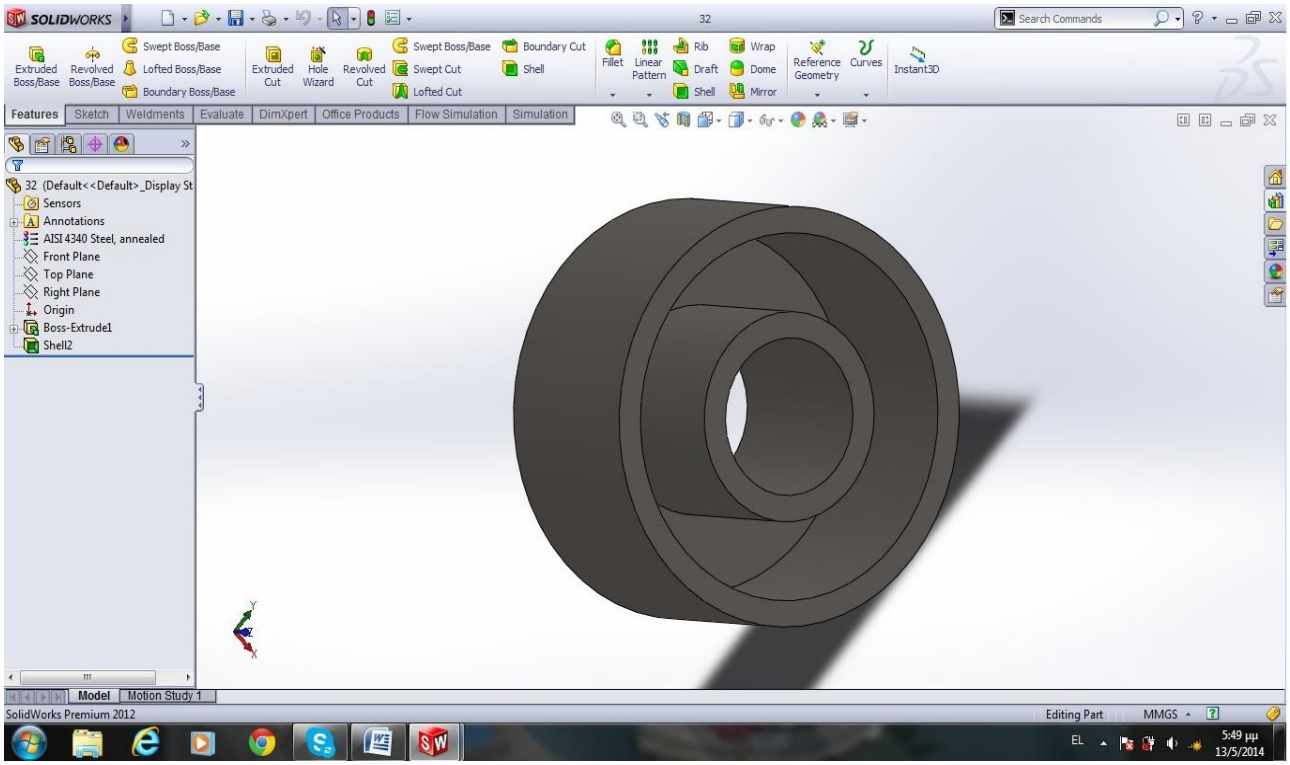
Σχεδιασμός:



Στην κάτω εικόνα βλέπουμε πως χρησιμοποιείται η εντολή **Shell** . Η κίτρινη γραμμή μας δείχνει το σχήμα που θα κοπεί.

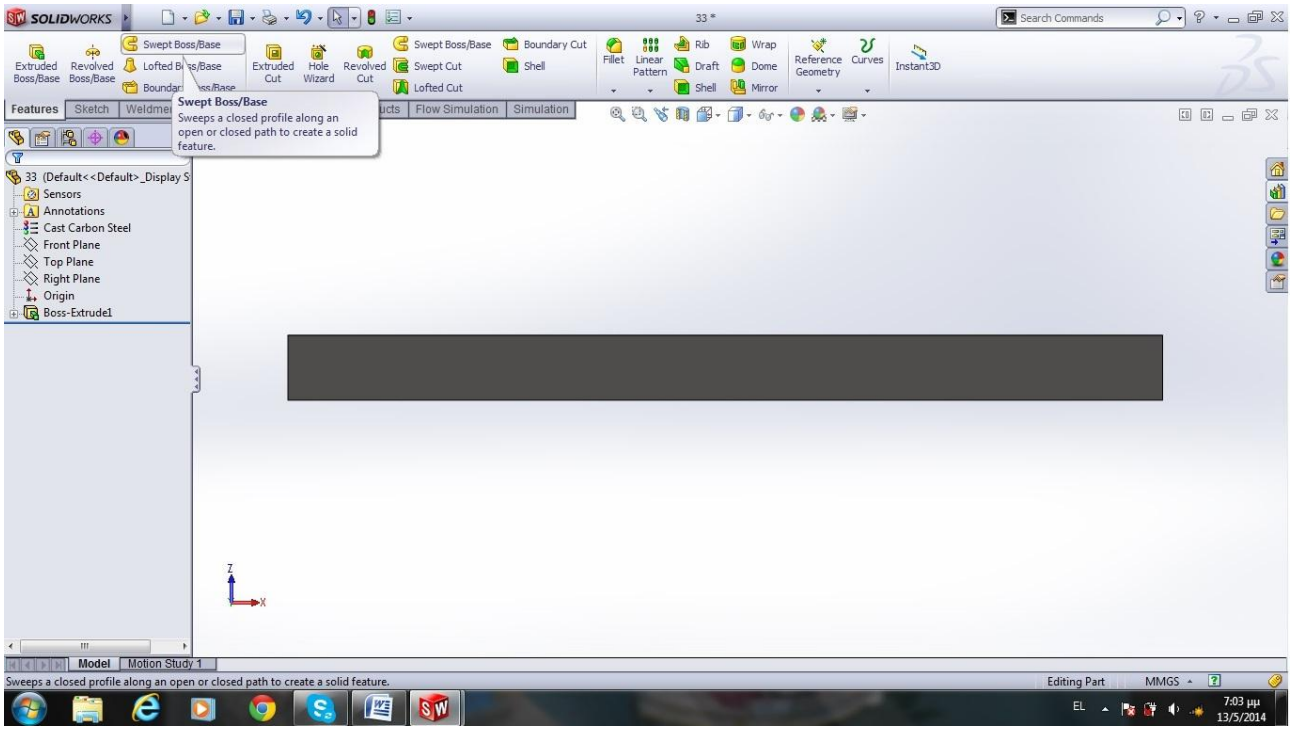


Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε το τελικό εξάρτημα!



33. Motor plate stiffening (Δύσκαμπτη πλάκα μοτέρ)

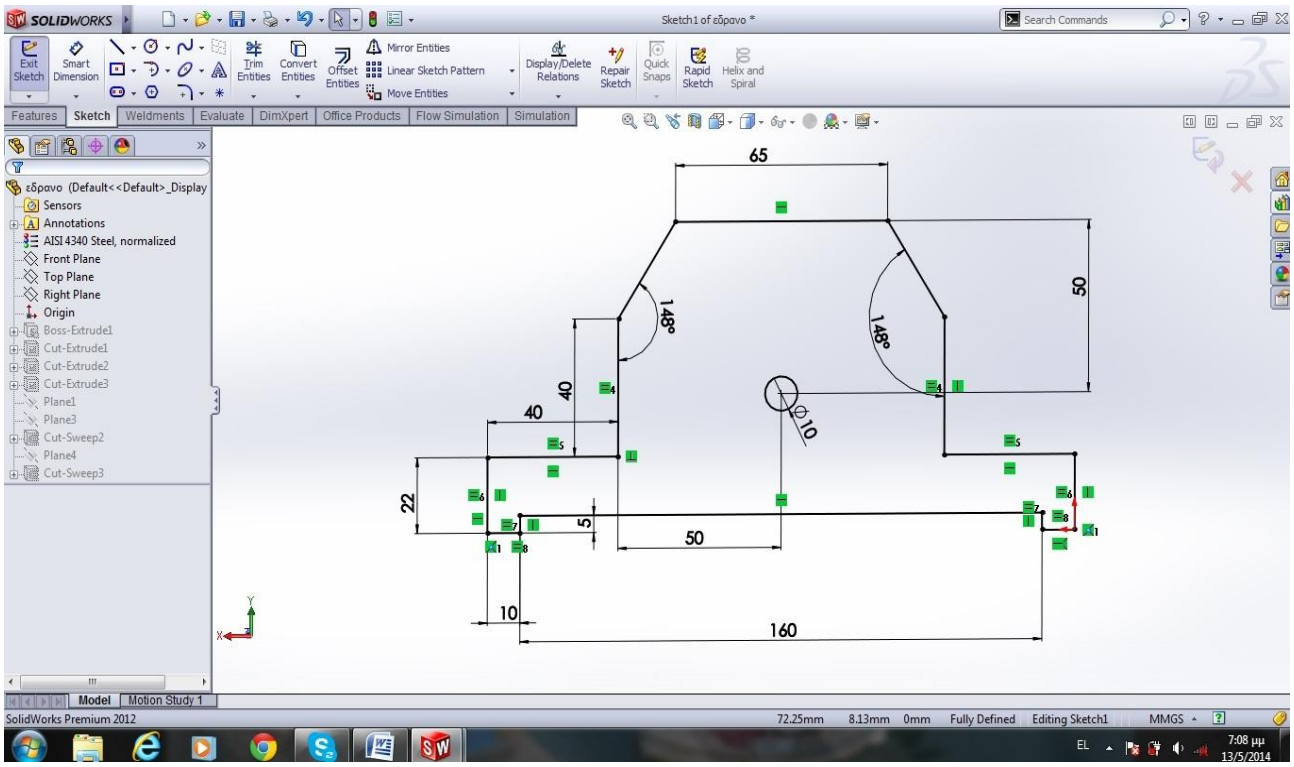
<u>Σχεδιασμός:</u>



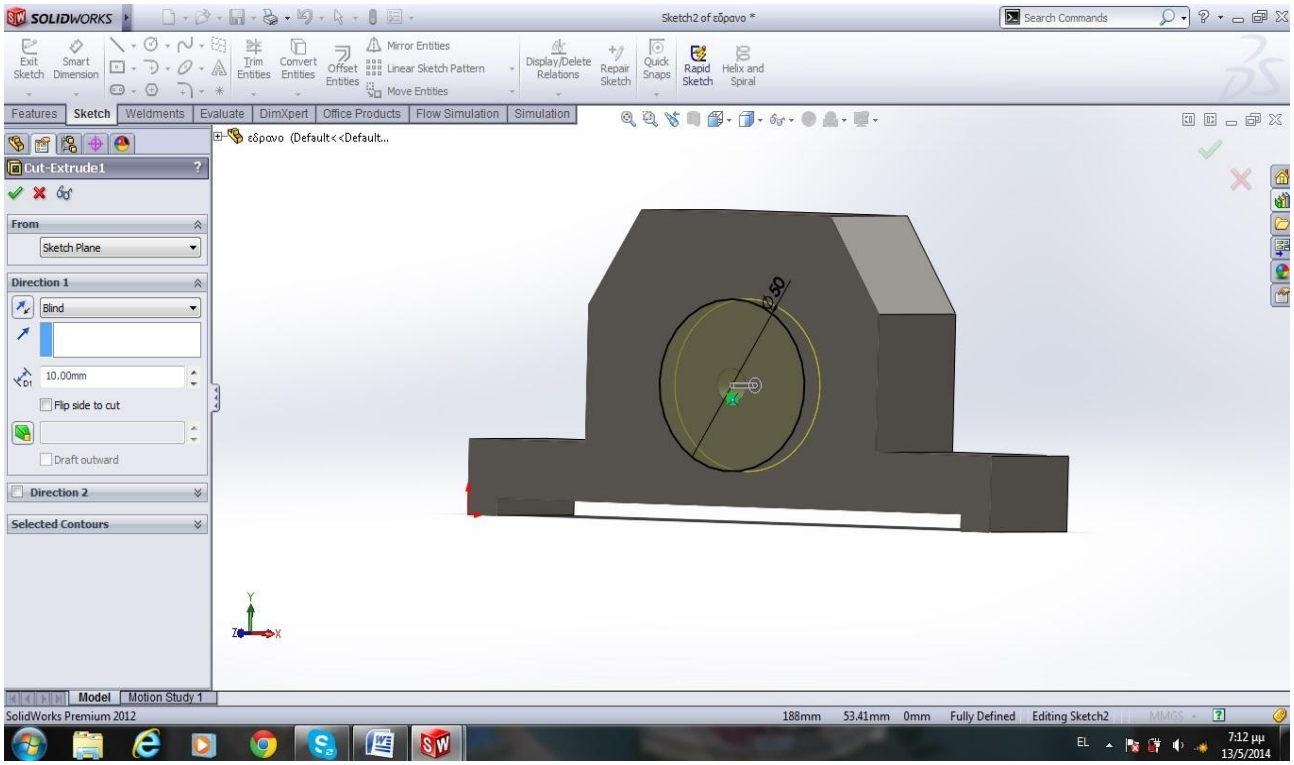
34. Έδρανα

<u>Σχεδιασμός:</u>

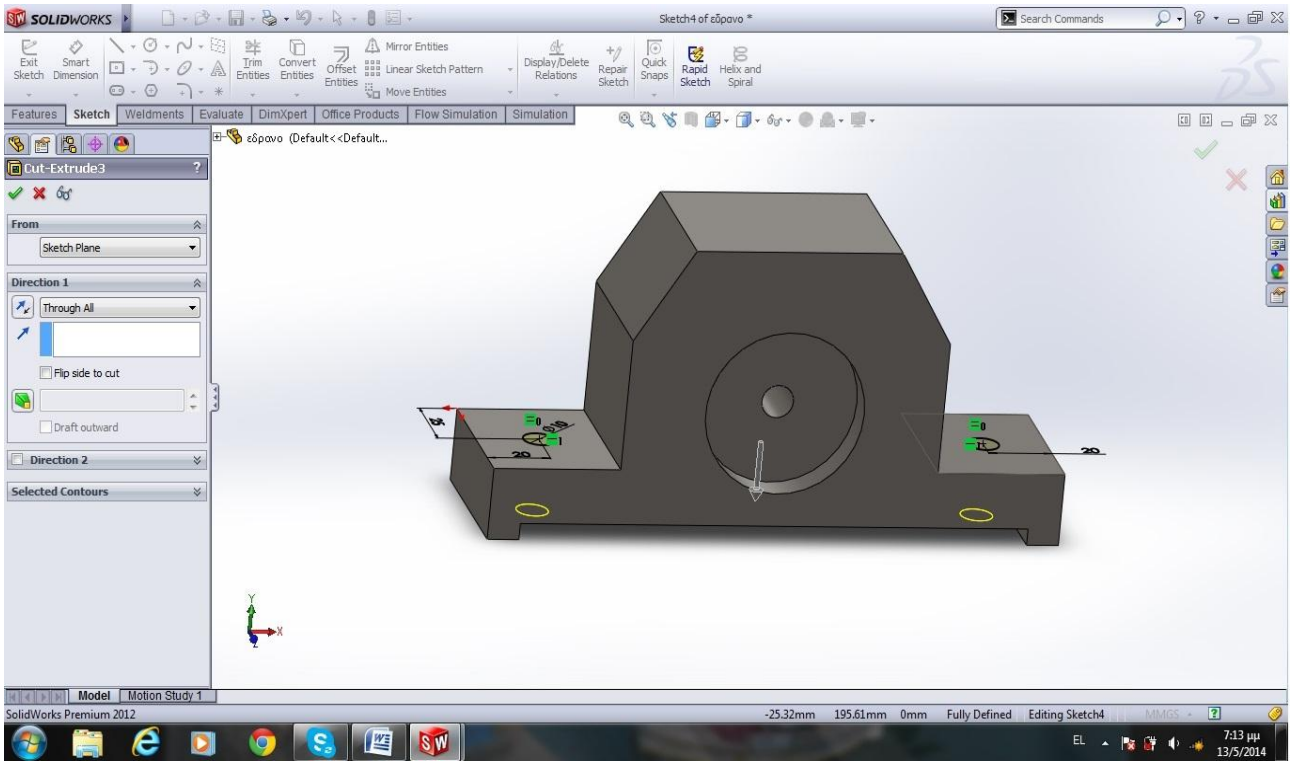
Με πάχος 50mm.



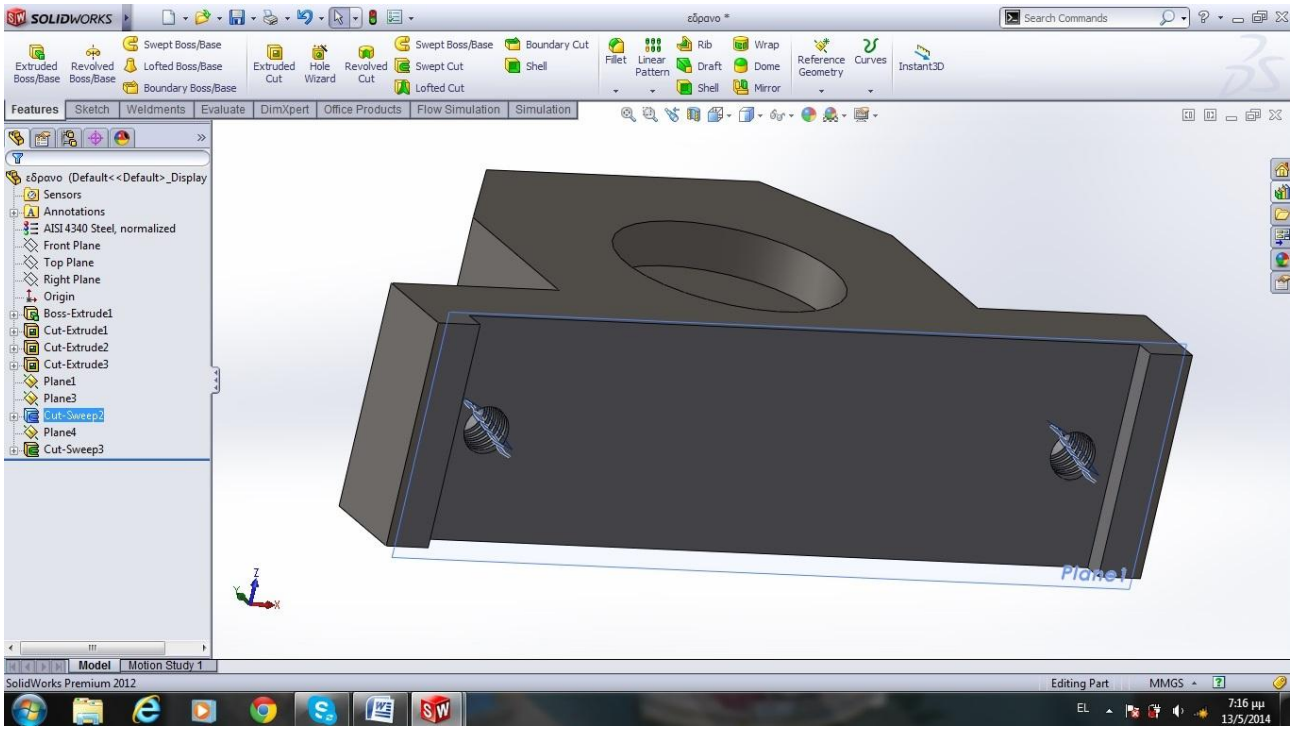
Αφού έχουμε το σχέδιο το κάνουμε τρισδιάστατο και ξεκινάμε τα κοψίματα όπως ξέρουμε. Στην παρακάτω εικόνα κάνουμε 2 εσωτερικές κυκλικές κοπές με το Extruded cut μια από κάθε πλευρά.



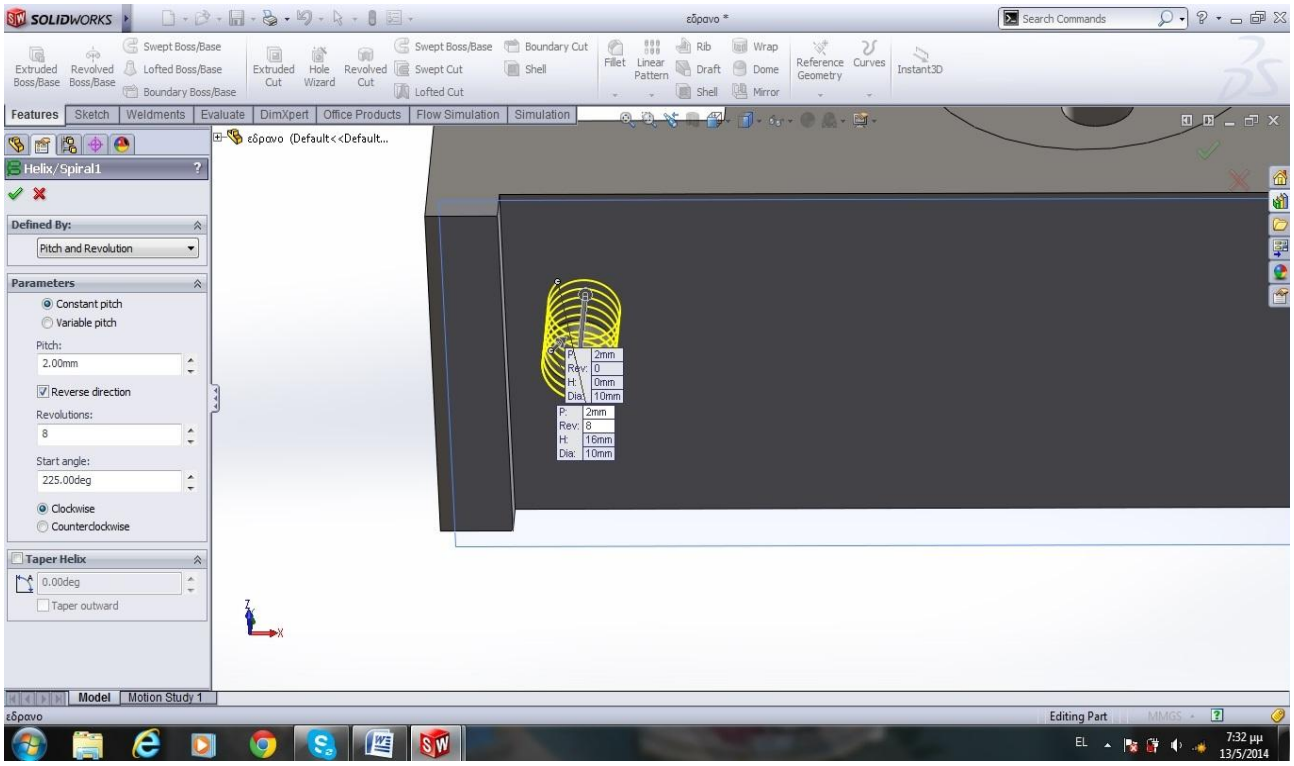
Ανοίγουμε 2 τρύπες όπως φαίνεται παρακάτω.



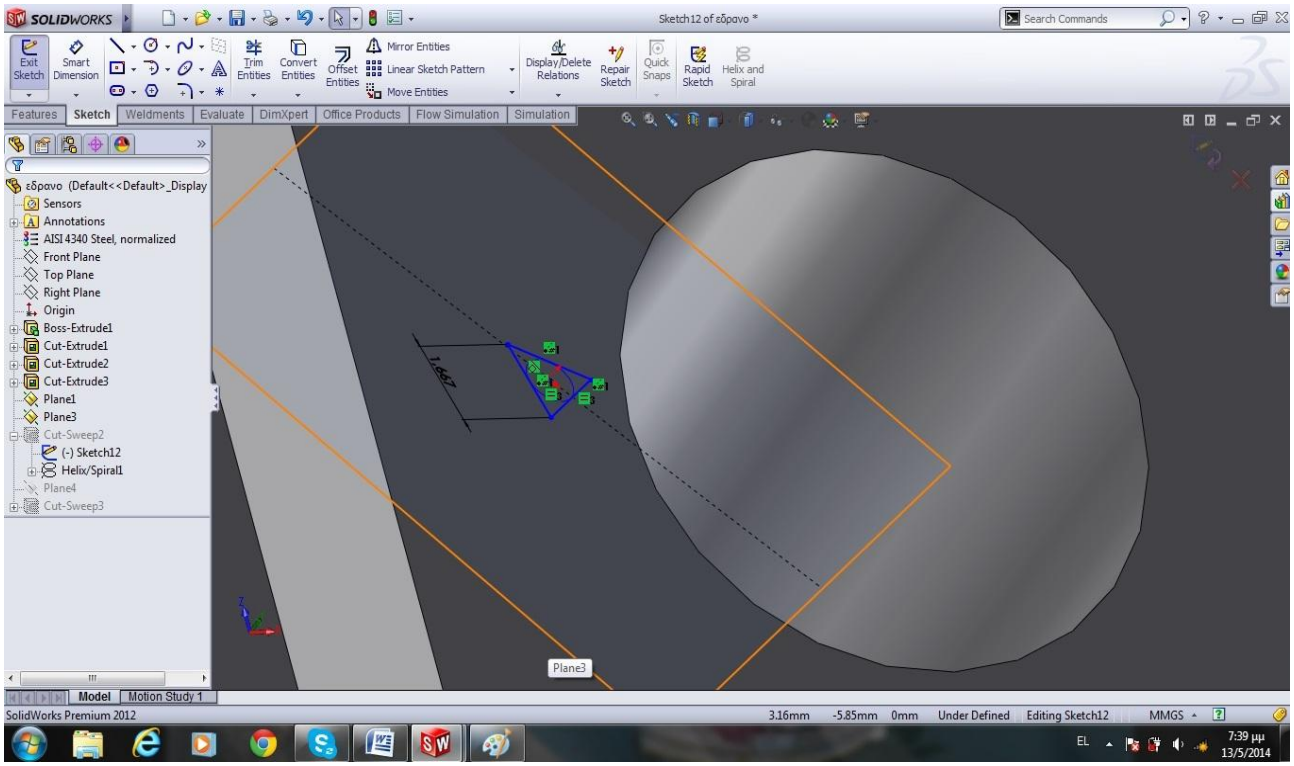
Μετά θα φτιάξουμε τα σπειρώματα και θα εξηγήσουμε πως έγιναν.



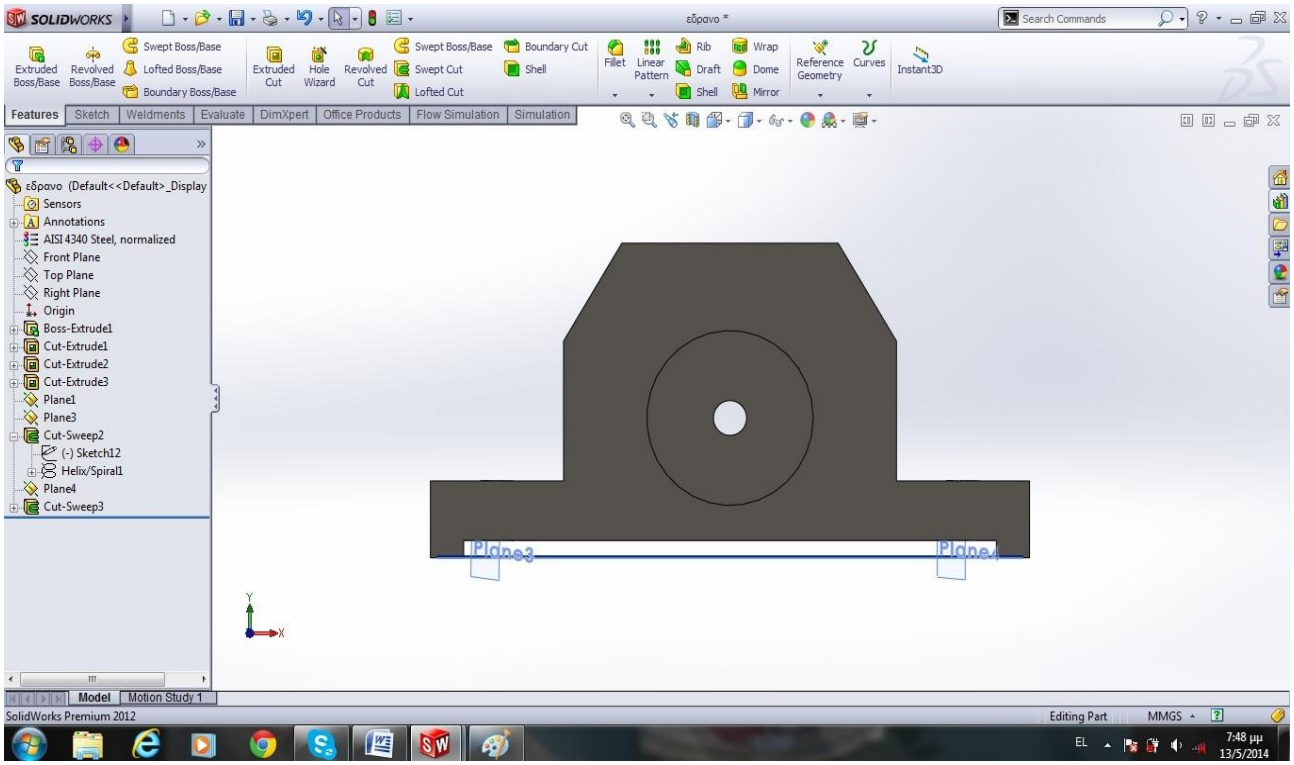
Πρώτα από όλα σχεδιάζουμε ένα Plane σε κάποια απόσταση από την επιφάνεια της τρύπας, αυτή εδώ είναι η απόσταση μέχρι τα ποδαράκια. Σχεδιάζουμε ένα κύκλο στο Plane 1 ,πηγαίνουμε στην εντολή **Helix and Spiral** και το σχεδιάζουμε.



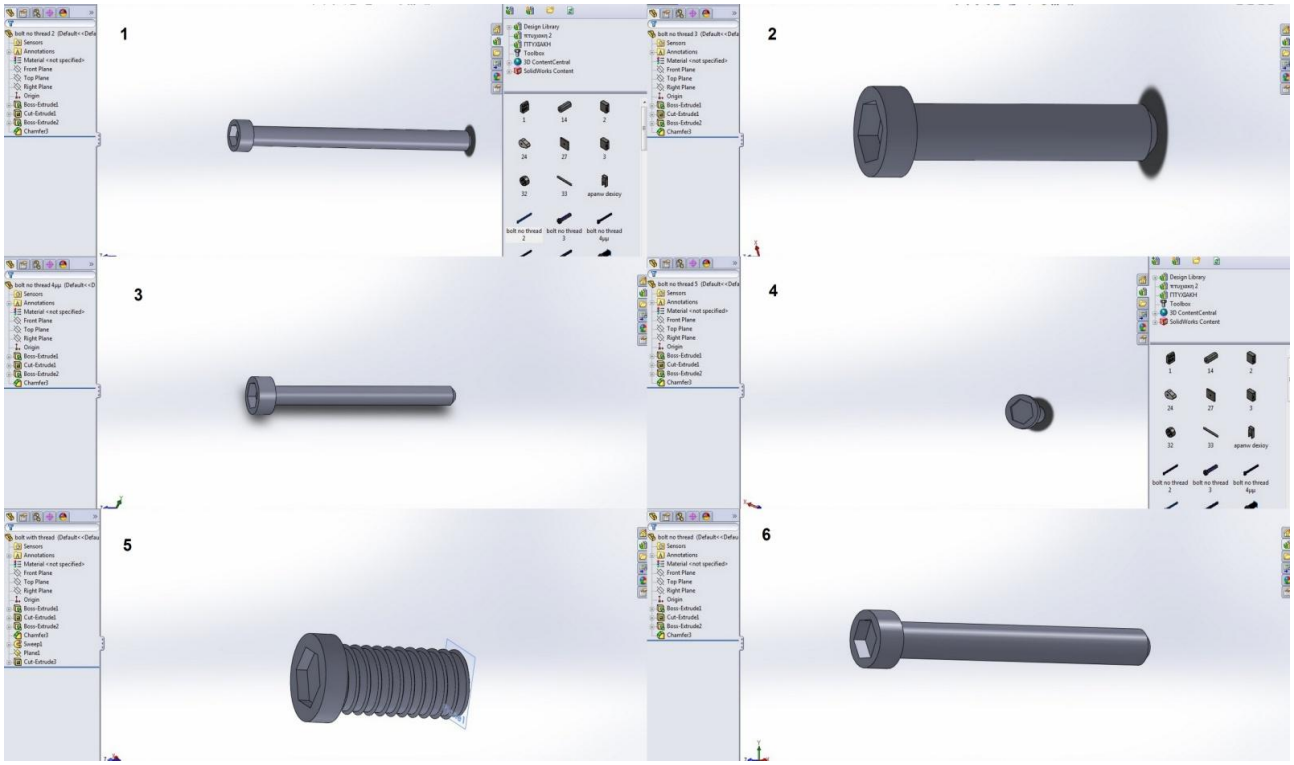
Στη συνέχεια πάμε στην μία άκρη και στο σημείο πάνω φτιάχνουμε ένα κάθετο πλάνο , πάνω σε αυτό σχεδιάζω ένα τρίγωνο όπως φαίνεται από κάτω.



Τέλος χρησιμοποιούμε με τη βοήθεια μίας πλευράς του τριγώνου και της γραμμής (το σώμα του σπειρώματος) που μας έκανε η εντολή **Helix and Spiral ,** την εντολή **Swept cut** για να μας φτιάξει το σπείρωμα που φαίνεται σε προηγούμενη εικόνα. Το εξάρτημα μας είναι έτοιμο!.



35. Στην επόμενη σελίδα θα δούμε **τις βίδες** πού βάλαμε στο μηχάνημα μας:



1. Bolt no thread 2

Διάμετρο κεφαλής: 8 mm Πάχος κεφαλής: 4 mm Διάμετρο κορμού: 5 mm Μήκος κορμού: 64 mm

2. Bolt no thread 3

Διάμετρο κεφαλής: 8 mm Πάχος κεφαλής: 3 mm Διάμετρο κορμού: 5 mm Μήκος κορμού: 25 mm

3. Bolt no thread 4mm

Διάμετρο κεφαλής: 8 mm Πάχος κεφαλής: 4 mm Διάμετρο κορμού: 4 mm Μήκος κορμού: 44 mm

4. Bolt no thread 5

Διάμετρο κεφαλής: 4 mm Πάχος κεφαλής: 4 mm Διάμετρο κορμού: 2 mm Μήκος κορμού: 23 mm

5. Bolt with thread

Διάμετρο κεφαλής:14 mm Πάχος κεφαλής: 4 mm Διάμετρο κορμού:10 mm Μήκος κορμού: 24 mm

6. Bolt no thread

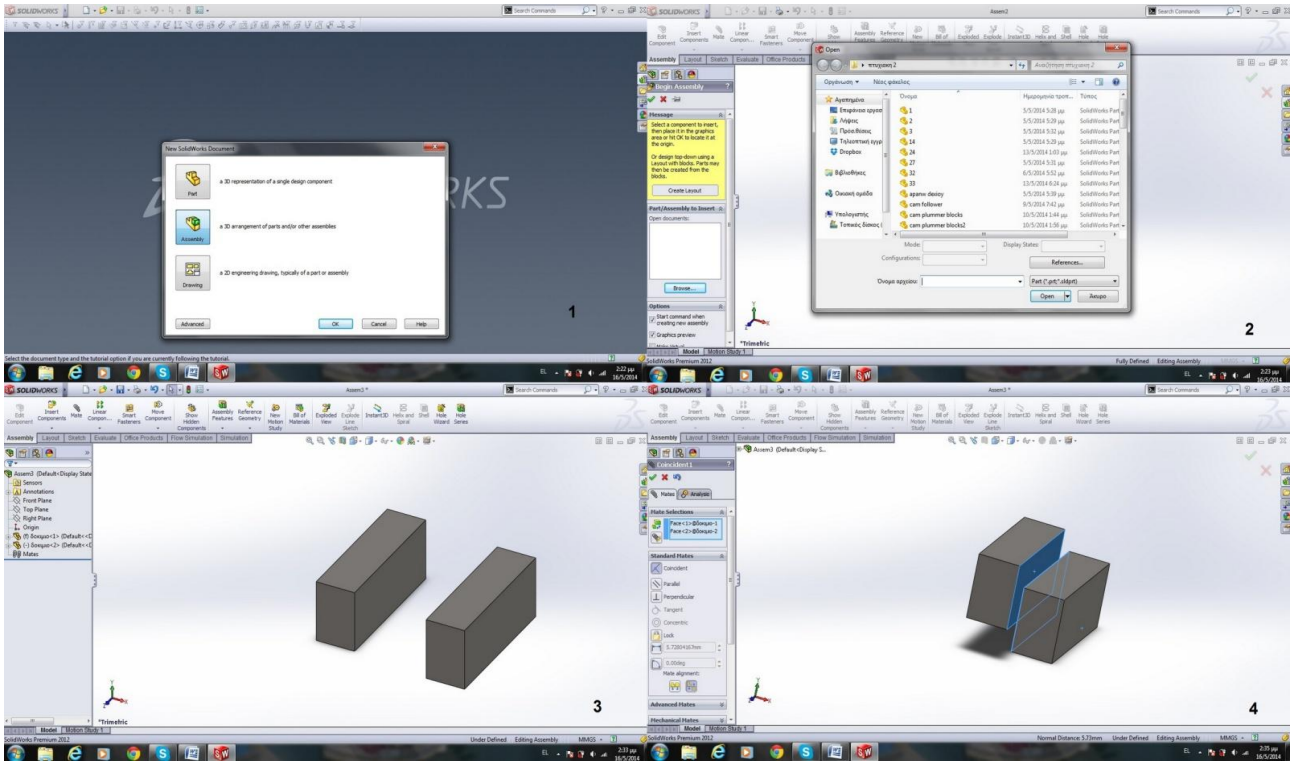
Διάμετρο κεφαλής: 8 mm Πάχος κεφαλής: 4 mm Διάμετρο κορμού: 5 mm Μήκος κορμού: 44 mm

7. Assembly

Το Assembly ουσιαστικά είναι όταν συνδέεις ένα ένα ή περισσότερα κομμάτια με ένα άλλο/α για να φτιάξεις το τελικό σ εξάρτημα . Αυτό γίνεται με τη βοήθεια των mates και θα δούμε στη συνέχεια πως γίνεται αυτό.

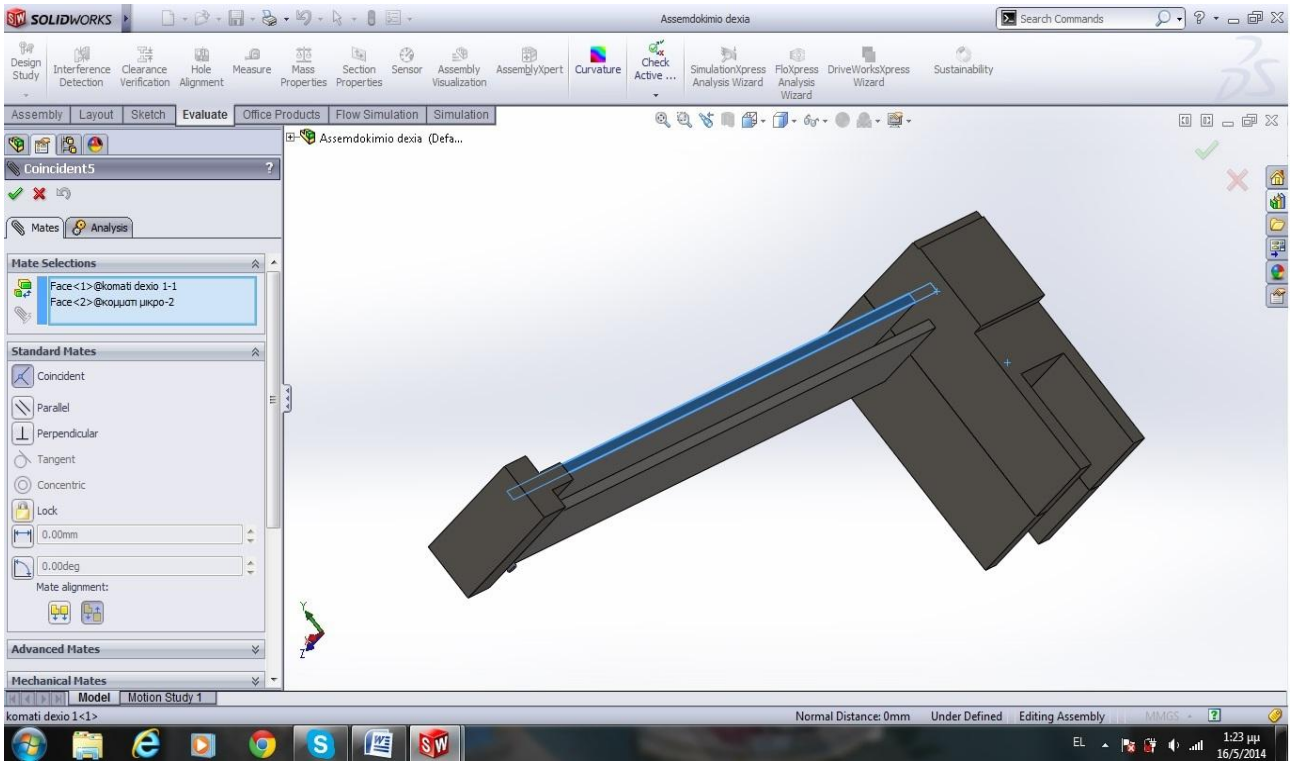
Διαδικασία:

Πάμε **new assembly** , μας βάζει στην επιφάνεια των assemblies και στην καρτέλα αριστερά **Begin assemby→browse** και εισάγουμε ένα αντικείμενο , μπορούμε επίσης να το εισάγουμε σέρνοντας το στην επιφάνεια από την καρτέλα δεξιά που έχουμε όλα τα κομμάτια μας. Μέτα θα εισάγουμε και ένα δεύτερο μία φορά ή περισσότερες , πάμε στην καρτέλα **Features→mates** επιλέγουμε τις επιφάνειες/ ακμές ή γραμμές και τις ενώνουμε με mates επιφανειών για να καθορίσουμε το σχήμα μας. Θα δούμε από κάτω εικονικά τη διαδικασία ενός παραδείγματος με σειρά αρίθμησης.

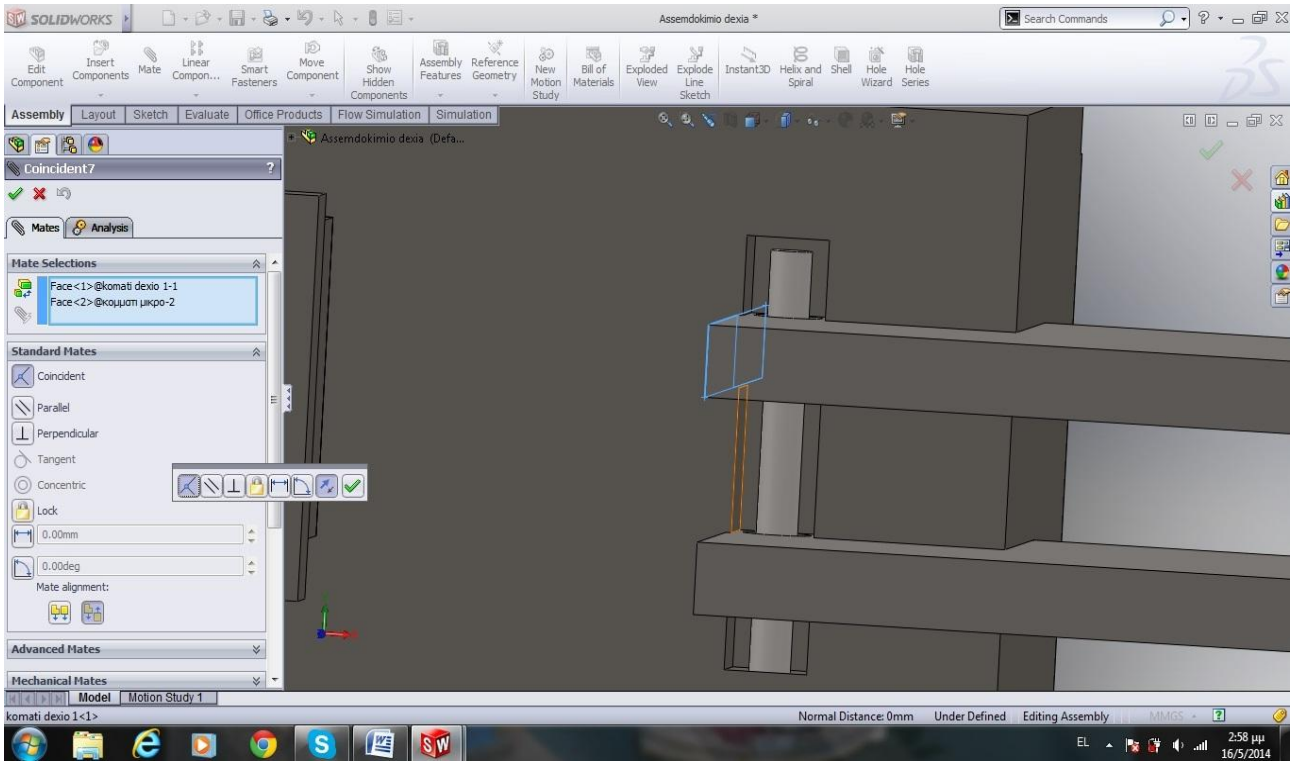


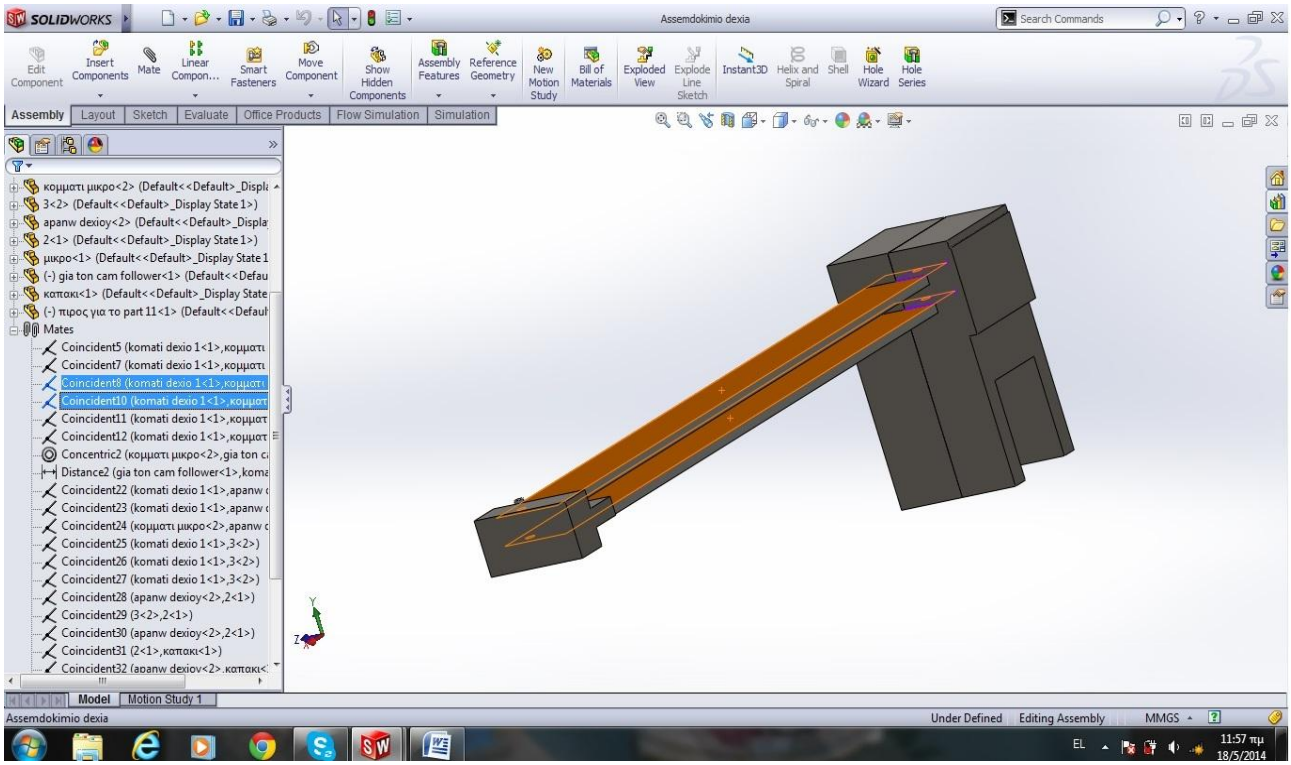
1. **Στο εξάρτημα 9 (assemdokimio dexia) τσόκ ταλάντωσης έχουμε τα mates:**

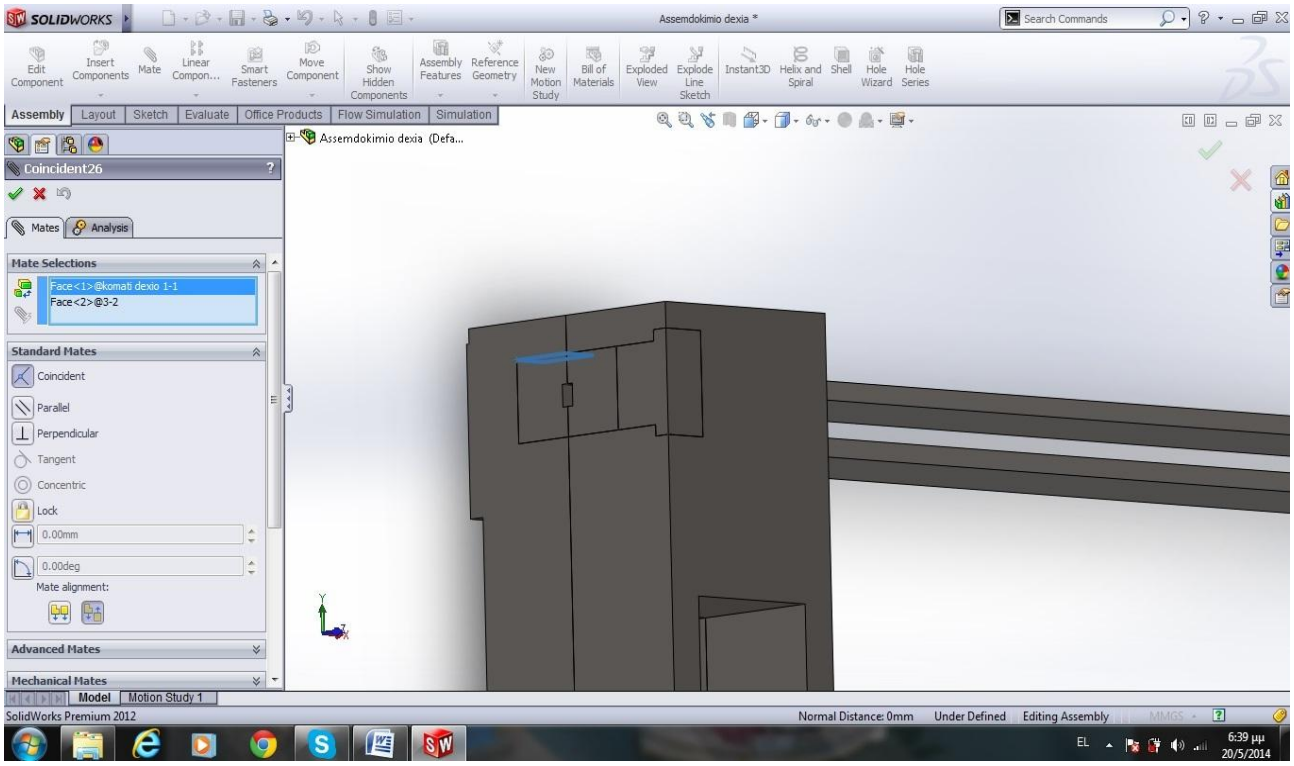
Η δεξιά πλευρά της δοκού που φαίνεται με μπλε χρώμα συνδέεται με τη εσωτερική επιφάνεια του κάτω κομματιού. Όπως έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο παράδειγμα , εισάγουμε το κάτω κομμάτι στη συνέχεια εισάγουμε και την δοκό και ενώνουμε τις επιφάνειες.



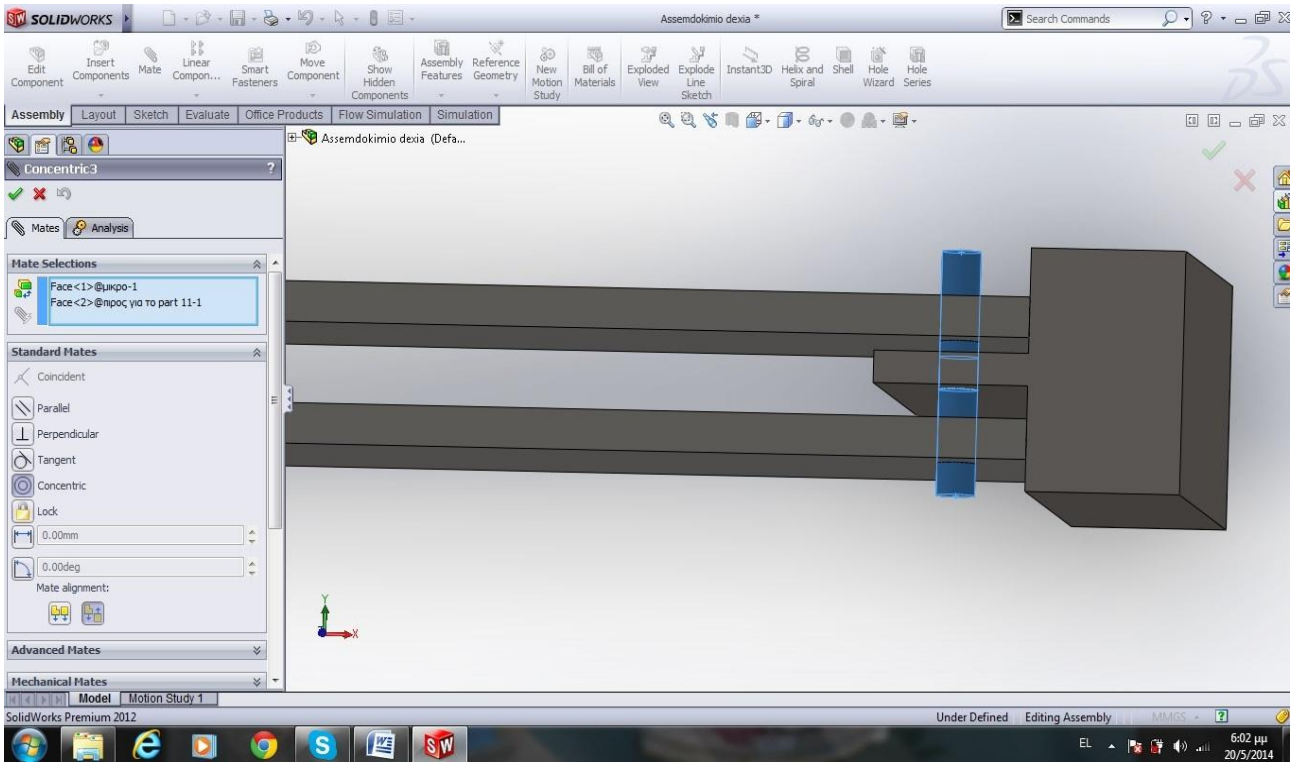
Ένωση της επιφάνειας της δοκού με την εσωτερική επιφάνεια του τσοκ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.


SOLIDWORKS
Assemdokimio dexia *
Search Commands
Edit Component
Insert Components
Mate
Linear Compon...
Smart Fasteners
Move Component
Show Hidden Components
Assembly Features
Reference Geometry
New Motion Study
Bill of Materials
Exploded View
Explode Line Sketch
Instant3D
Helix and Spiral
Shell
Hole Wizard
Hole Series
Assembly
Layout
Sketch
Evaluate
Office Products
Flow Simulation
Simulation
Coincident7
Mates
Analysis
Mate Selections
Face<1>@komati dexio 1-1
Face<2>@κομματι μικρο-2
Standard Mates
Coincident
Parallel
Perpendicular
Tangent
Concentric
Lock
0.00mm
0.00deg
Mate alignment:
Advanced Mates
Mechanical Mates
Assemdokimio dexia (Defa...
Model
Motion Study 1
komati dexio 1<1>
Normal Distance: 0mm
Under Defined
Editing Assembly
MMGS
EL
2:58 μμ
16/5/2014

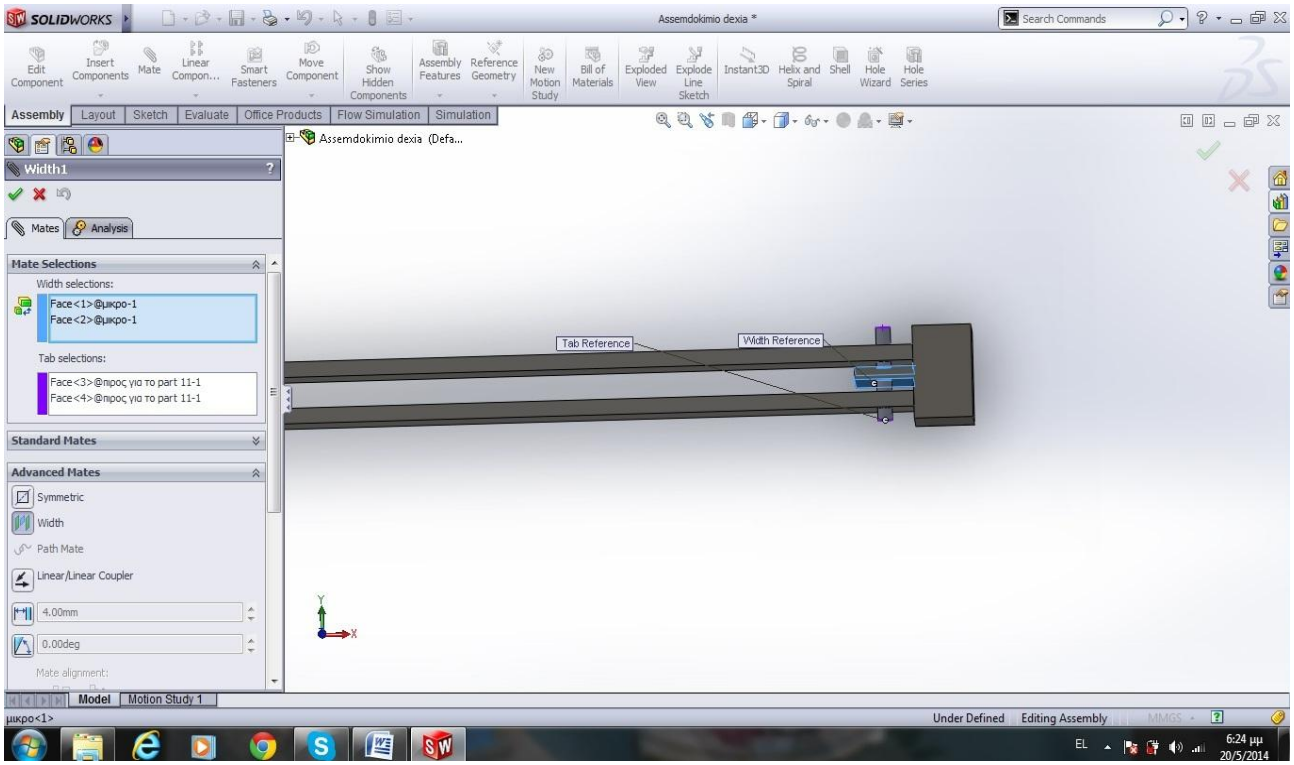

SOLIDWORKS
Assemdokimio dexia
Search Commands
Edit Component
Insert Components
Mate
Linear Compon...
Smart Fasteners
Move Component
Show Hidden Components
Assembly Features
Reference Geometry
New Motion Study
Bill of Materials
Exploded View
Explode Line Sketch
Instant3D
Helix and Spiral
Shell
Hole Wizard
Hole Series
Assembly
Layout
Sketch
Evaluate
Office Products
Flow Simulation
Simulation
κομματι μικρο<2> (Default<<Default>_Displ
3<2> (Default<<Default>_Display State 1>)
apanw dexioy<2> (Default<<Default>_Displa
2<1> (Default<<Default>_Display State 1>)
μικρο<1> (Default<<Default>_Display State 1
(-) gia ton cam follower<1> (Default<<Defau
καπακι<1> (Default<<Default>_Display State
(-) πιρος για το part 11<1> (Default<<Defaul
Mates
Coincident5 (komati dexio 1<1>,κομματι
Coincident7 (komati dexio 1<1>,κομματι
Coincident8 (komati dexio 1<1>,κομματι
Coincident10 (komati dexio 1<1>,κομματ
Coincident11 (komati dexio 1<1>,κομματ
Coincident12 (komati dexio 1<1>,κομματ
Concentric2 (κομματι μικρο<2>,gia ton c
Distance2 (gia ton cam follower<1>,koma
Coincident22 (komati dexio 1<1>,apanw
Coincident23 (komati dexio 1<1>,apanw
Coincident24 (κομματι μικρο<2>,apanw
Coincident25 (komati dexio 1<1>,3<2>)
Coincident26 (komati dexio 1<1>,3<2>)
Coincident27 (komati dexio 1<1>,3<2>)
Coincident28 (apanw dexioy<2>,2<1>)
Coincident29 (3<2>,2<1>)
Coincident30 (apanw dexioy<2>,2<1>)
Coincident31 (2<1>,καπακι<1>)
Coincident32 (apanw dexioy<2>,καπακι<
Model
Motion Study 1
Assemdokimio dexia
Under Defined
Editing Assembly
MMGS
EL
11:57 πμ
18/5/2014



Έτσι φτιάχνουμε τους συνδέσμους μεταξύ και των υπόλοιπων κομματιών αυτού του εξαρτήματος. Επειδή είναι πολλά mates ακόμα όμοια με αυτά ,θα συνεχίσω δείχνοντας σας πως γίνονται σε κύκλους.

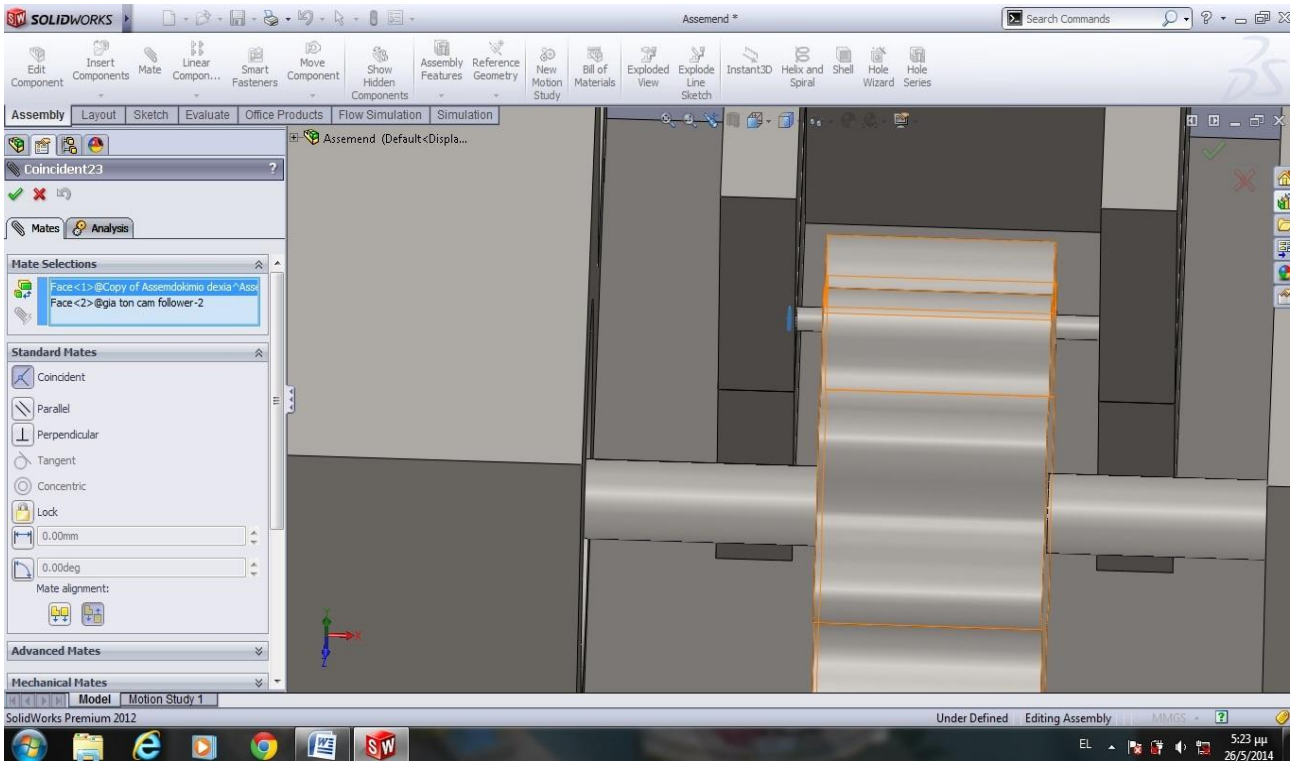


Εδώ κάνουμε mate ανάμεσα στο πίρο και στο μπλοκ , κλικάρουμε την επιφάνεια του πίρου (μπλε) και όποια από τις 3 εσωτερικές επιφάνειες θέλουμε. Φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ότι επέλεξα την επιφάνεια τρύπας του μπλοκ.

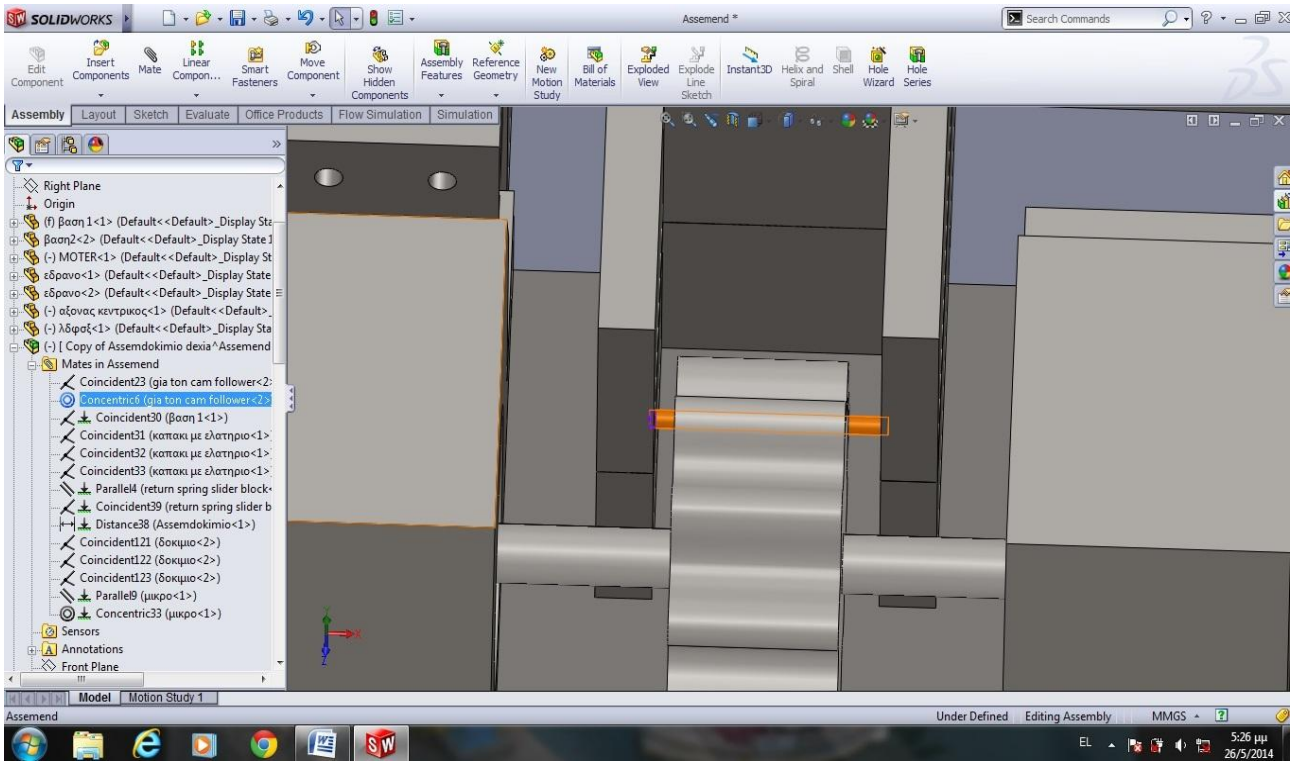


Τέλος σε αυτό το εξάρτημα θα δούμε και την εντολή **Width.** Αυτή η εντολή μας ωφελεί ώστε ο πίρος να μπει στη μέση του μπλοκ . Δηλαδή να ισομοιραστούν οι αποστάσεις. Στην εικόνα βλέπουμε ότι στο μπλε κουτί βάζουμε τις εξωτερικές επιφάνειες του μπλοκ (φαίνεται η μία με μπλε χρώμα) και στο μωβ κουτί βάζουμε τις επιφάνειες (άκρα) του πίρου.

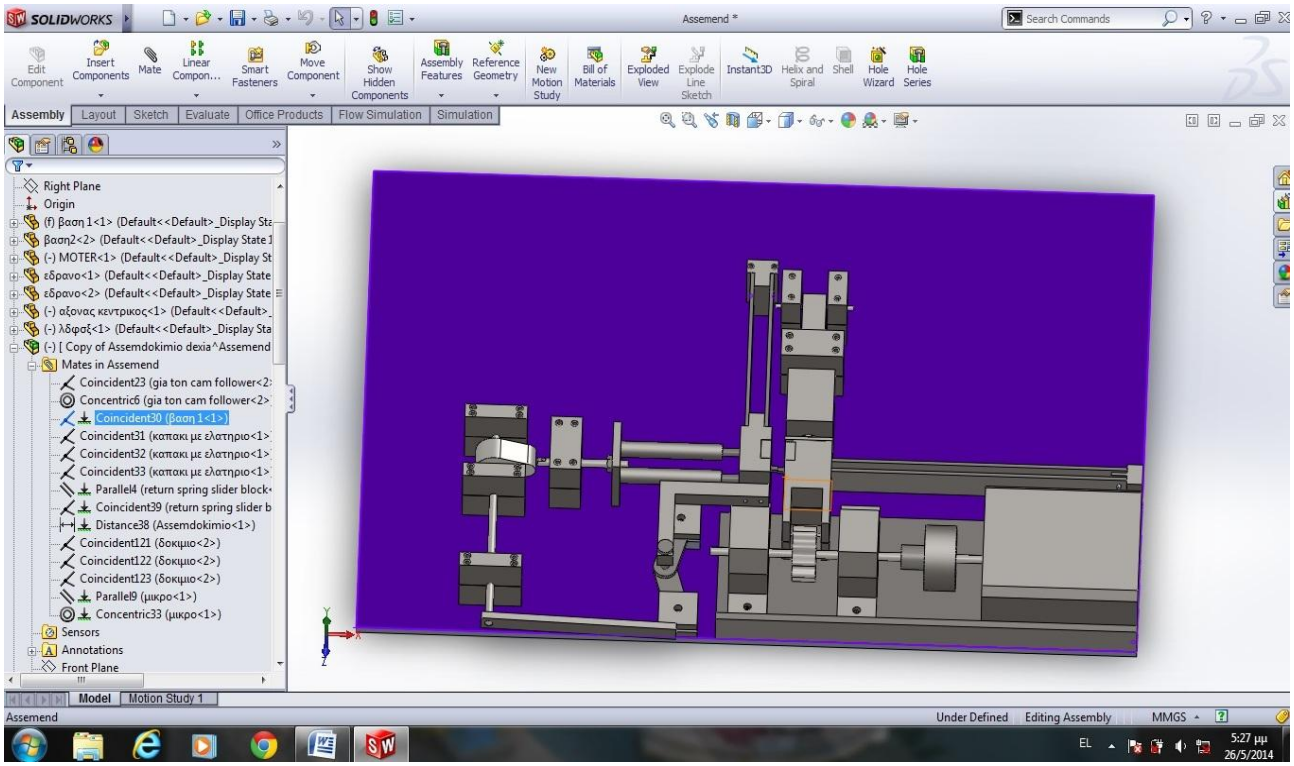
Mates in Assemend



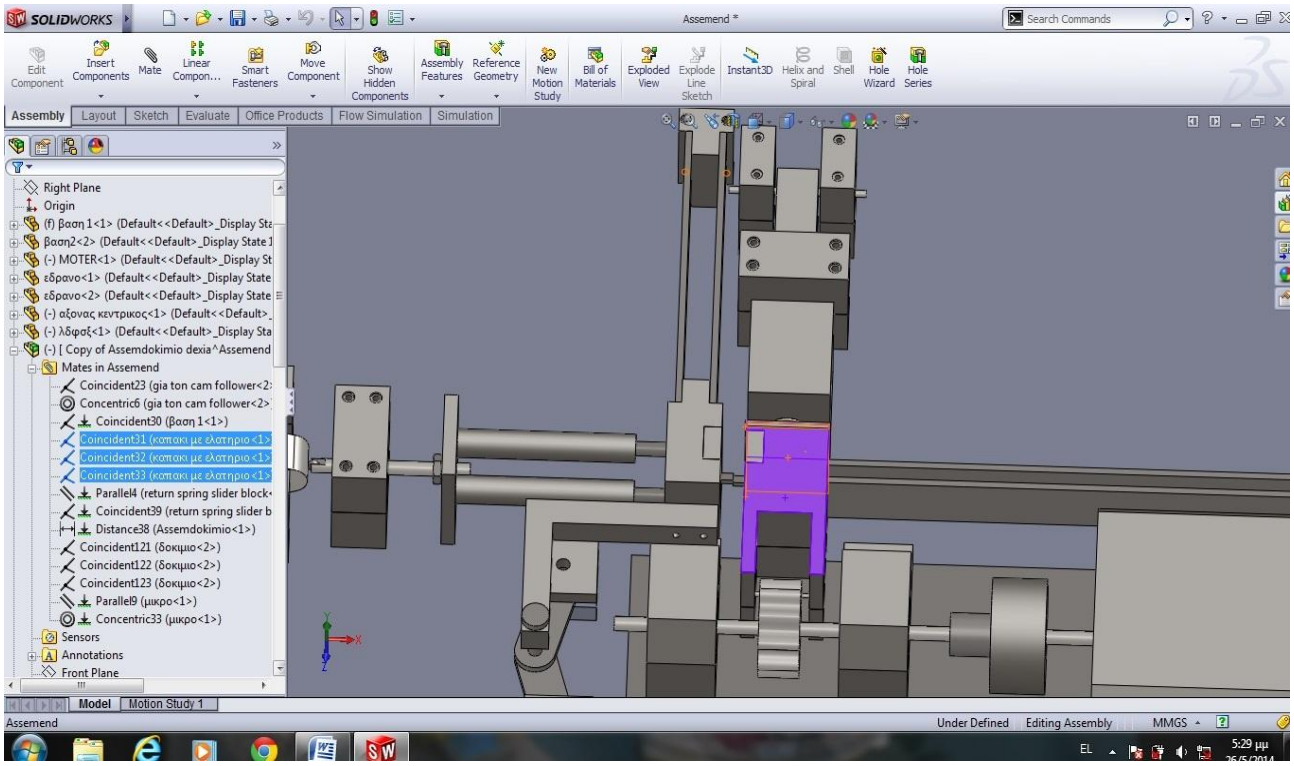
Για να γίνει αυτό το mate , πάμε στην καρτέλα mates και πατάμε την εσωτερική επιφάνεια που φαίνεται με μπλε χρώμα με την επιφάνεια της ράβδου. Έτσι τις ενώνουμε!!



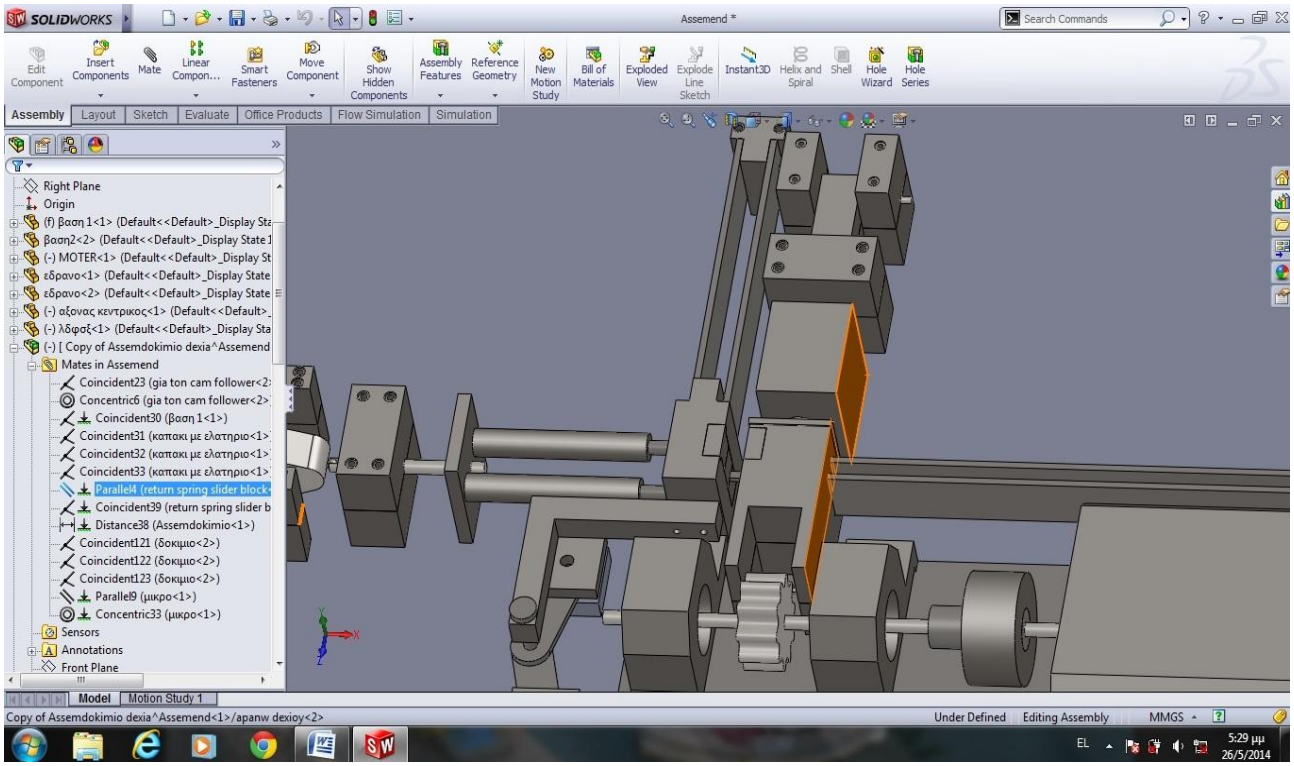
Και εδώ φαίνεται πως γίνεται η τοποθέτηση της μέσα στην εσοχή κάνοντας mate τις περιμέτρους,



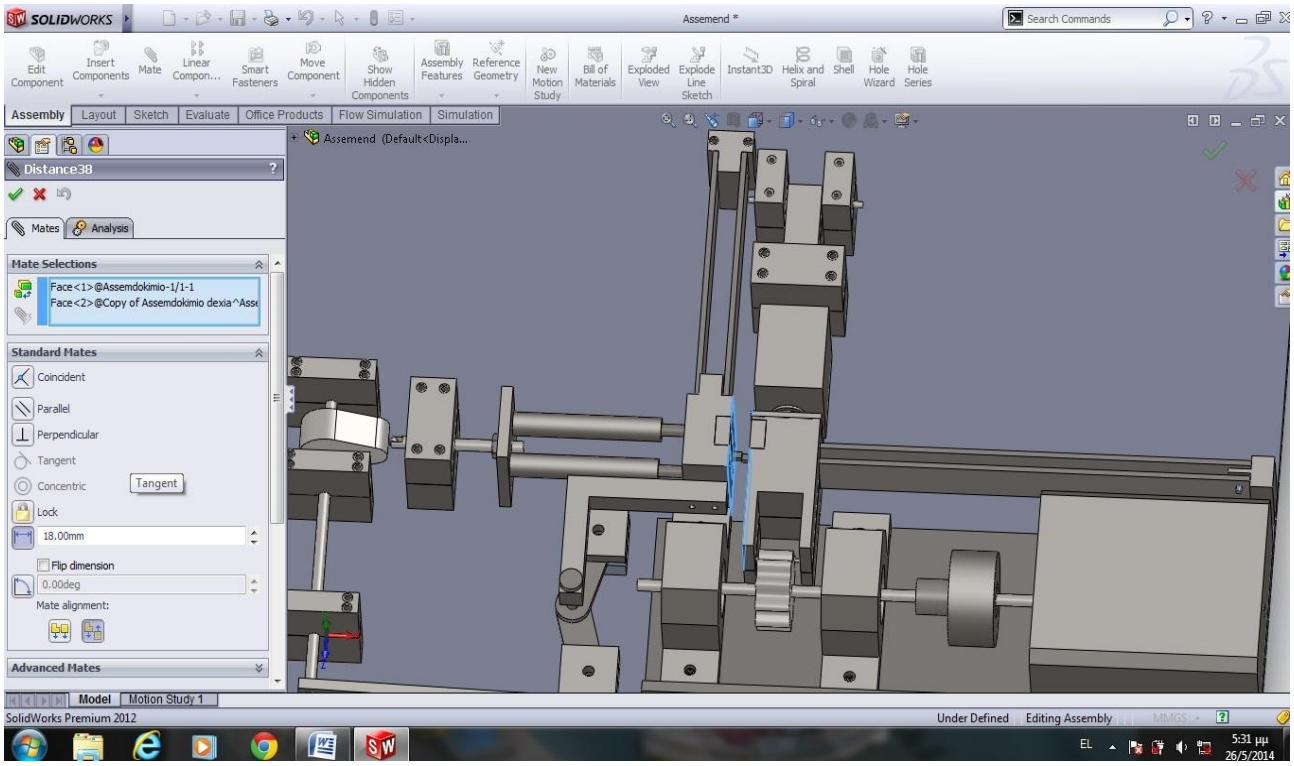
Εδώ ενώνουμε τις επιφάνειες της βάσης 1 (μωβ) με την κάτω επιφάνεια του τσοκ ταλάντωσης.



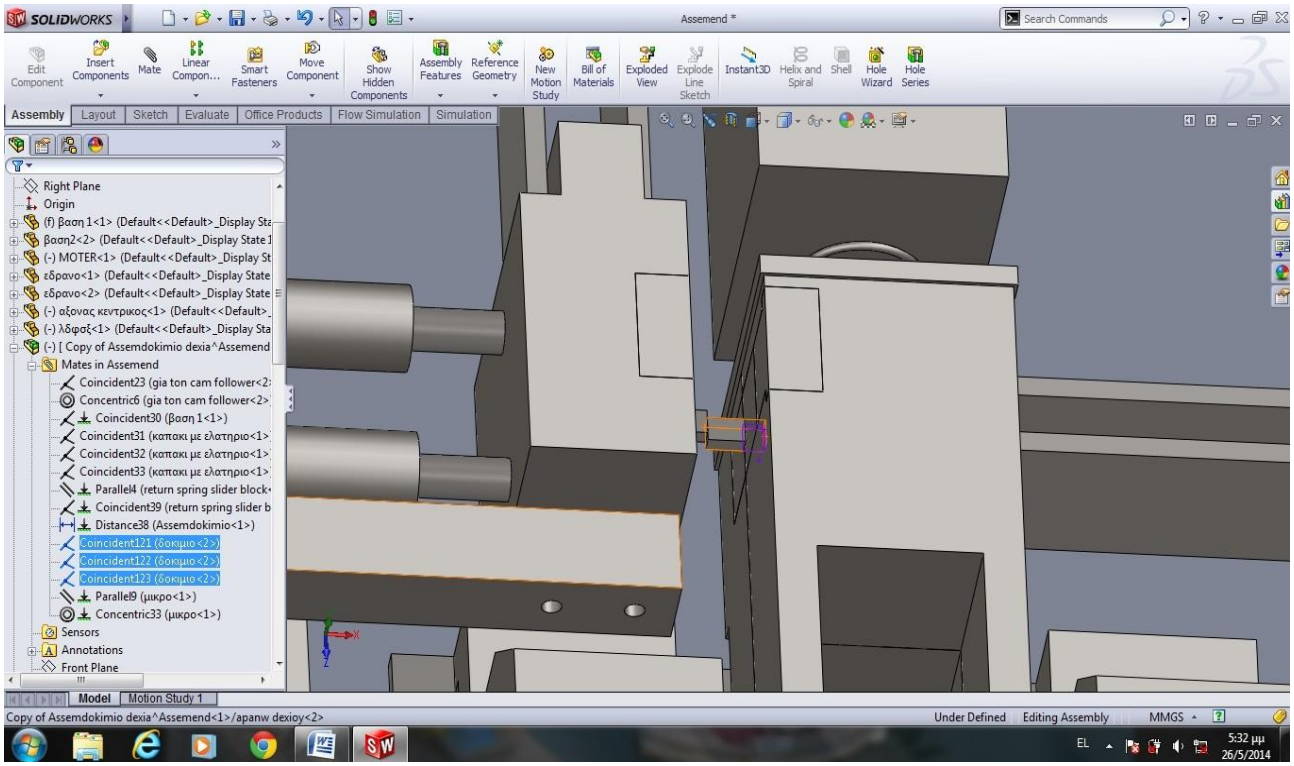
Στα αριστερά βλέπουμε την καρτέλα με τα mates και τα 3 χρωματισμένα είναι οι περιορισμοί ή οι ενώσεις του τσοκ ταλάντωσης με το καπάκι του ελατηρίου.



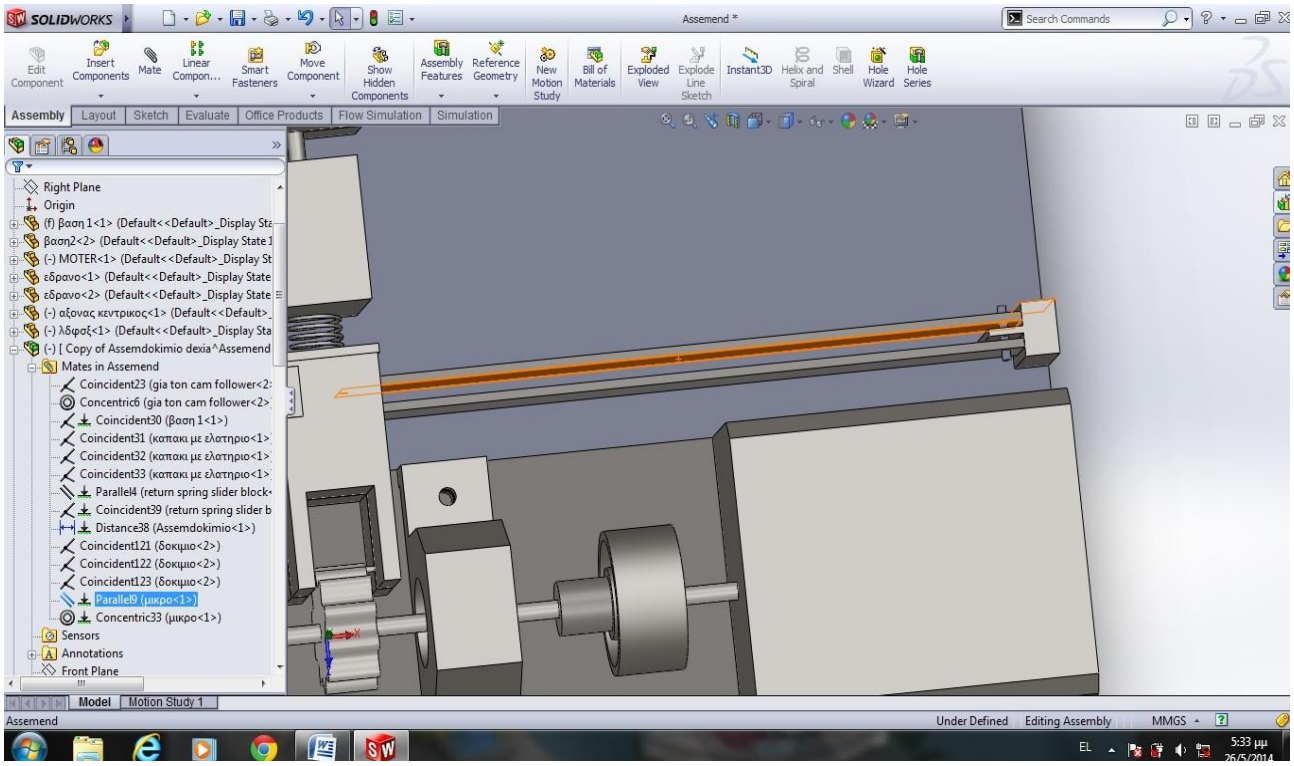
Σε αυτό το mate δώσαμε αυτές τις επιφάνειες παράλληλες για να έρθουν στην ίδια ευθεία.



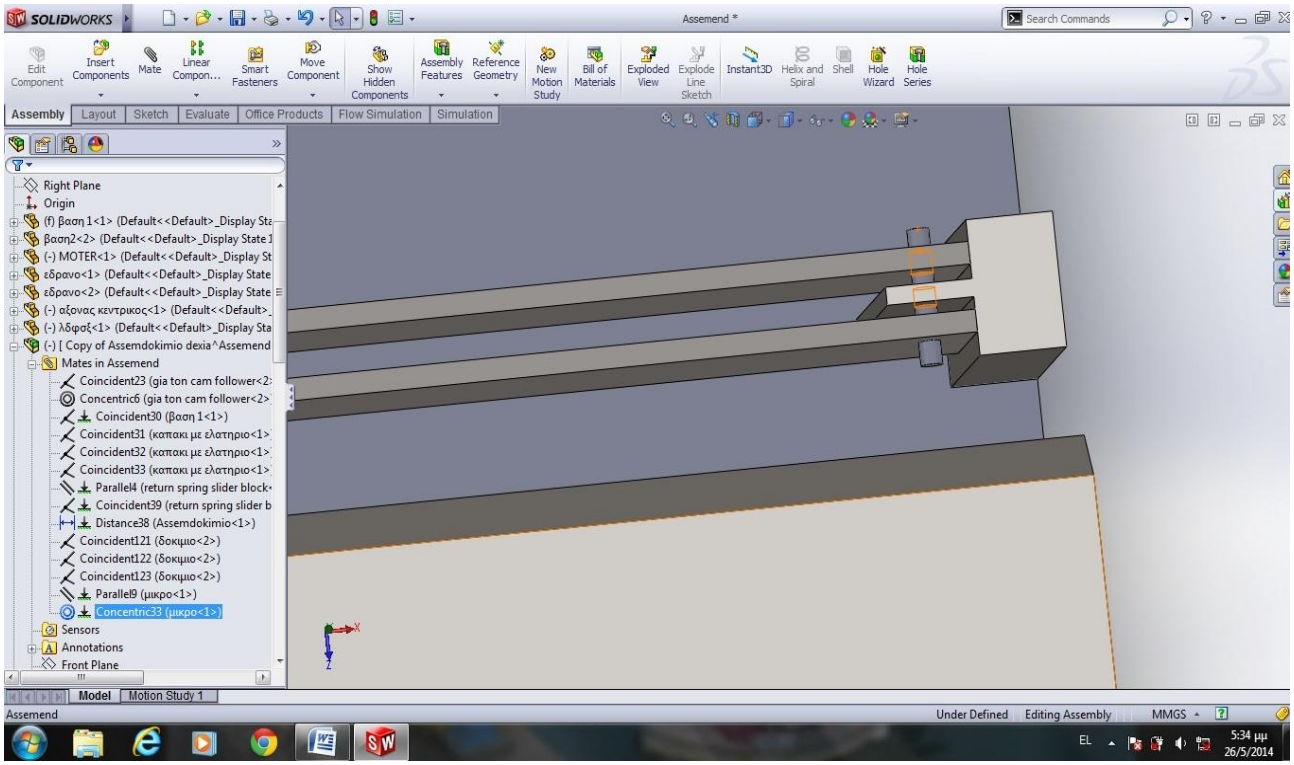
Βλέπουμε ότι έχουμε 2 «μπλε» επιφάνειες και τις δίνουμε τον περιορισμό ή το mate της απόστασης, δηλαδή ότι πρέπει να έχουν 18mm απόσταση μεταξύ τους.



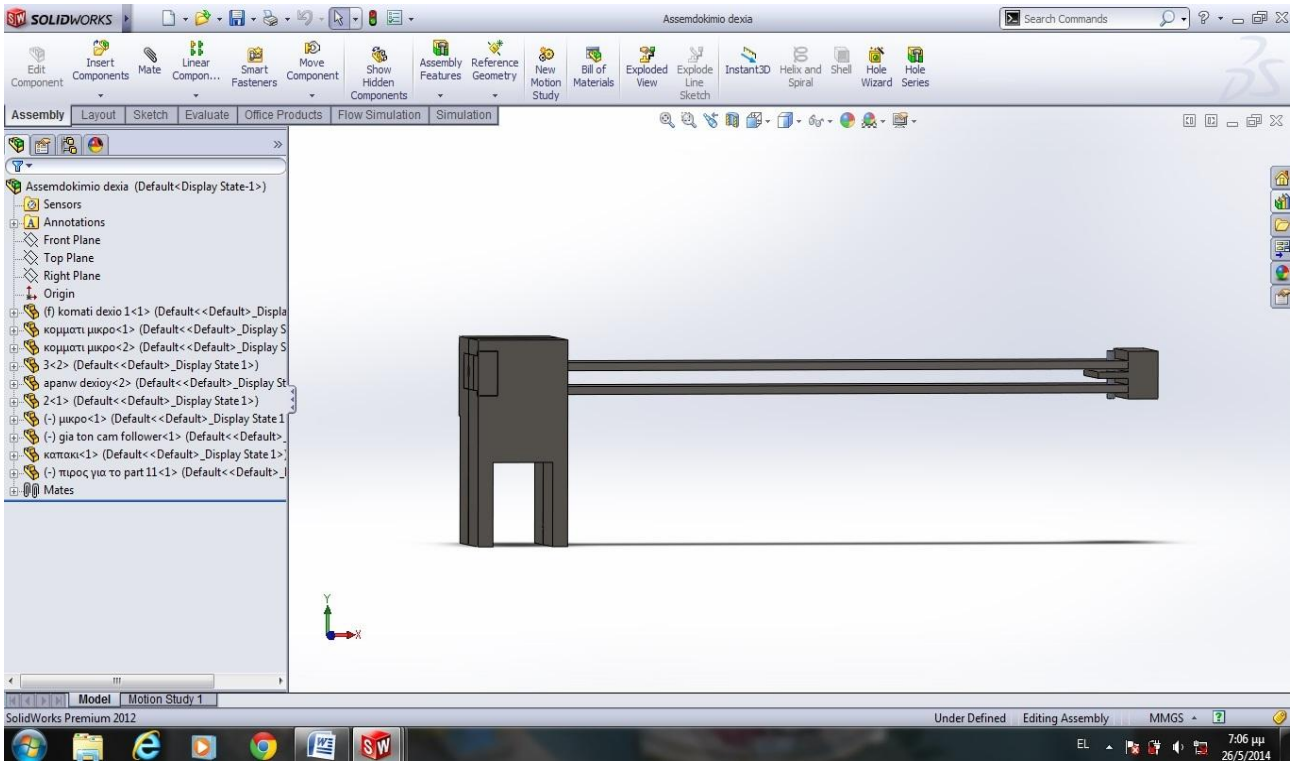
Εδώ στα 3 αυτά mates τα χρησιμοποιούμαι για να ορίσουμε τη θέση του δοκιμίου.



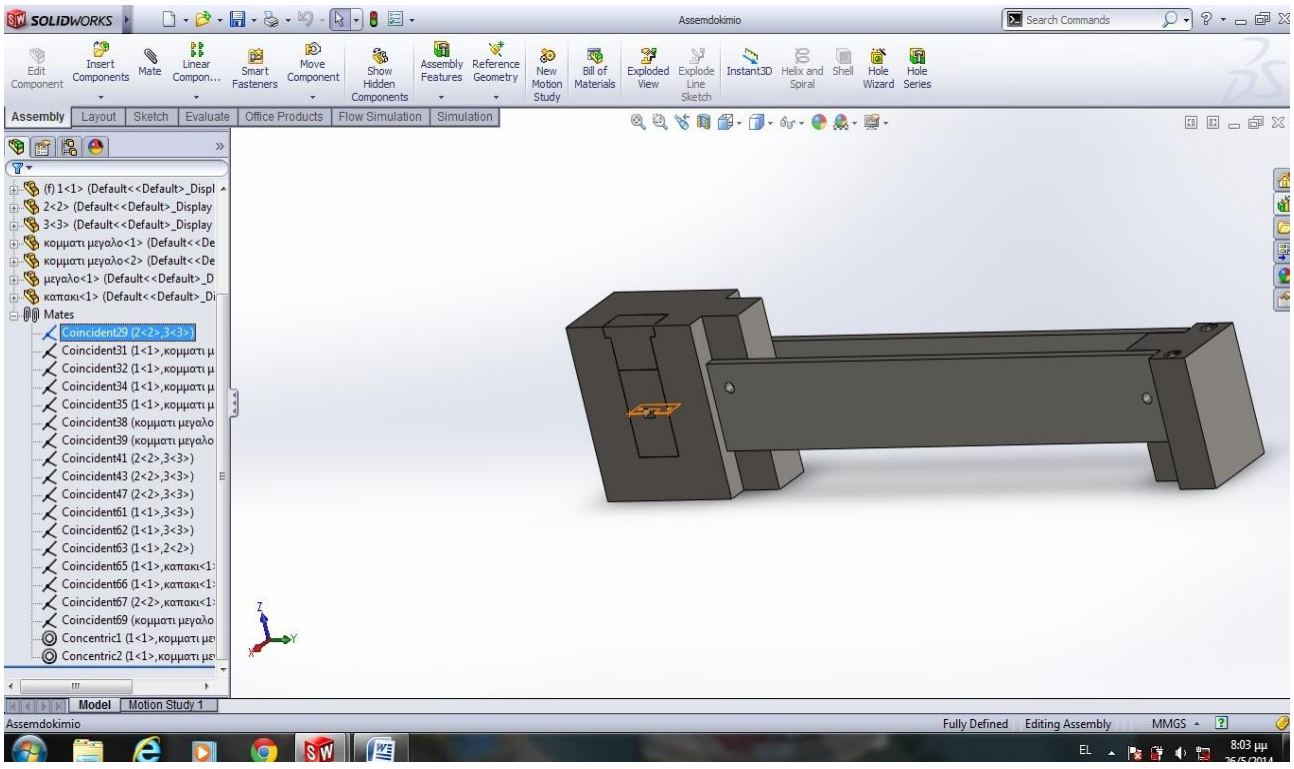
Δίνουμε παραλληλία στην επιφάνεια με πορτοκαλί χρώμα και στην πλάγια επιφάνεια του μπλόκ.



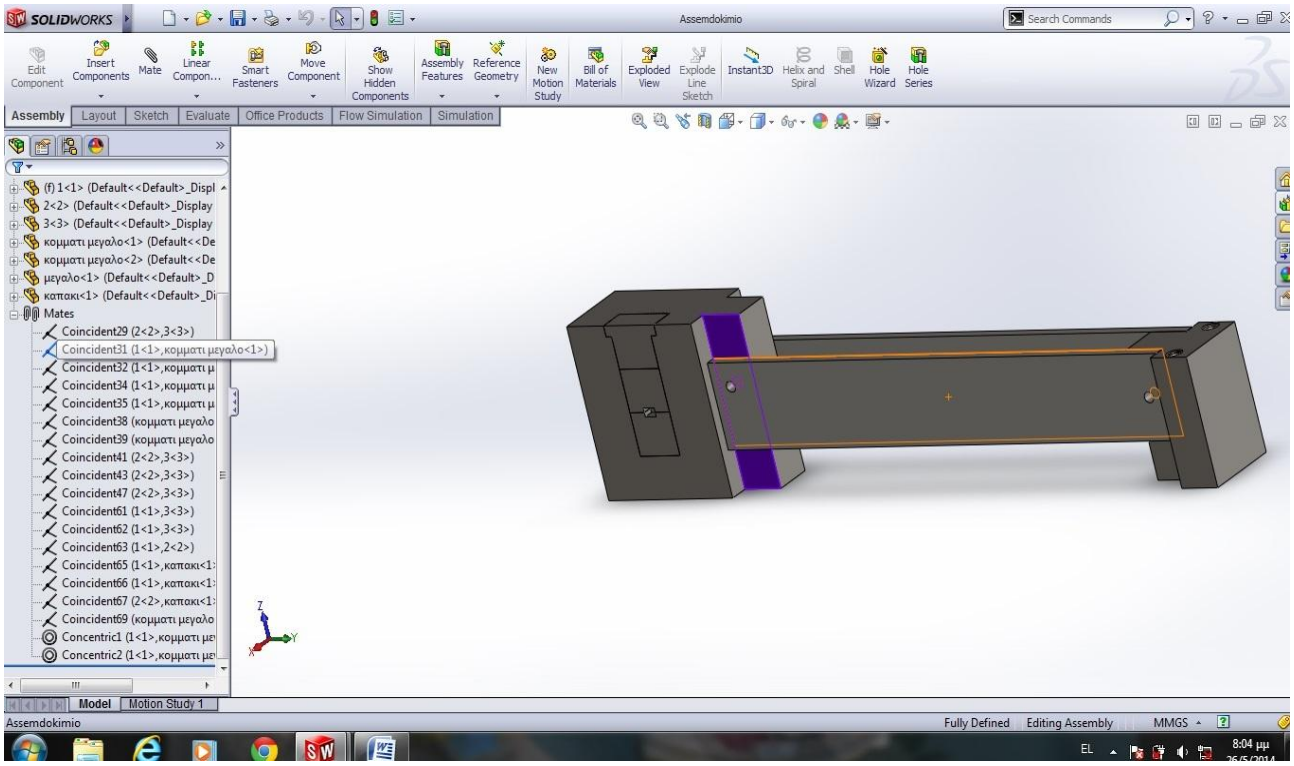
Ένωση πίρου με τις ράβδους.



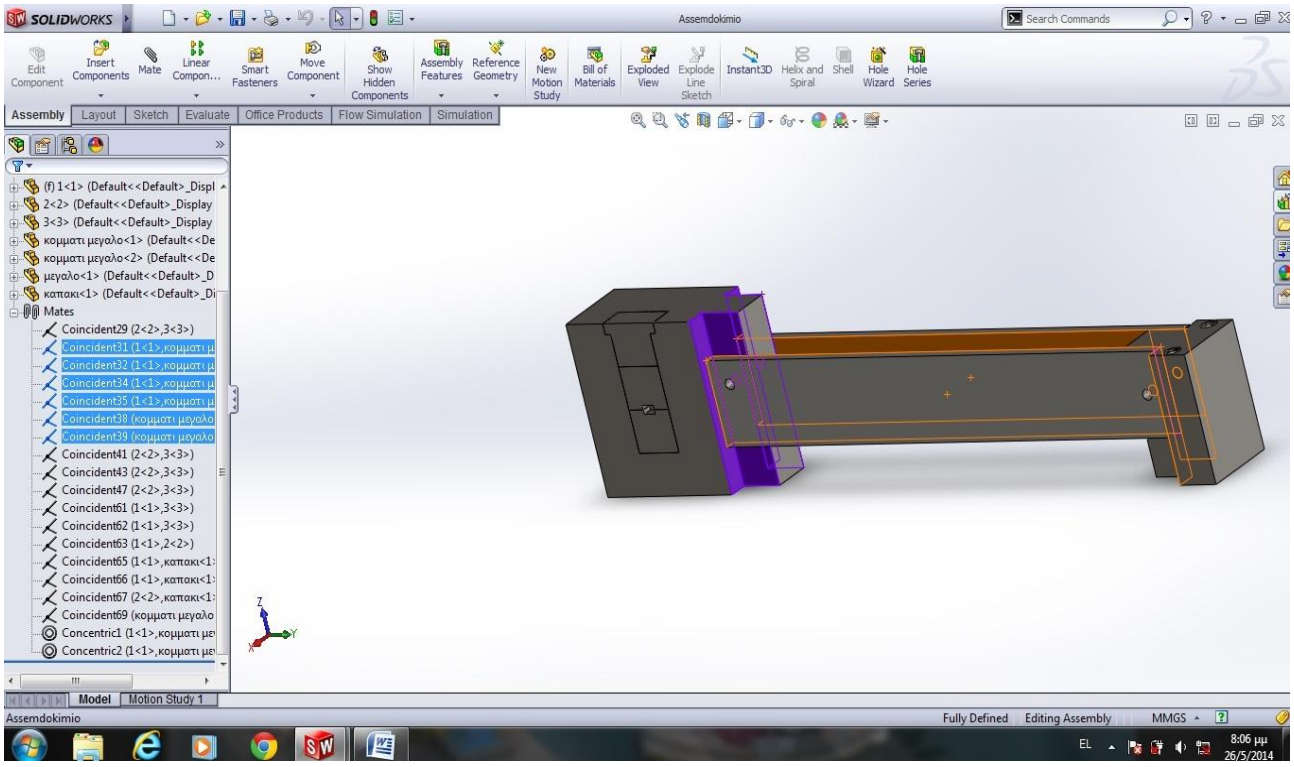
2. Στο εξάρτημα 30 (assemdokimio) σταθερό τσόκ έχουμε τα mates:



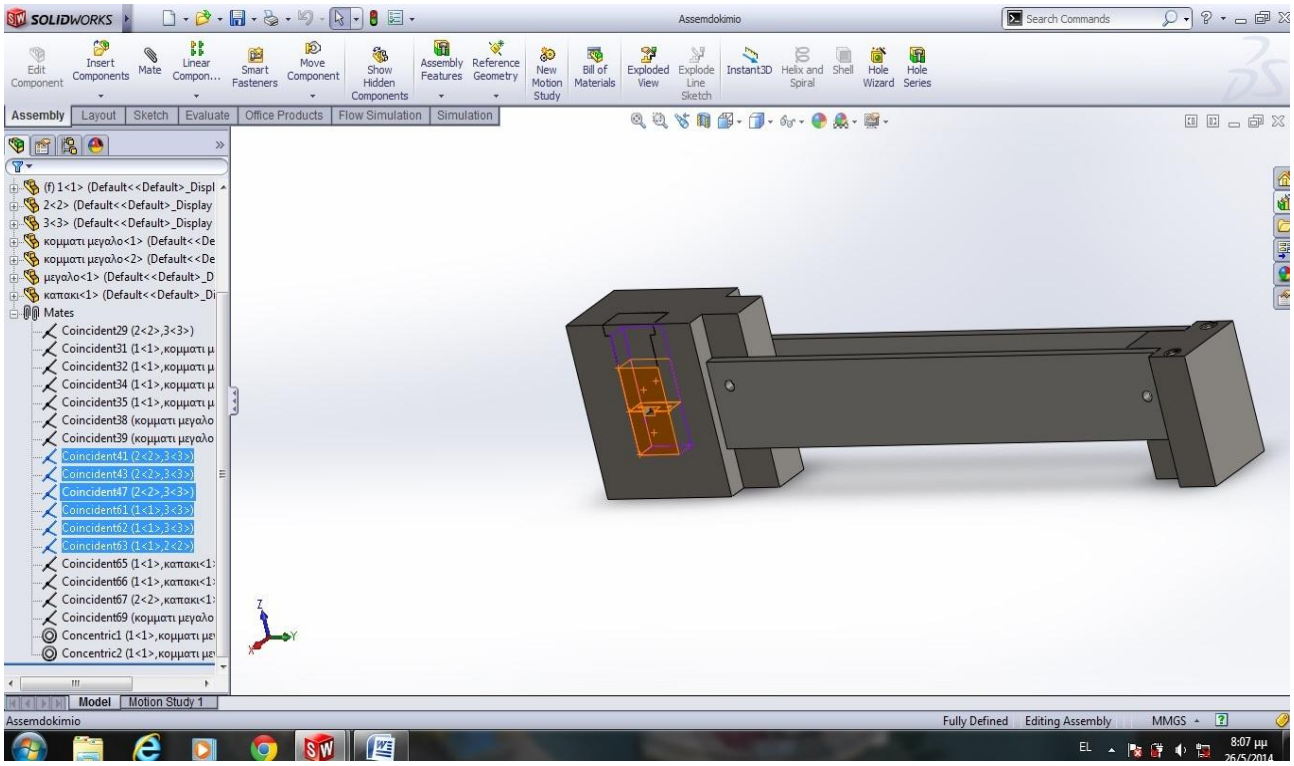
Ενώνουμε εδώ τις επιφάνειες με πορτοκαλί χρώμα ,δηλαδή τις επιφάνειες του στηρίγματος του δοκιμίου.



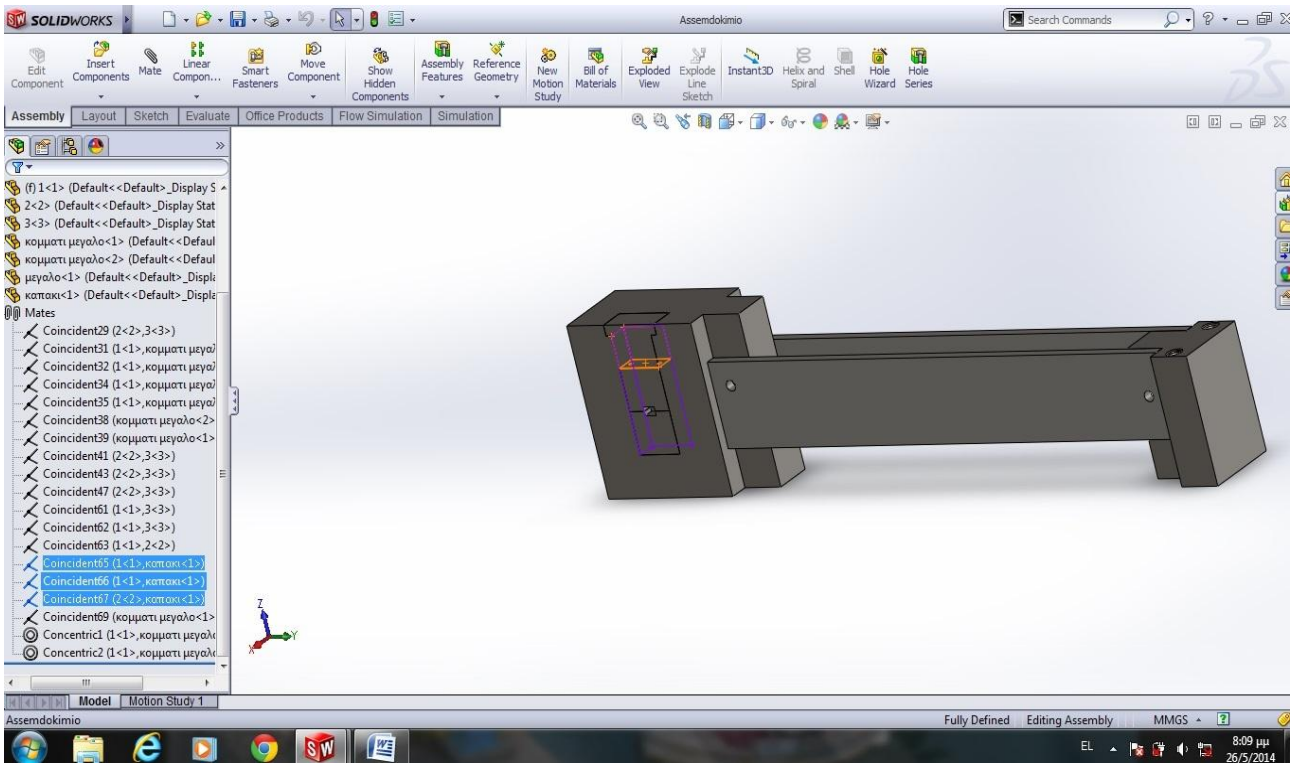
Ορισμός τοποθέτησης της δοκού στο σταθερό τσοκ .



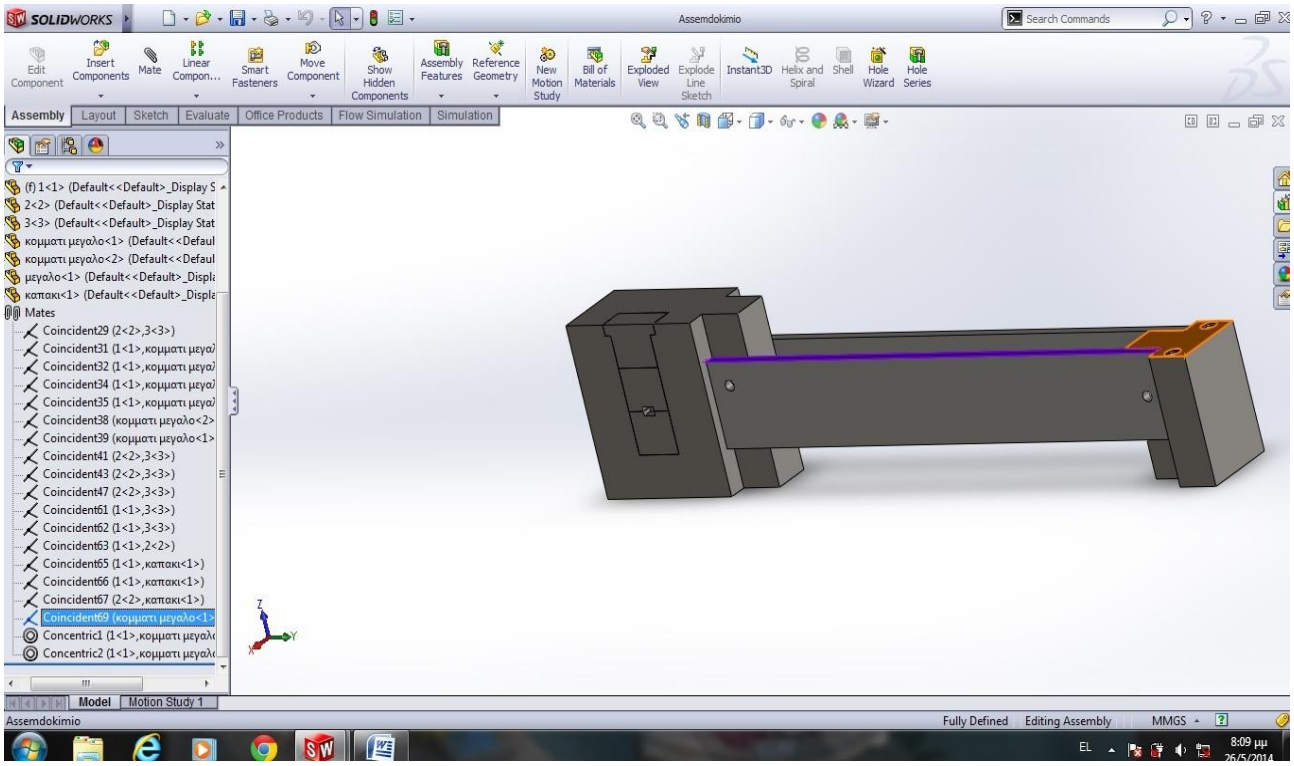
Το ίδιο από την άλλη μεριά.



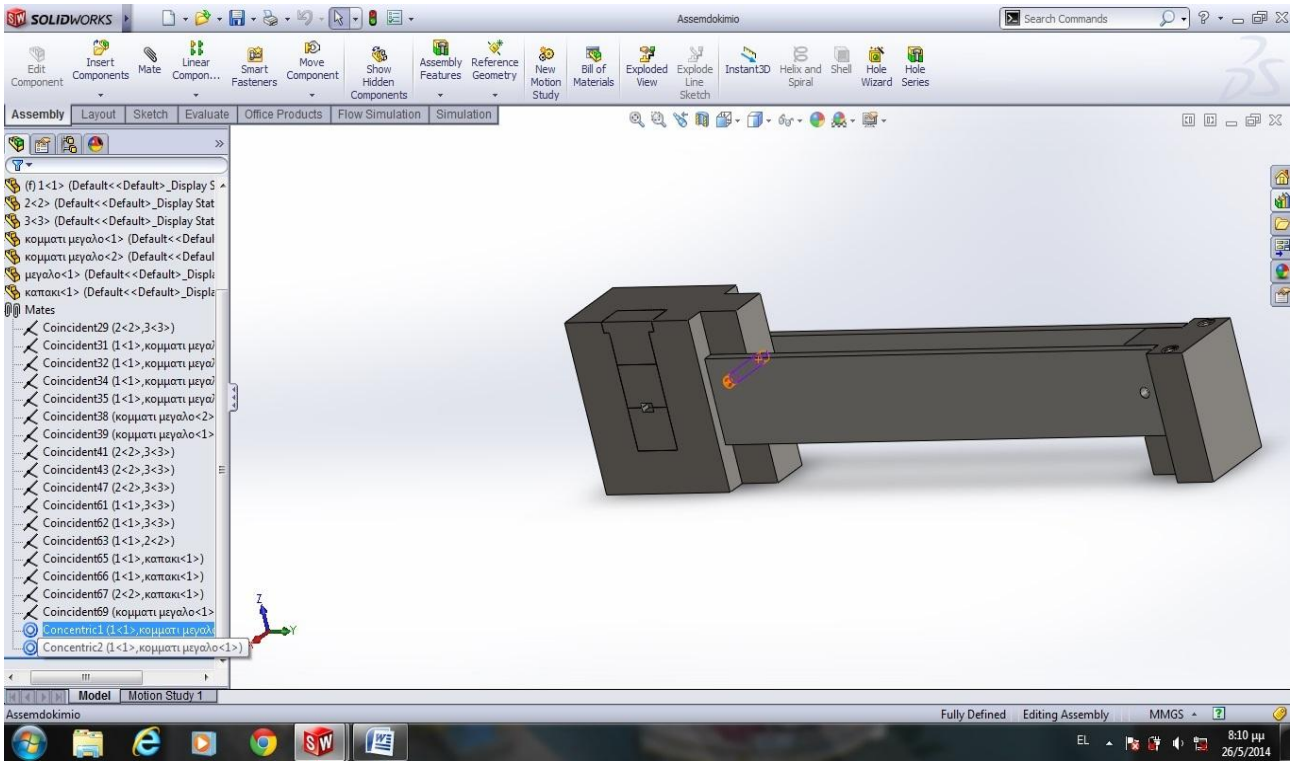
Τα κλικαρισμένα mates είναι ενώσεις για την τοποθέτηση των στηριγμάτων του δοκιμίου στην κατάλληλη σχέση.



Αυτά είναι για το καπάκι.

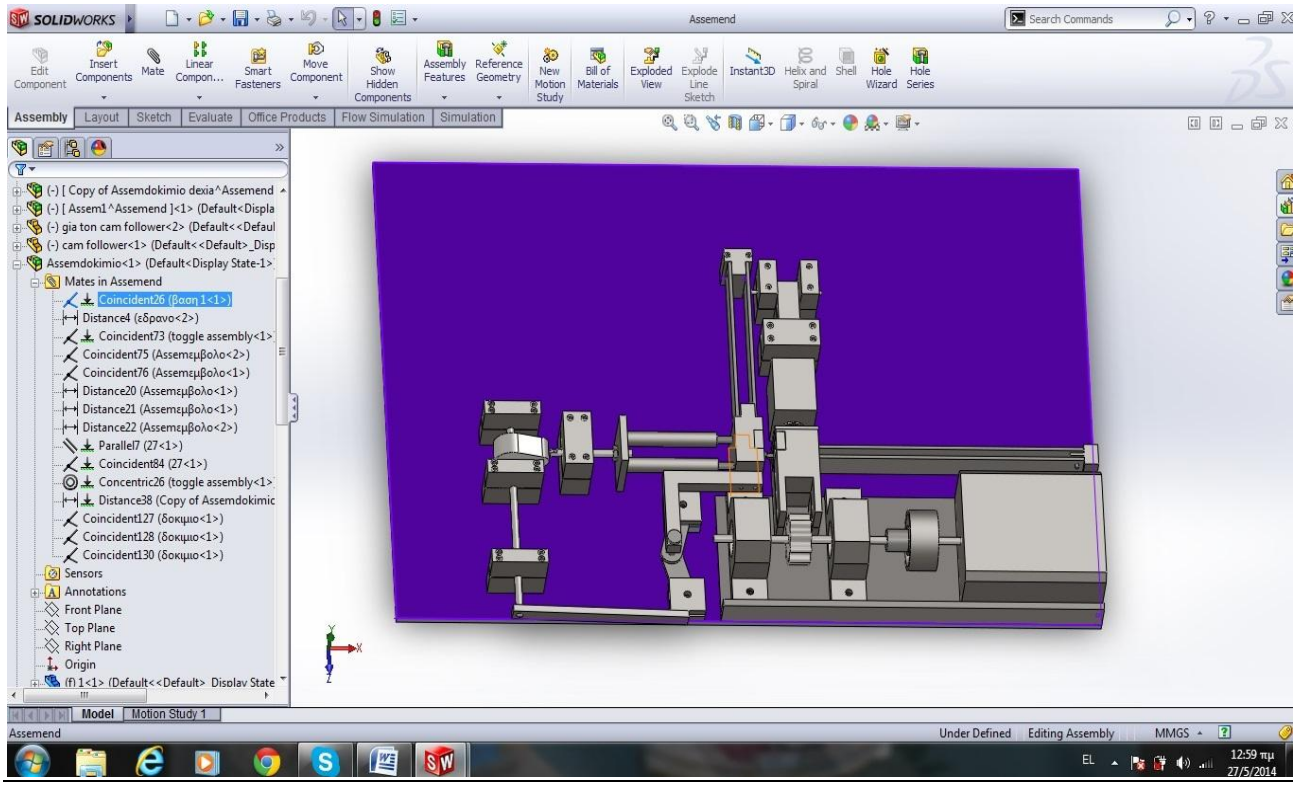


Εδώ μας δείχνει την ευθυγράμμιση της δοκού με το μπλοκ στήριξης.

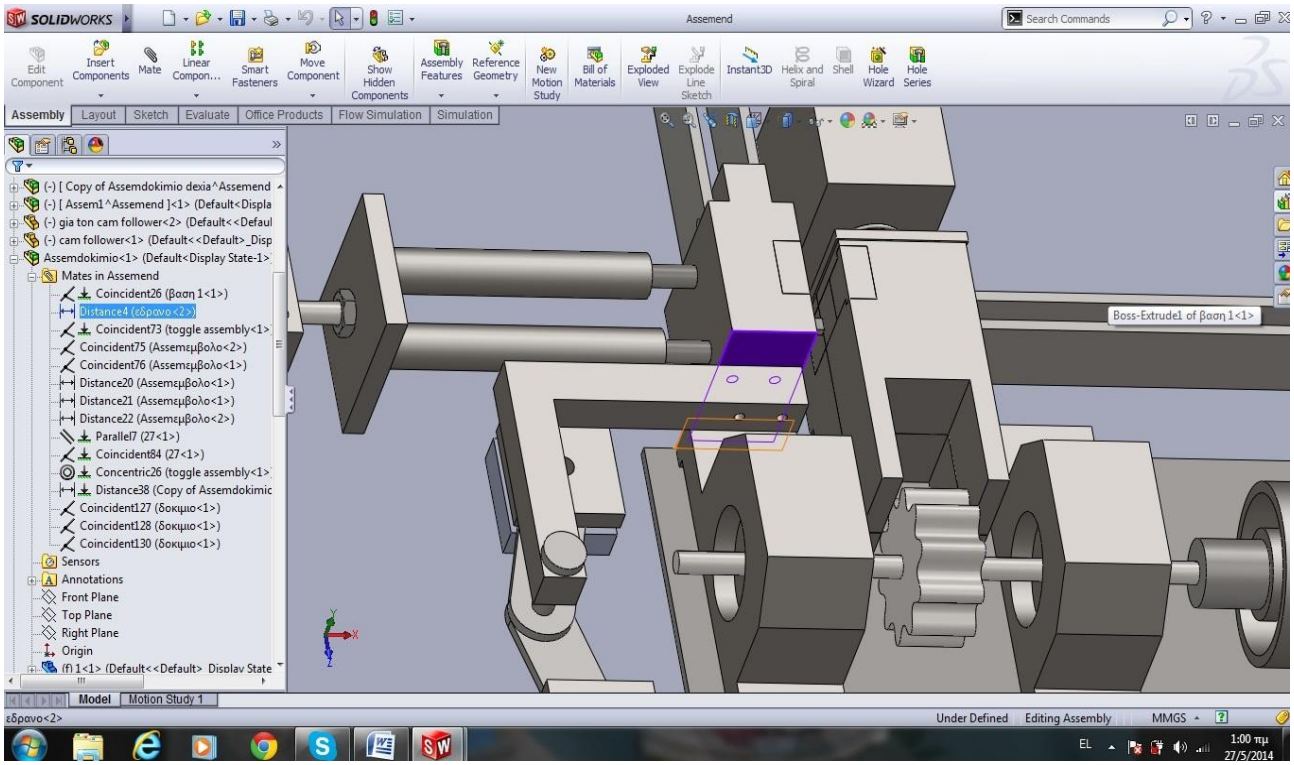


Και εδώ για την τρύπα.

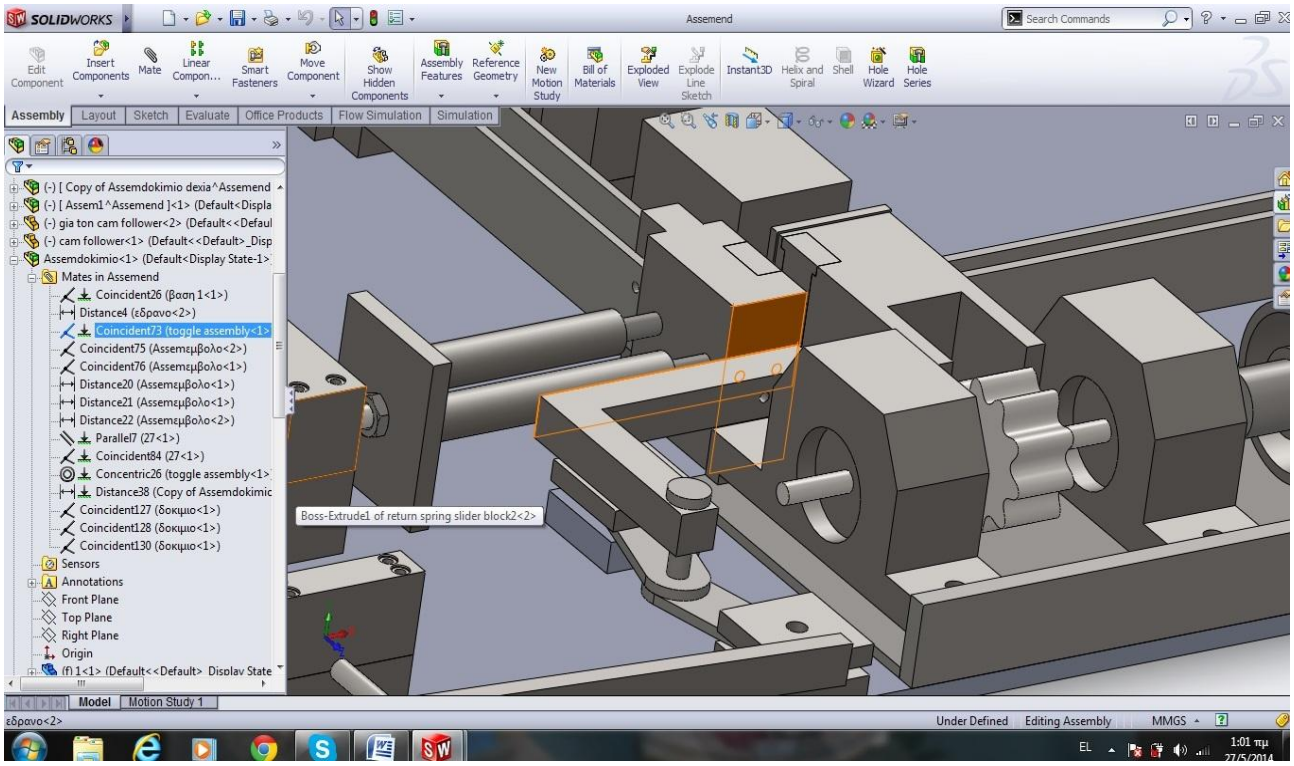
Mates in Assemend



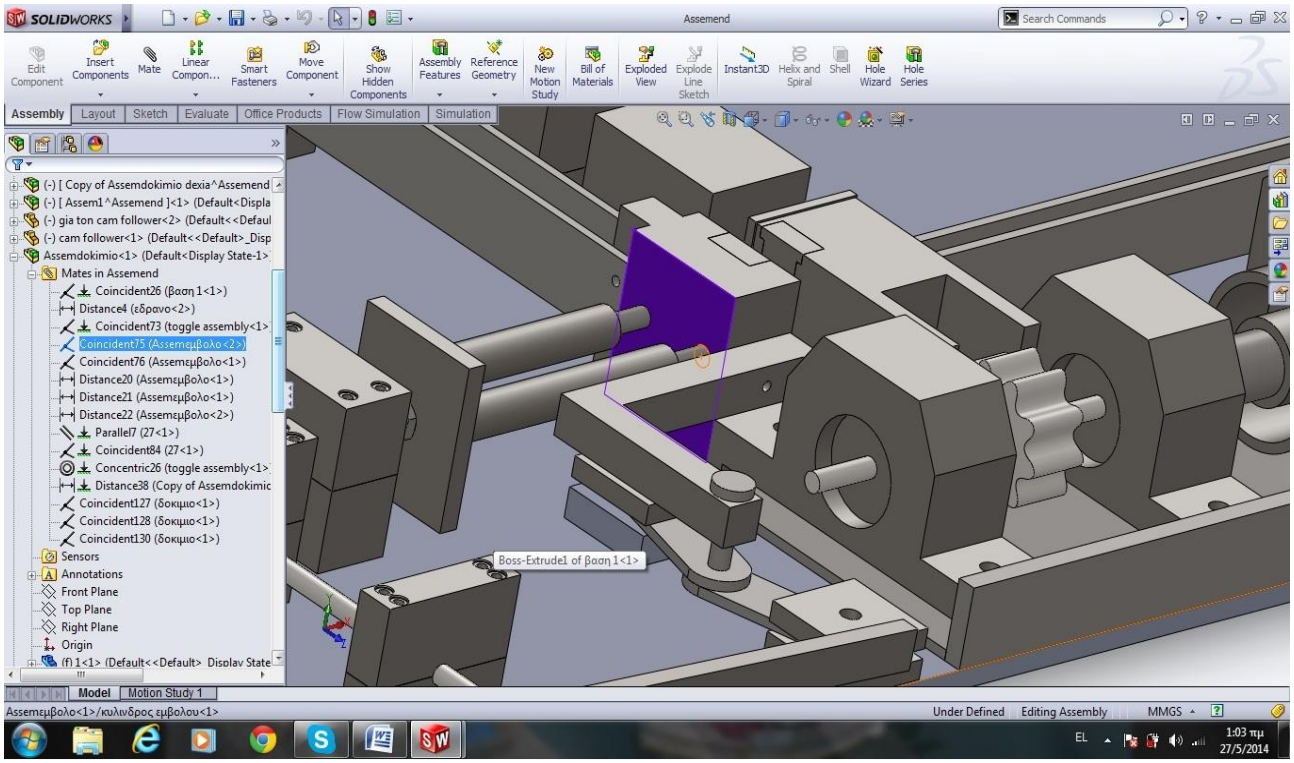
Εδώ ενώνουμε την κάτω επιφάνεια του σταθερού τσοκ με την βάση 1 (μωβ).



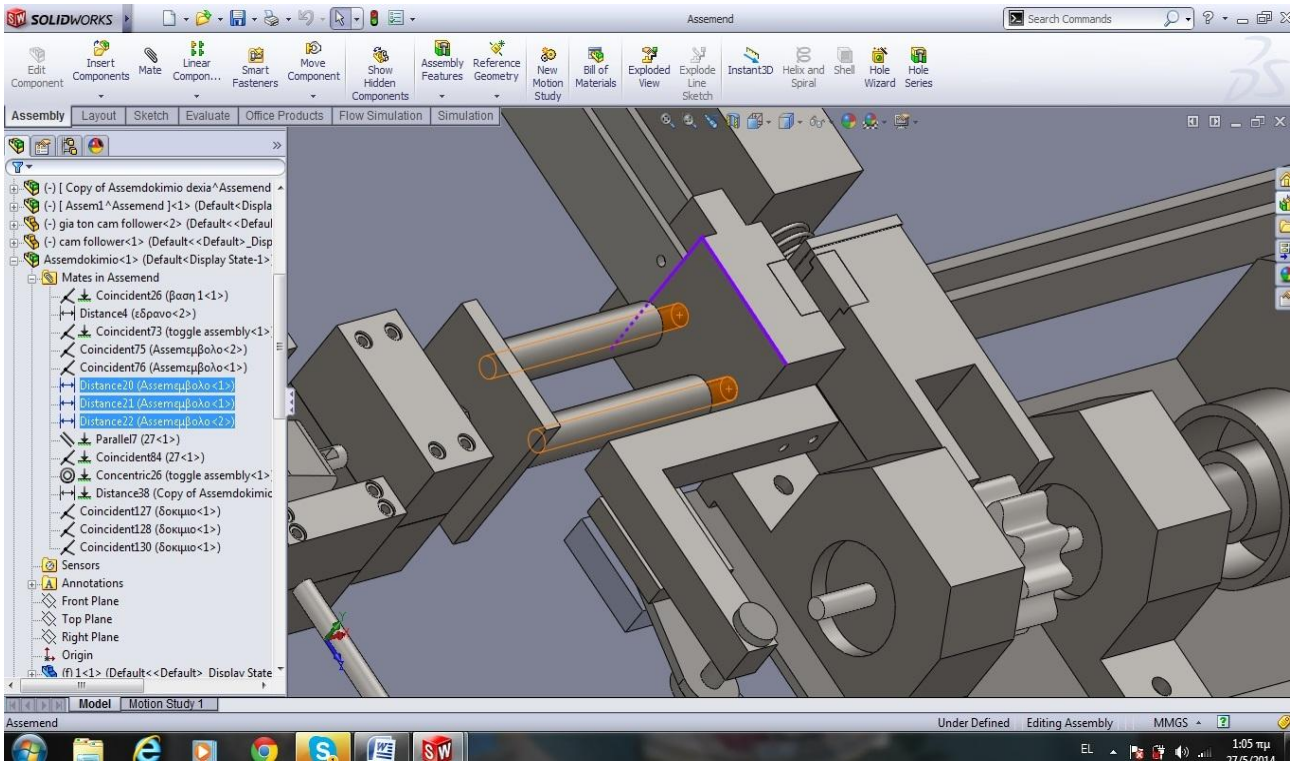
Mate απόστασης από το έδρανο μέχρι την μωβ επιφάνεια



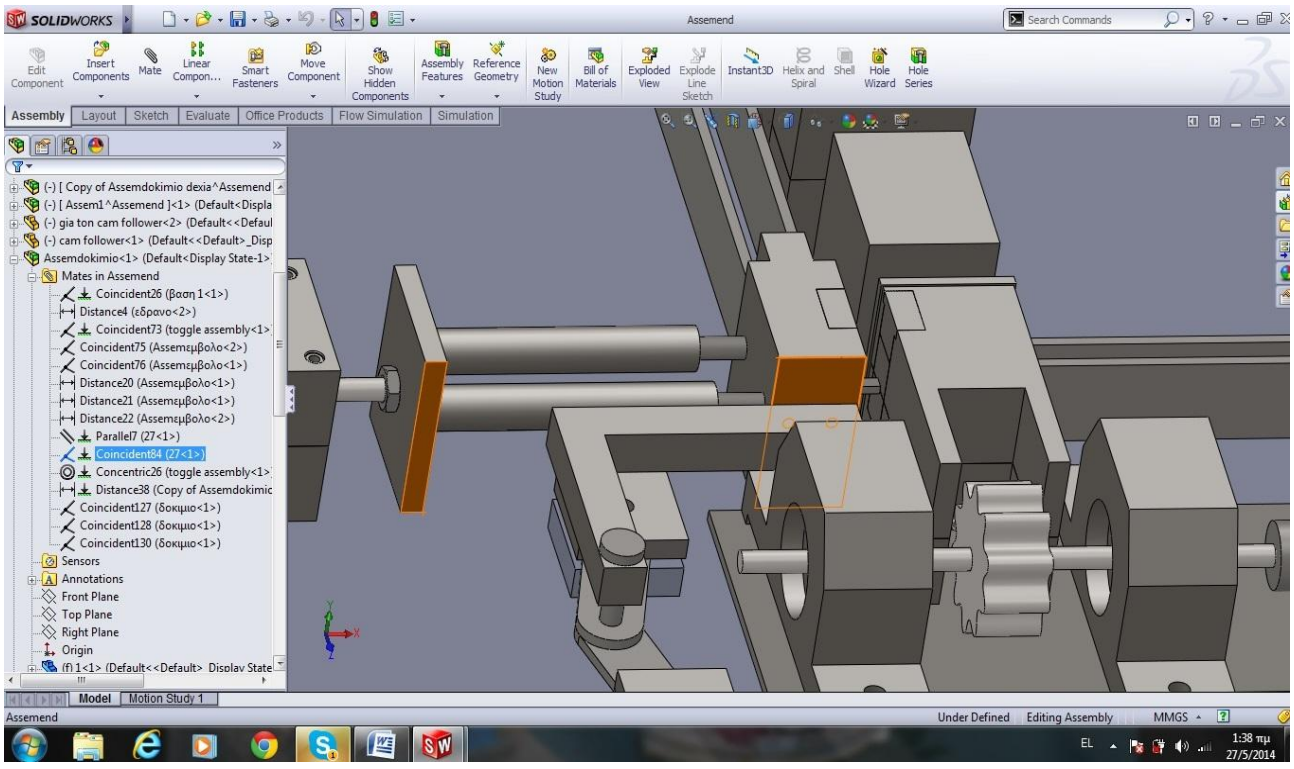
Εδώ ενώνουμε τις επιφάνειες της γωνίας με την πορτοκαλί μεριά του τσοκ.

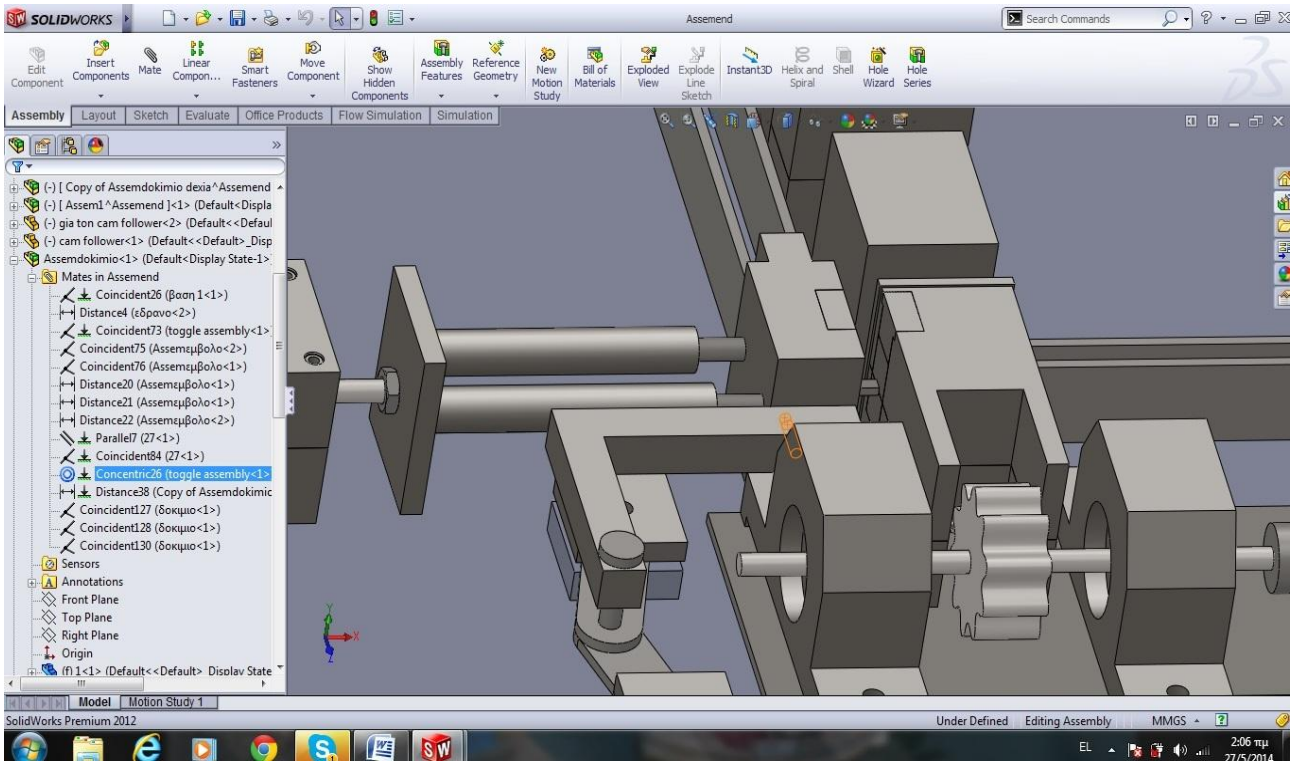


Ένωση της μωβ επιφάνειας με την πορτοκαλί του εμβόλου.

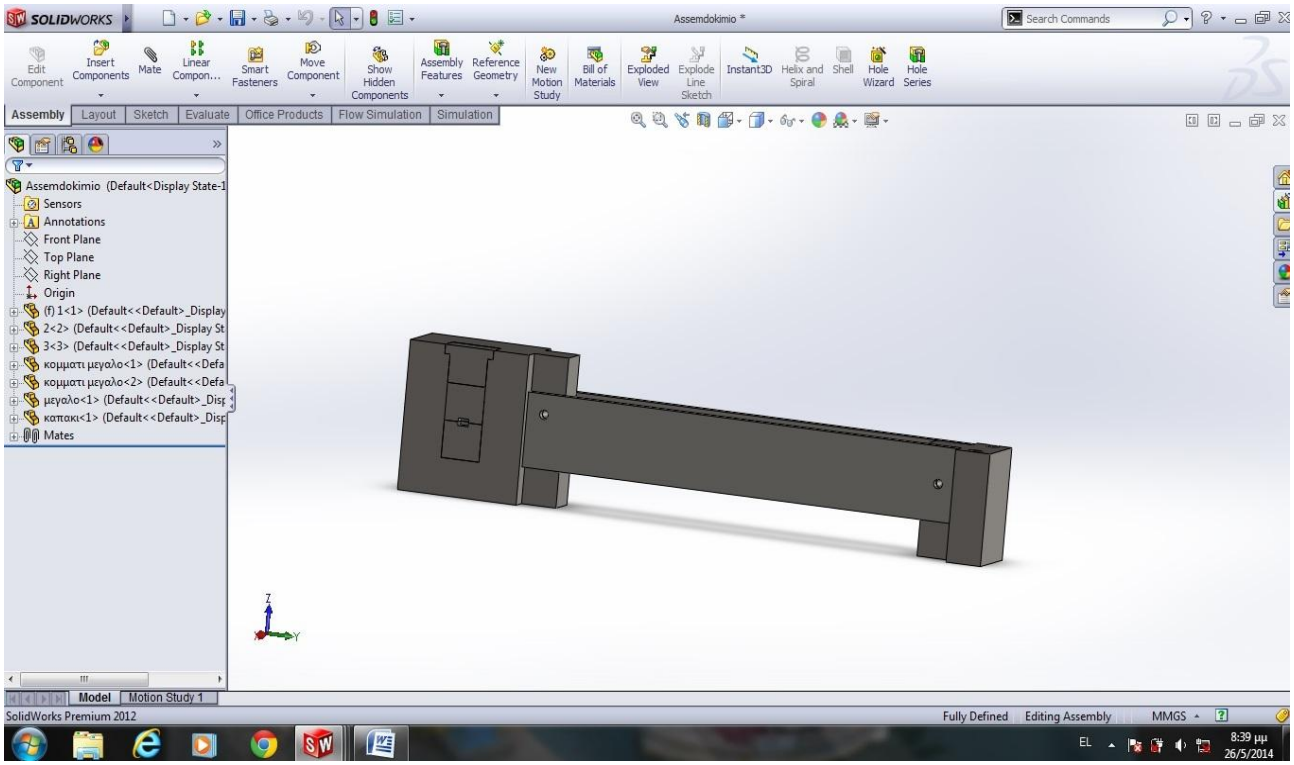


Mates απόστασης για την θέση των εμβόλων.



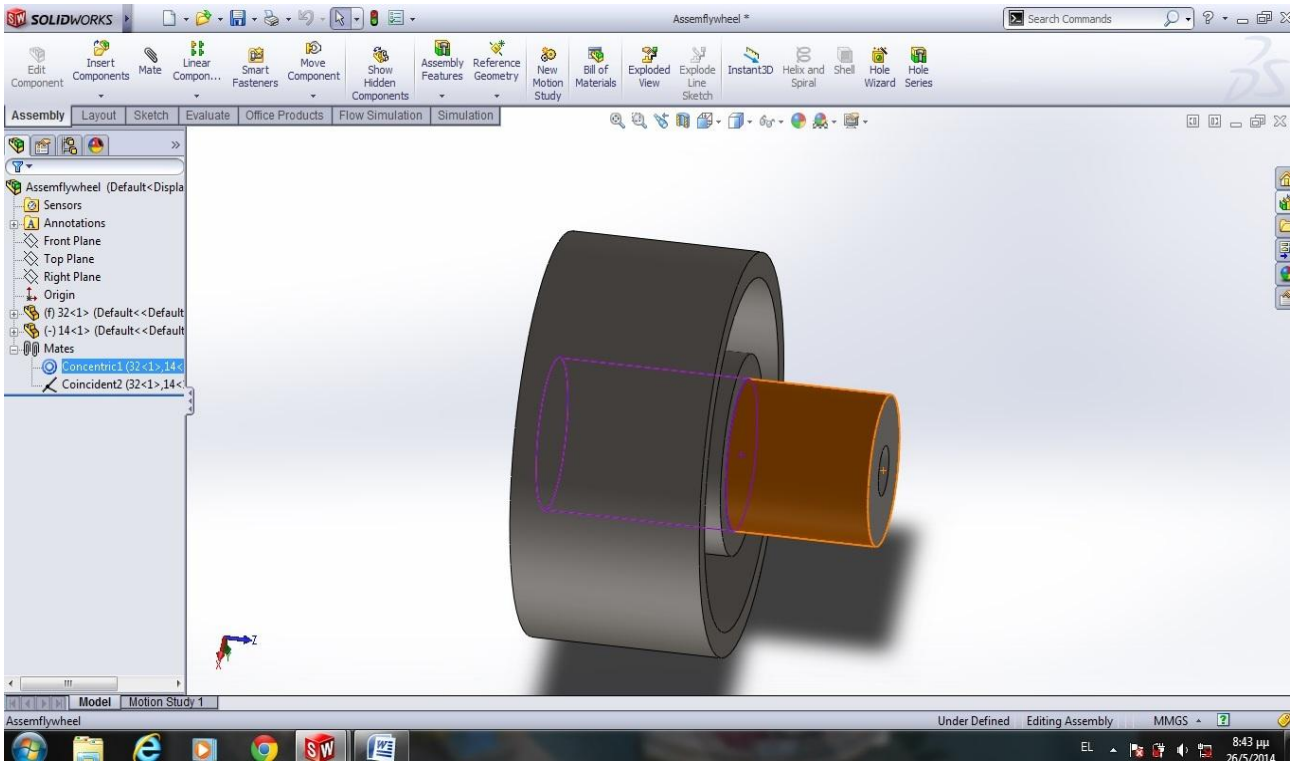


Mate για τις τρύπες .

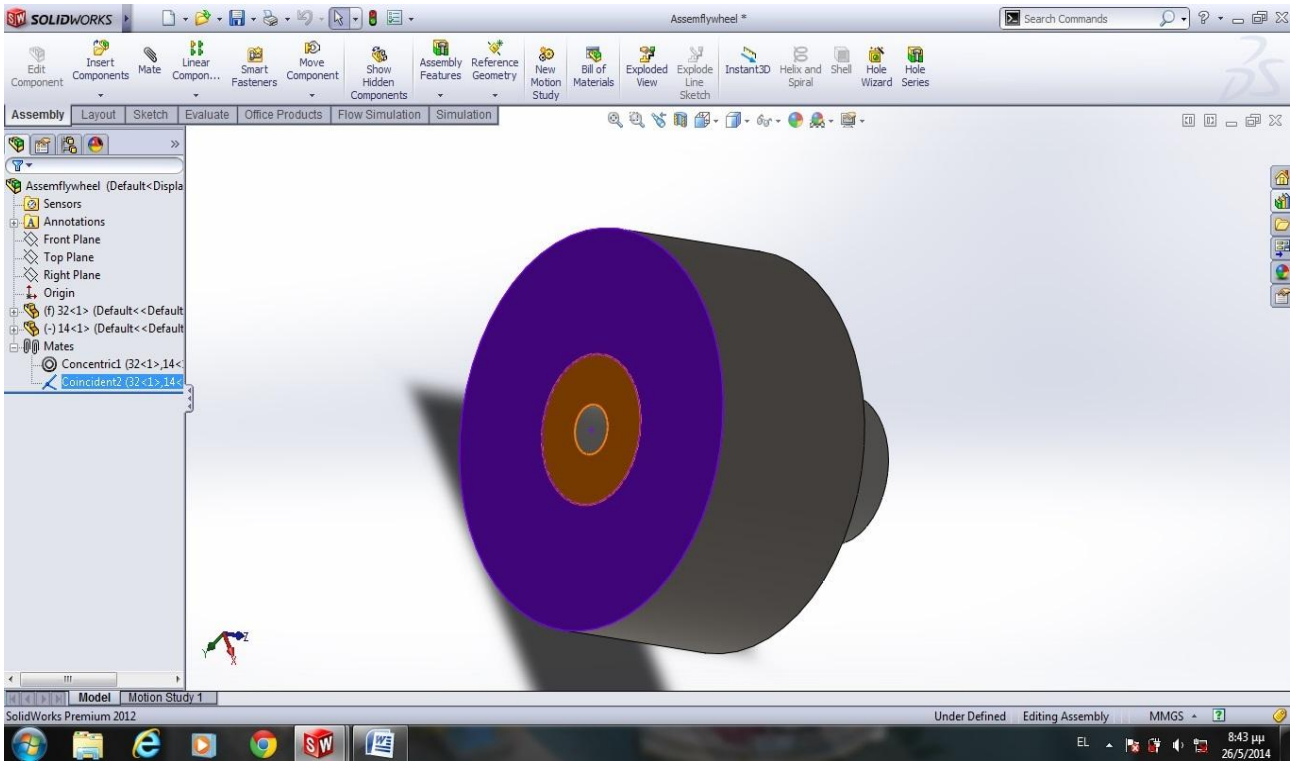


Έτσι βγάλαμε το εξάρτημα!

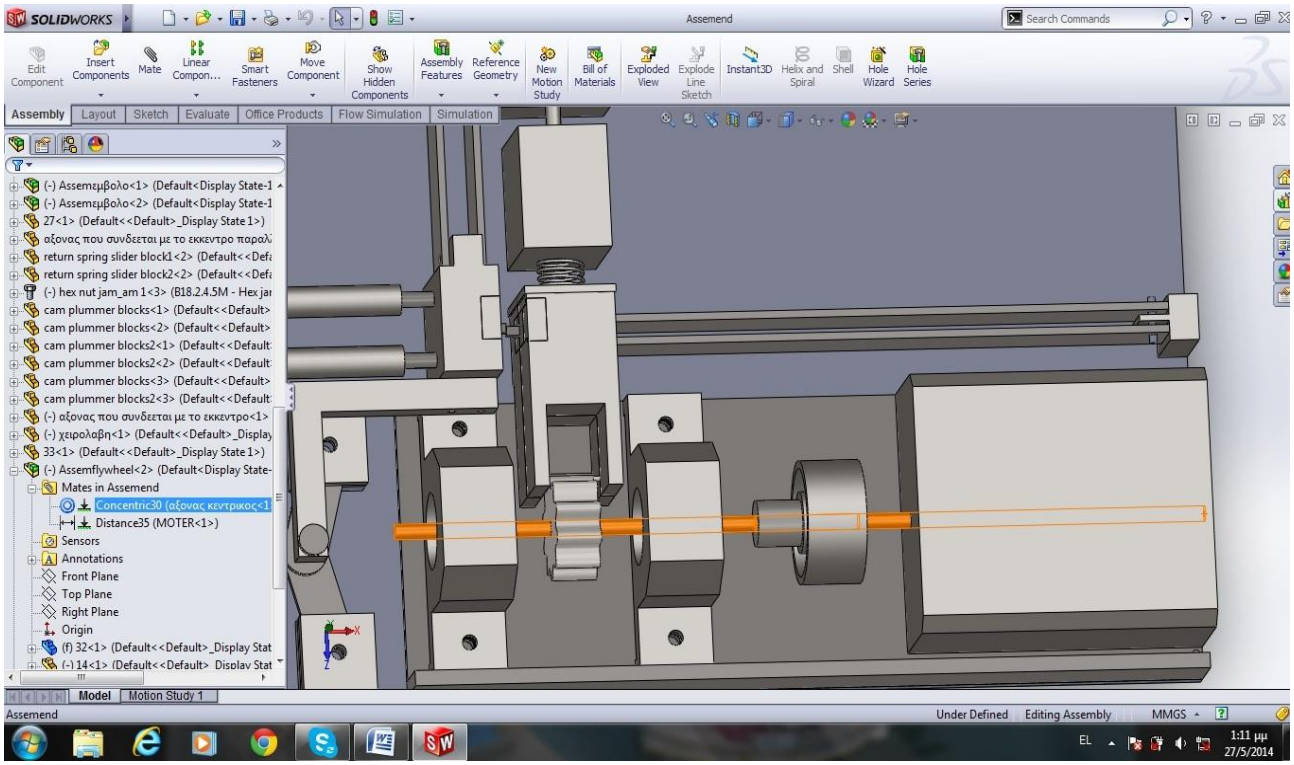
3. **Στο εξάρτημα 14 (assemflywheel) σύζευξη άξονα έχουμε τα mates:**

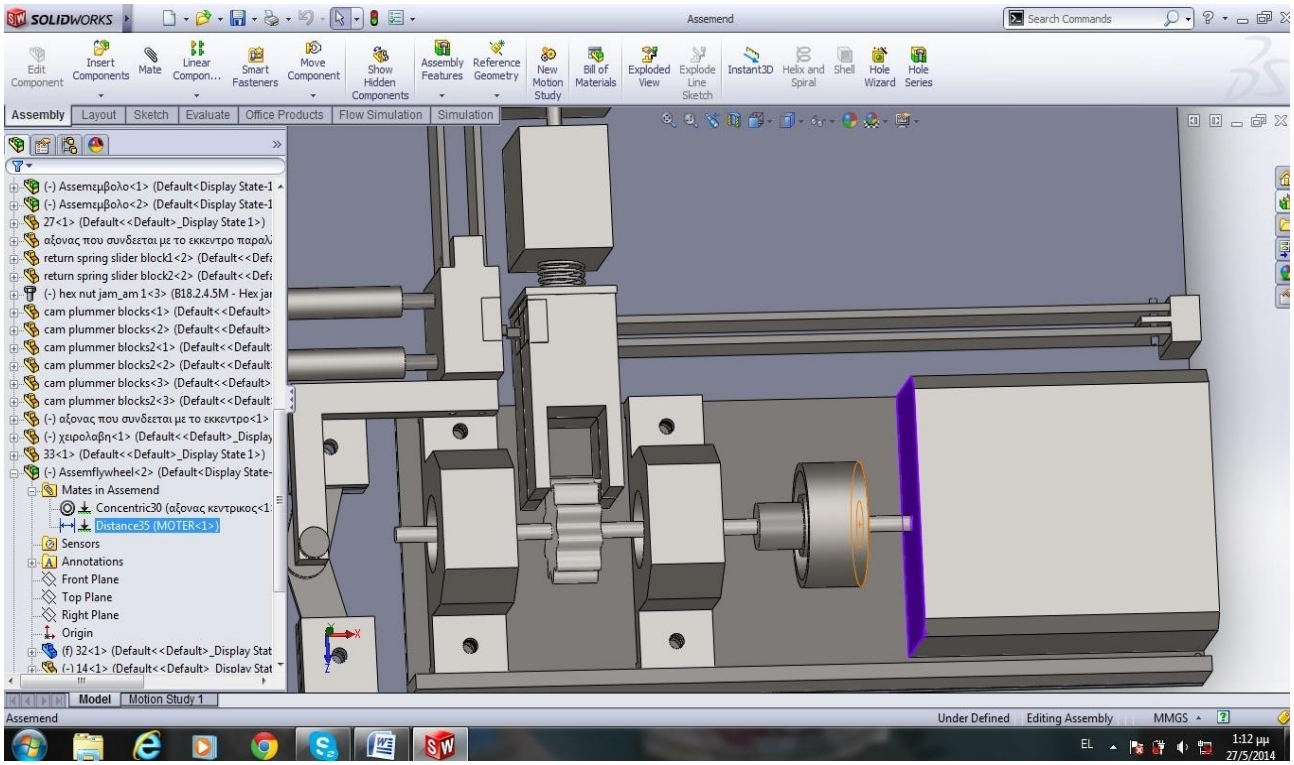


Απλώς ένα Concentic βάζοντας το κύλινδρο στον εσωτερικό κύκλο.

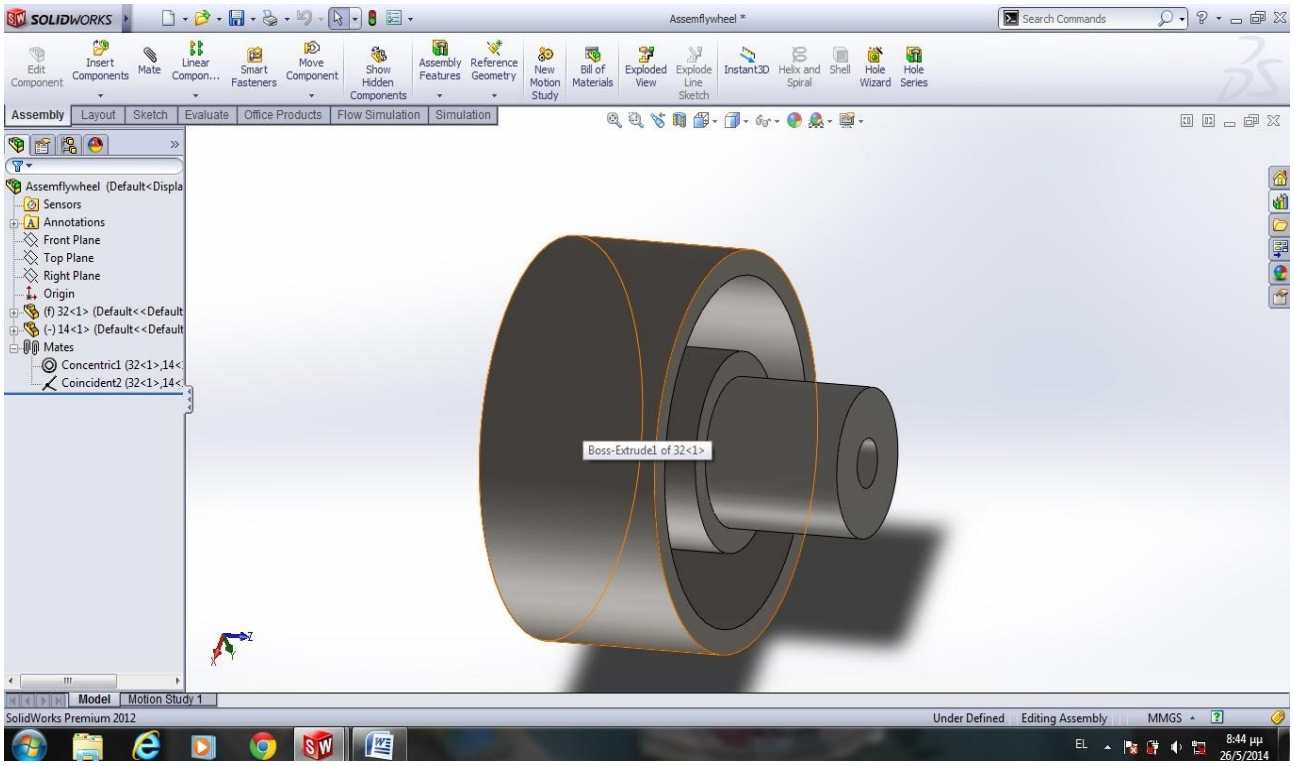


Mates in Assemend

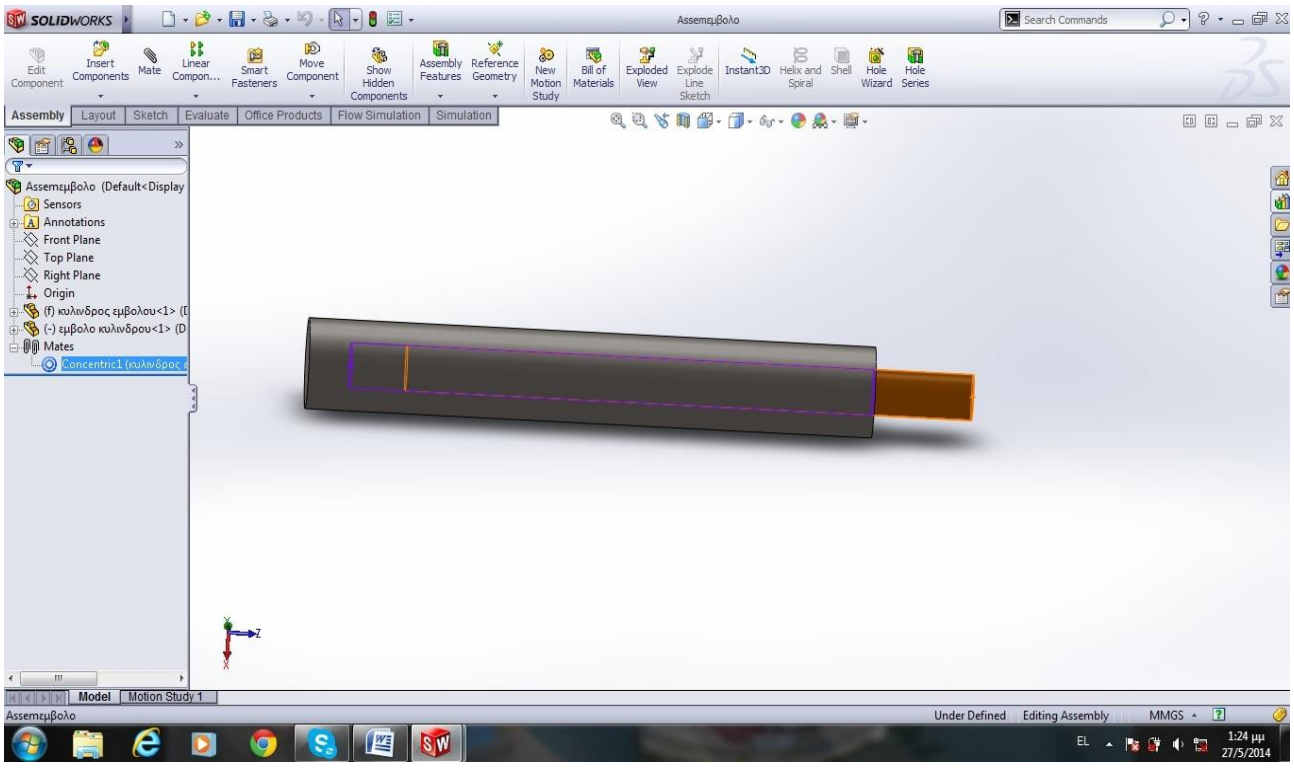




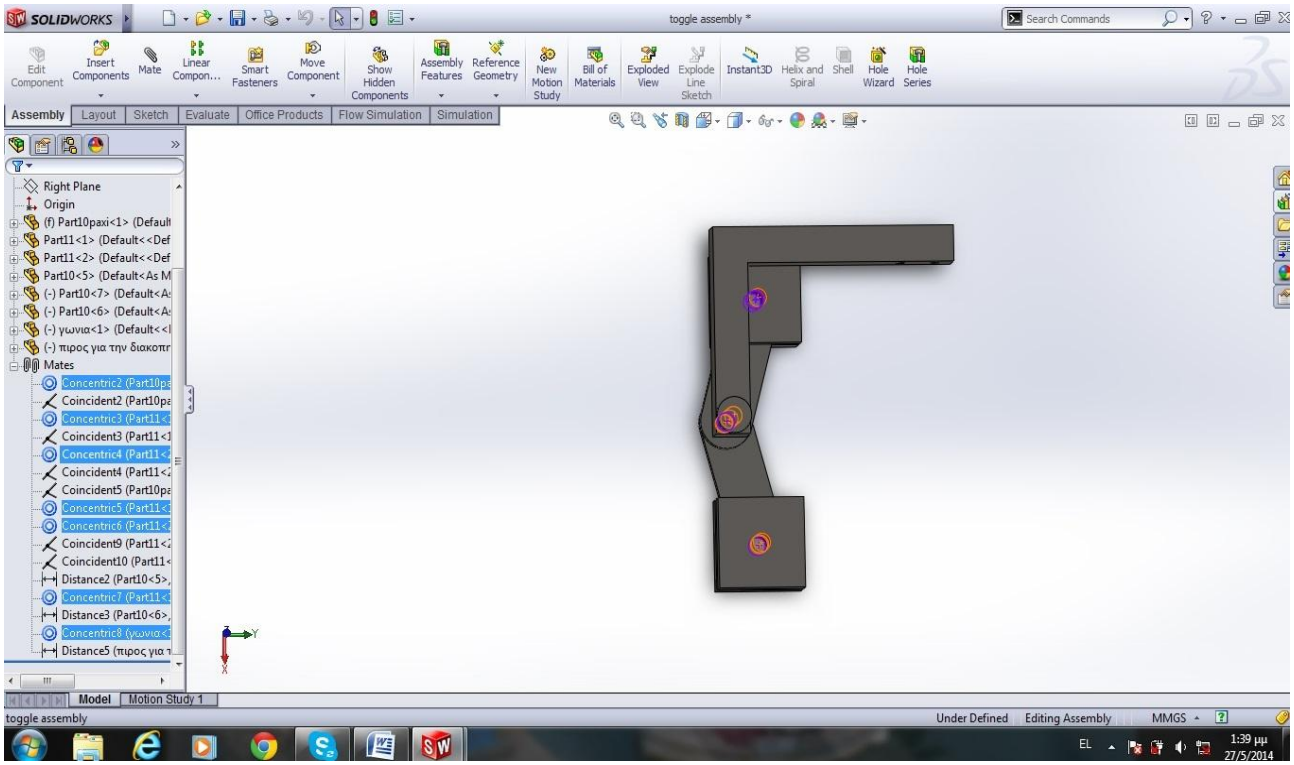
Και φτιάχνοντας την ευθυγράμμιση βγάζουμε το τελικό εξάρτημα.!



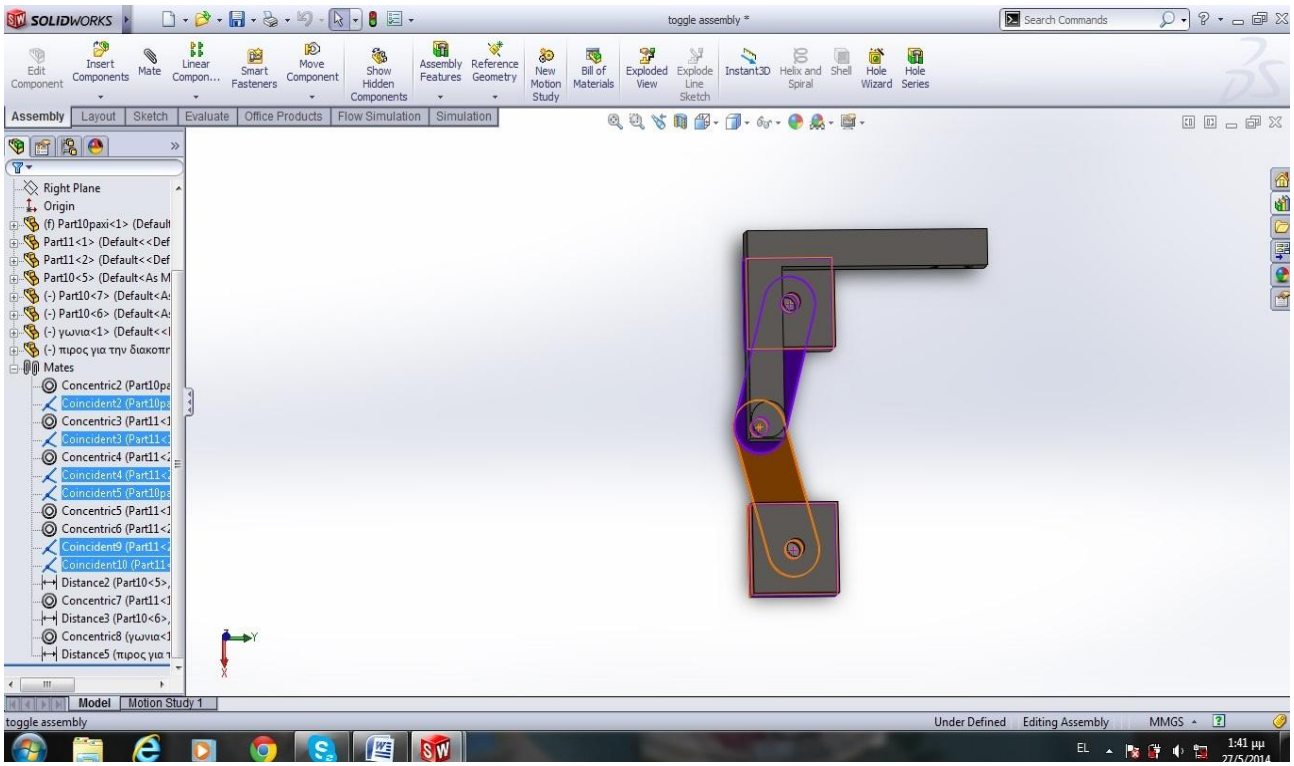
4. Στο εξάρτημα 28 (assemembolo) αξονικά έμβολα έχουμε τα mates:



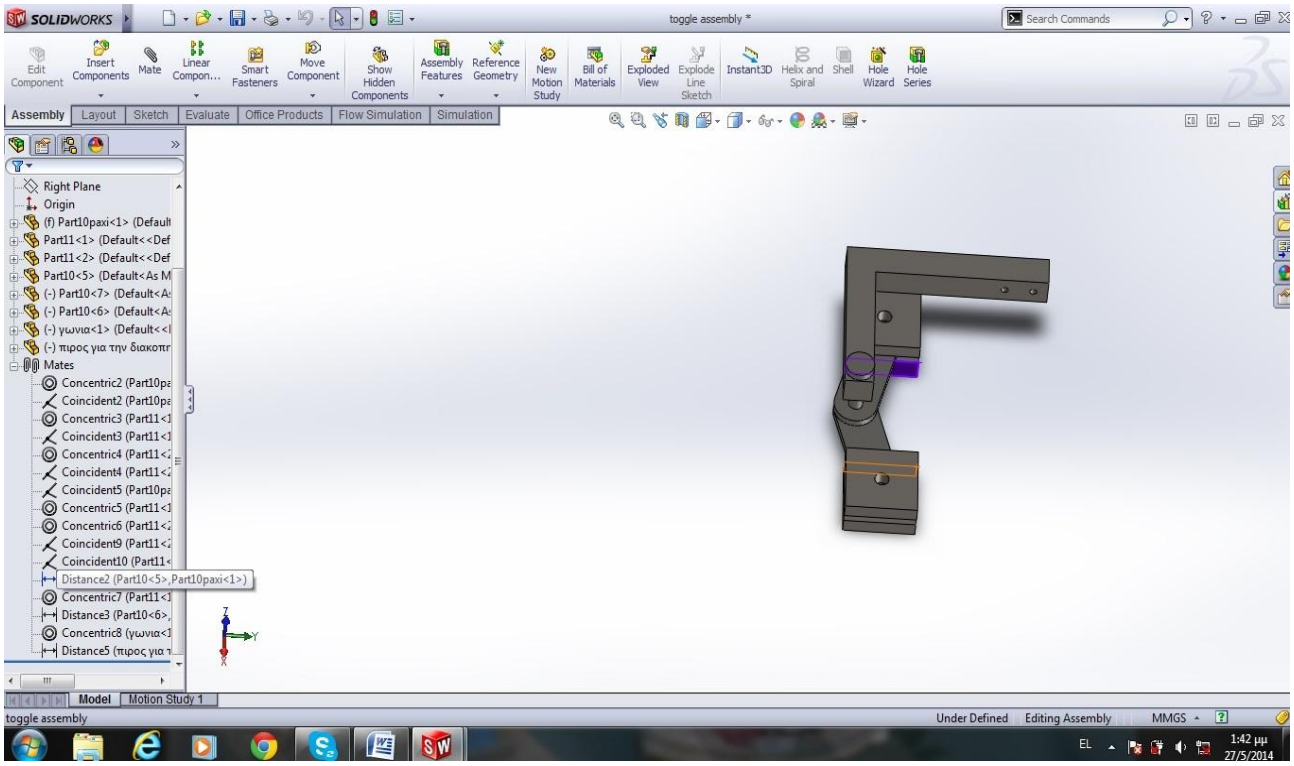
5. **Στα εξαρτήματα 21,22,19 (toggle assembly) μπλοκ εναλλαγής έχουμε τα mates:**



Εδώ έχουμε τα Concentric mates , δηλαδή για να κάνουμε τις τρύπες να είναι στην ίδια ευθεία.

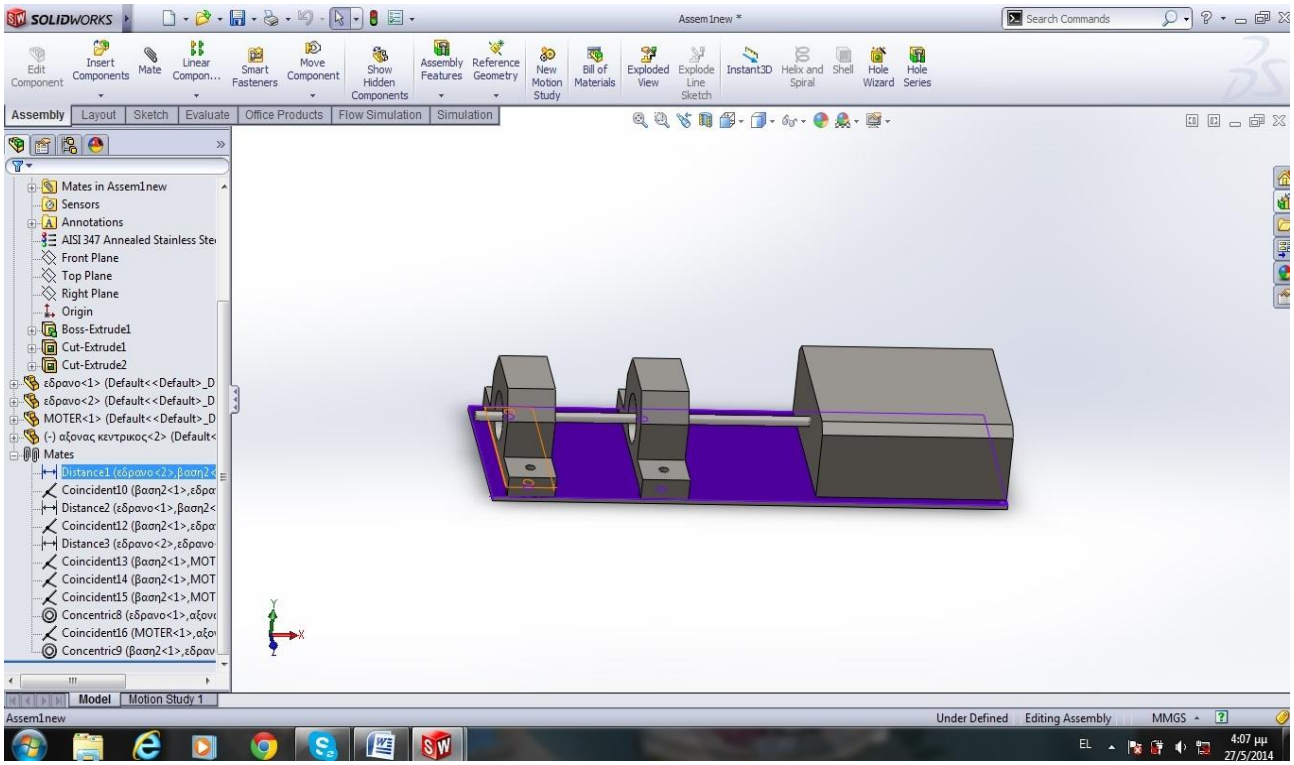


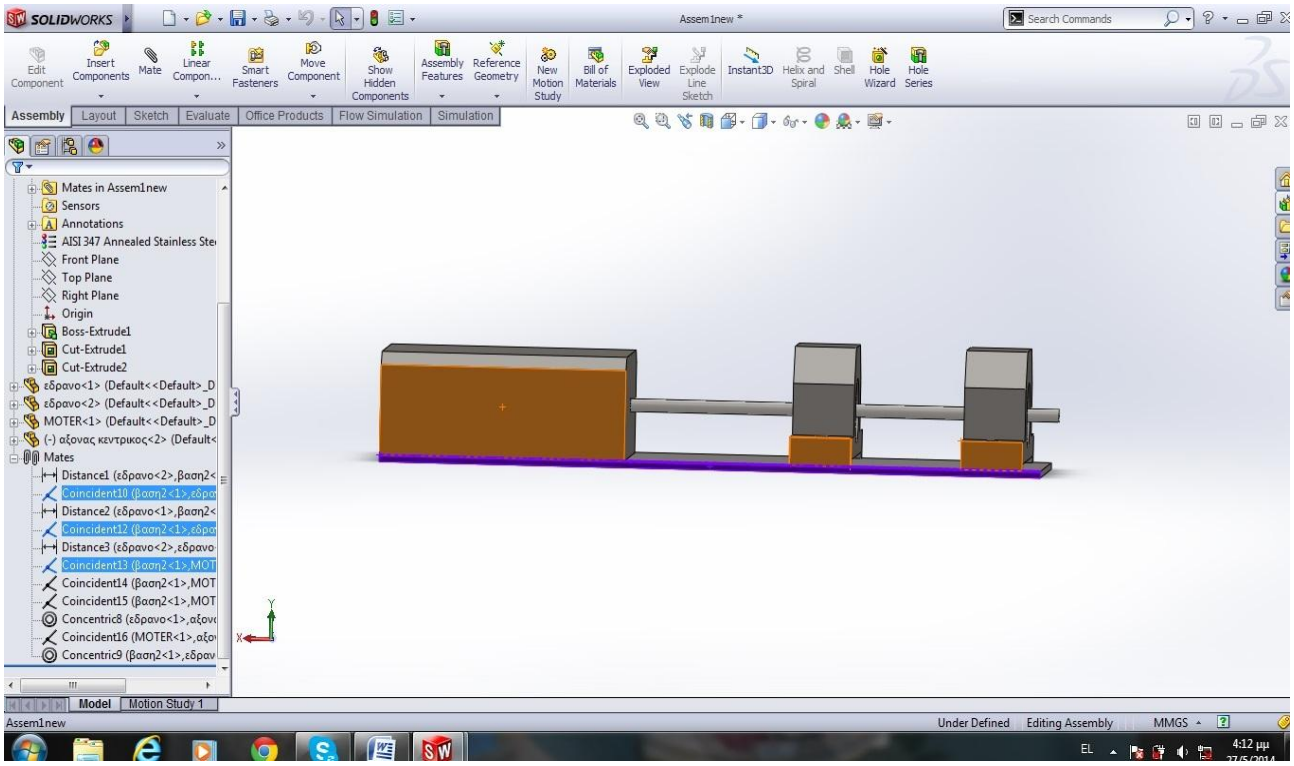
Και τα coincident για να καθορίσουμε το προσανατολισμό και το τόπο που θα είναι το κάθε εξάρτημα.



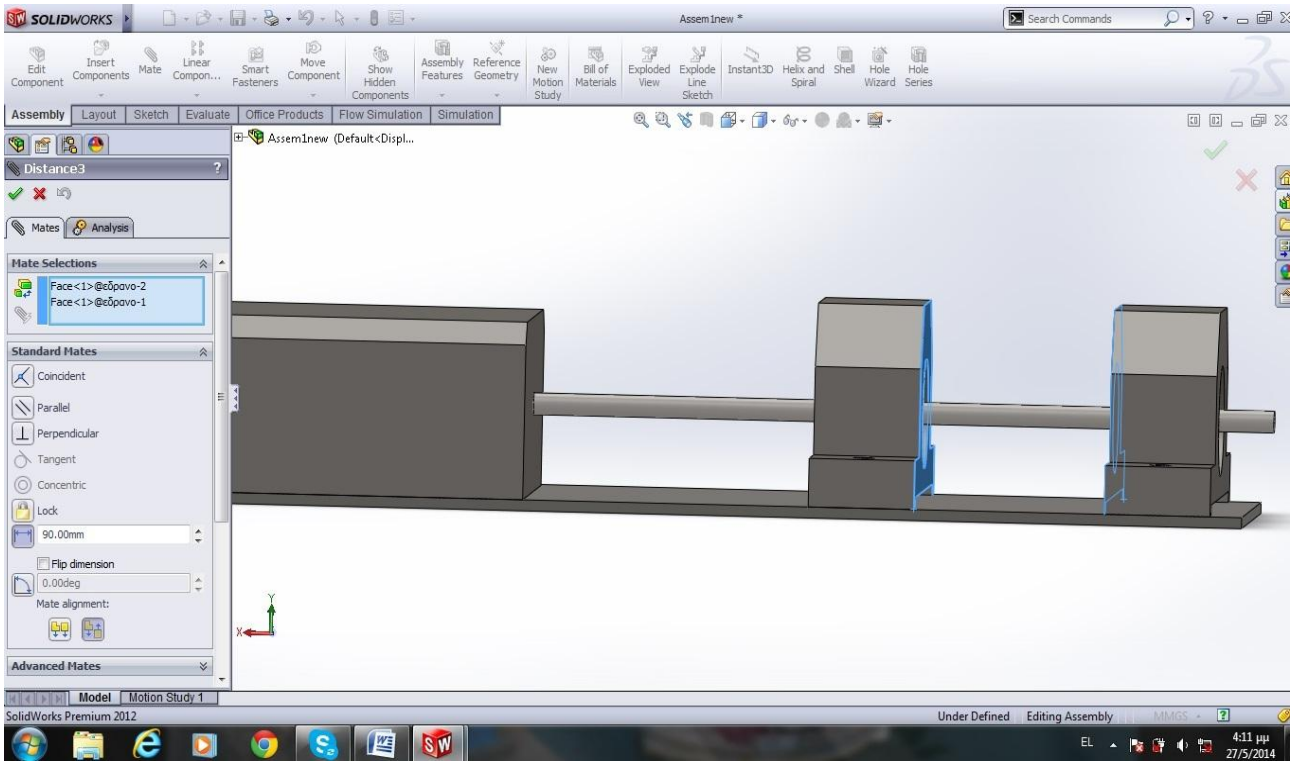
Τα mates στο assemend είναι η ένωση της βάσης 1 με τη κάτω επιφάνεια του κομματιού 19.

6. Στο assembly (assem1new) έχουμε τα mates:

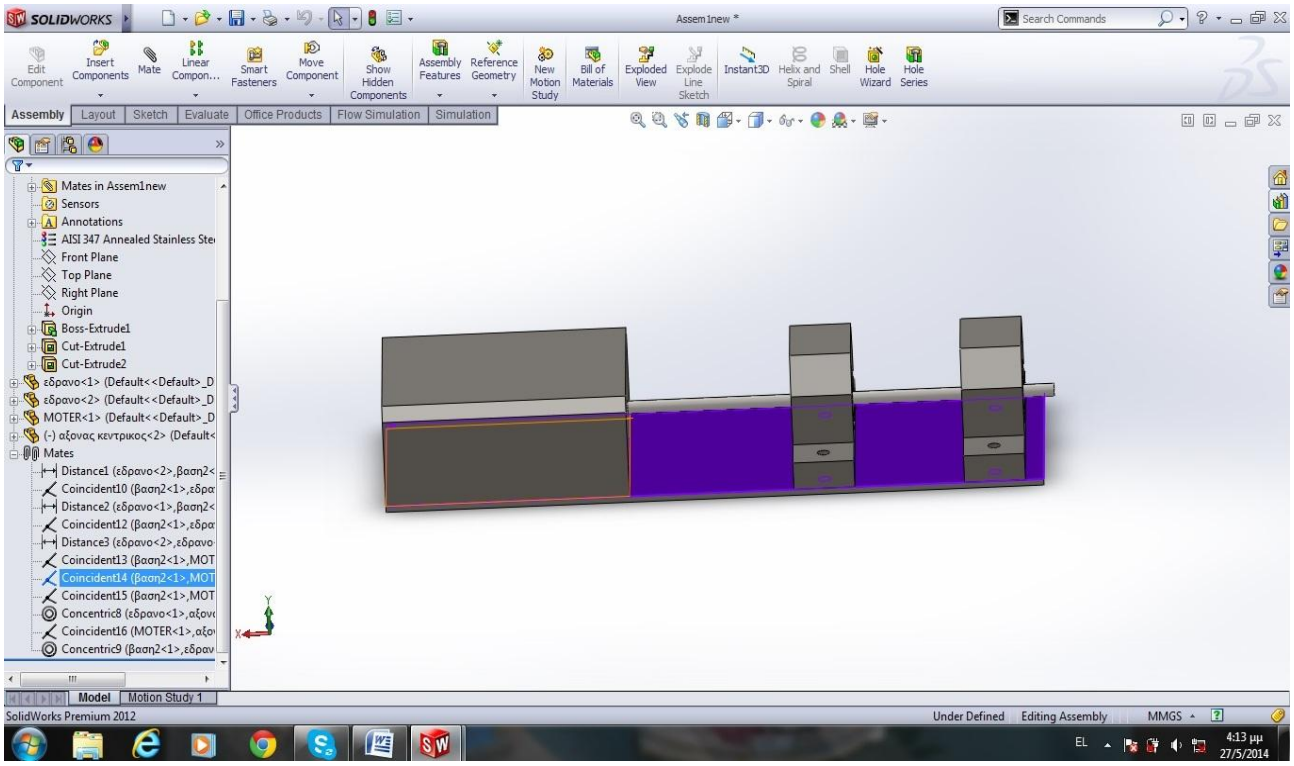


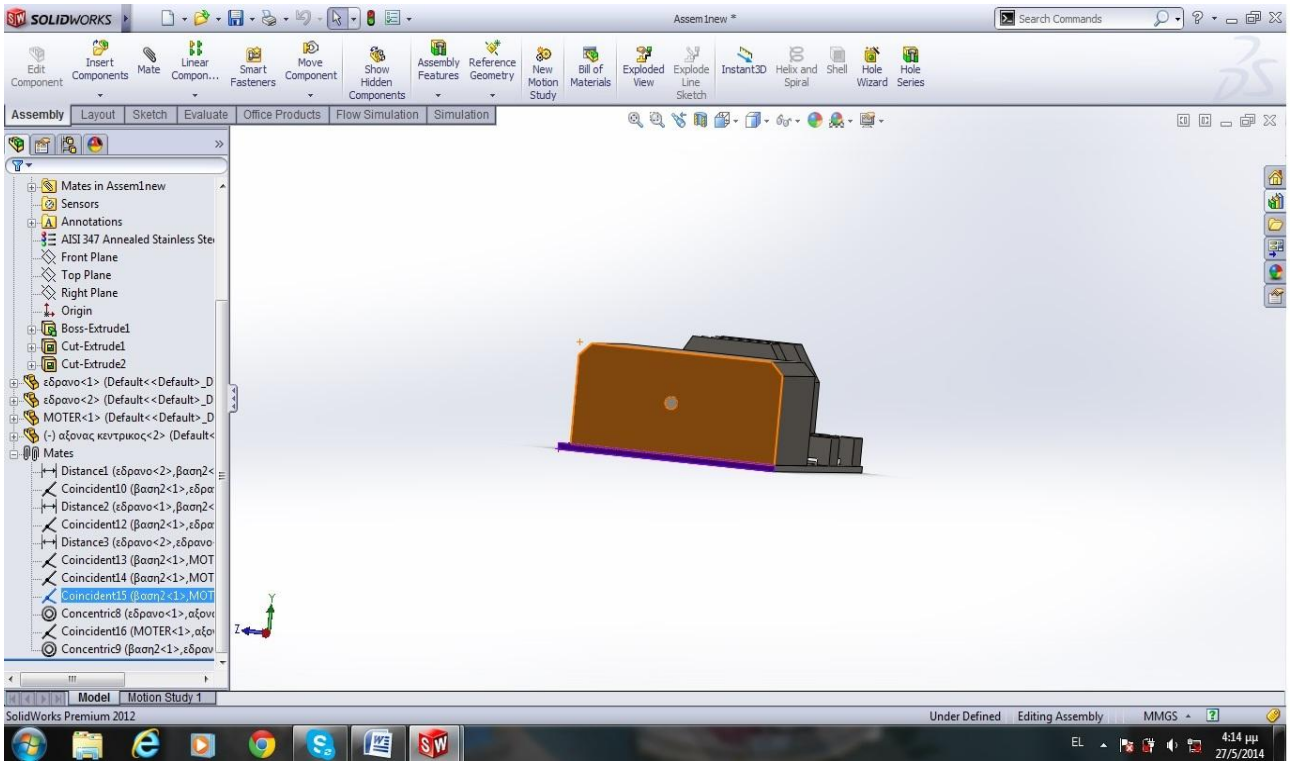


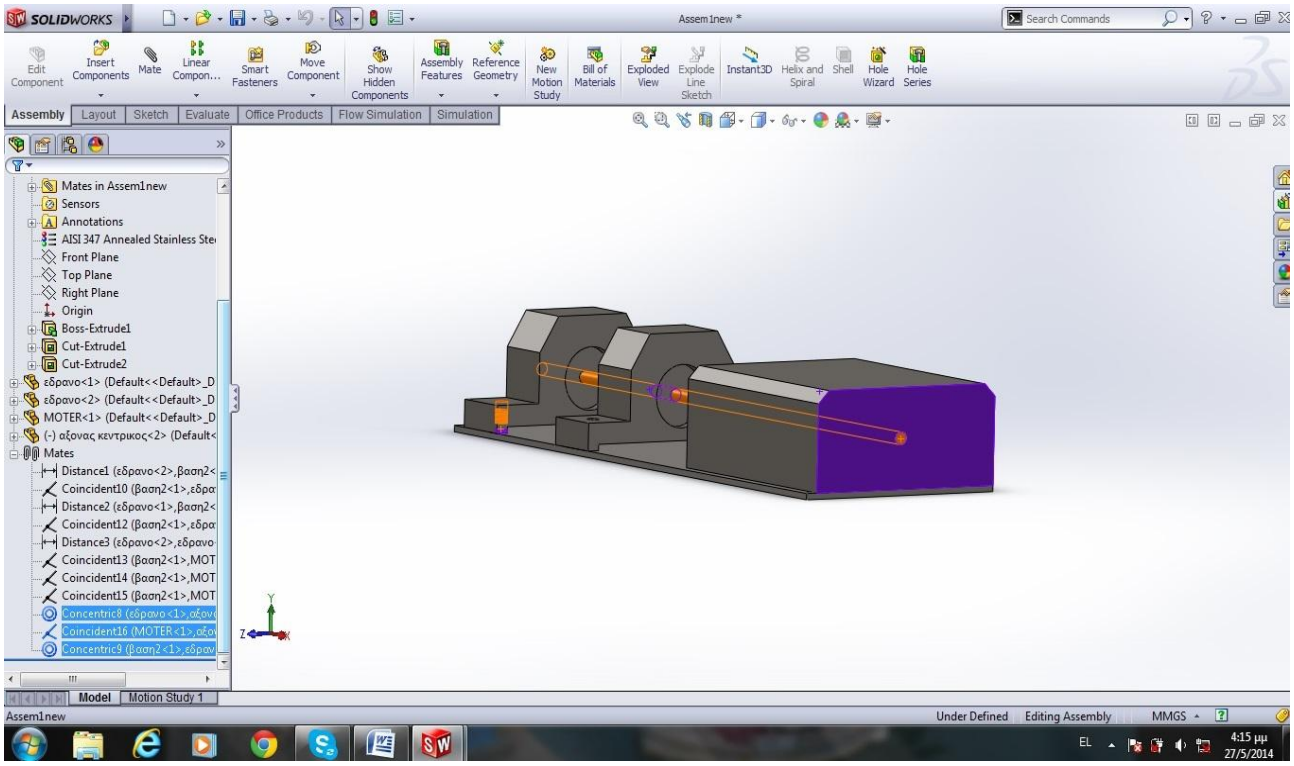
Τα 3 αυτά mates είναι για να γίνουν συνευθειακές αυτές οι επιφάνειες.



Εδώ βλέπουμε την απόσταση ανάμεσα στα έδρανα που είναι 90mm.

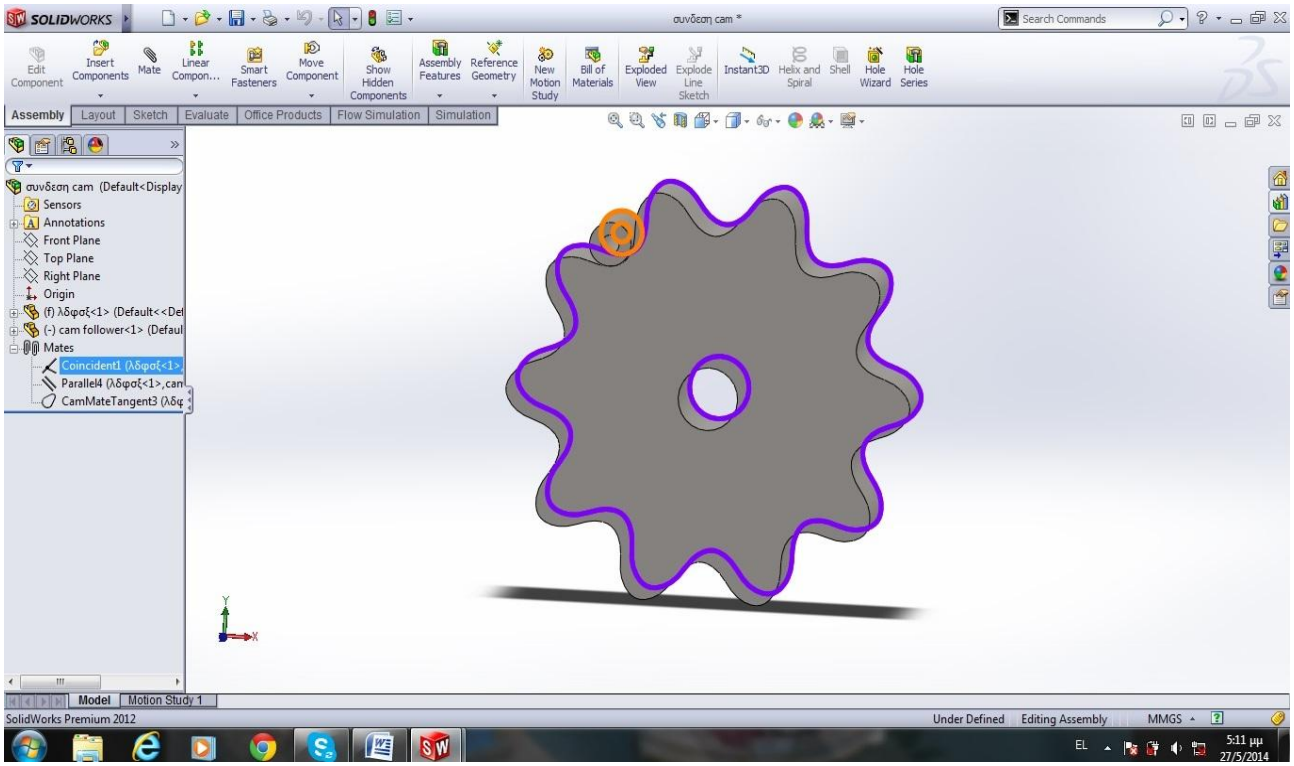

SOLIDWORKS
Assem1new *
Search Commands
Edit Component
Insert Components
Mate
Linear Compon...
Smart Fasteners
Move Component
Show Hidden Components
Assembly Features
Reference Geometry
New Motion Study
Bill of Materials
Exploded View
Explode Line Sketch
Instant3D
Helix and Spiral
Shell
Hole Wizard
Hole Series
Assembly
Layout
Sketch
Evaluate
Office Products
Flow Simulation
Simulation
Mates in Assem1new
Sensors
Annotations
AISI 347 Annealed Stainless Ste
Front Plane
Top Plane
Right Plane
Origin
Boss-Extrude1
Cut-Extrude1
Cut-Extrude2
εδρανο<1> (Default<<Default>_D
εδρανο<2> (Default<<Default>_D
MOTER<1> (Default<<Default>_D
(-) αξονας κεντρικος<2> (Default<
Mates
Distance1 (εδρανο<2>,βαση2<
Coincident10 (βαση2<1>,εδρα
Distance2 (εδρανο<1>,βαση2<
Coincident12 (βαση2<1>,εδρα
Distance3 (εδρανο<2>,εδρανο
Coincident13 (βαση2<1>,MOT
Coincident14 (βαση2<1>,MOT
Coincident15 (βαση2<1>,MOT
Concentric8 (εδρανο<1>,αξονα
Coincident16 (MOTER<1>,αξο
Concentric9 (βαση2<1>,εδραν
Model
Motion Study 1
SolidWorks Premium 2012
Under Defined
Editing Assembly
MMGS
EL
4:13 μμ
27/5/2014

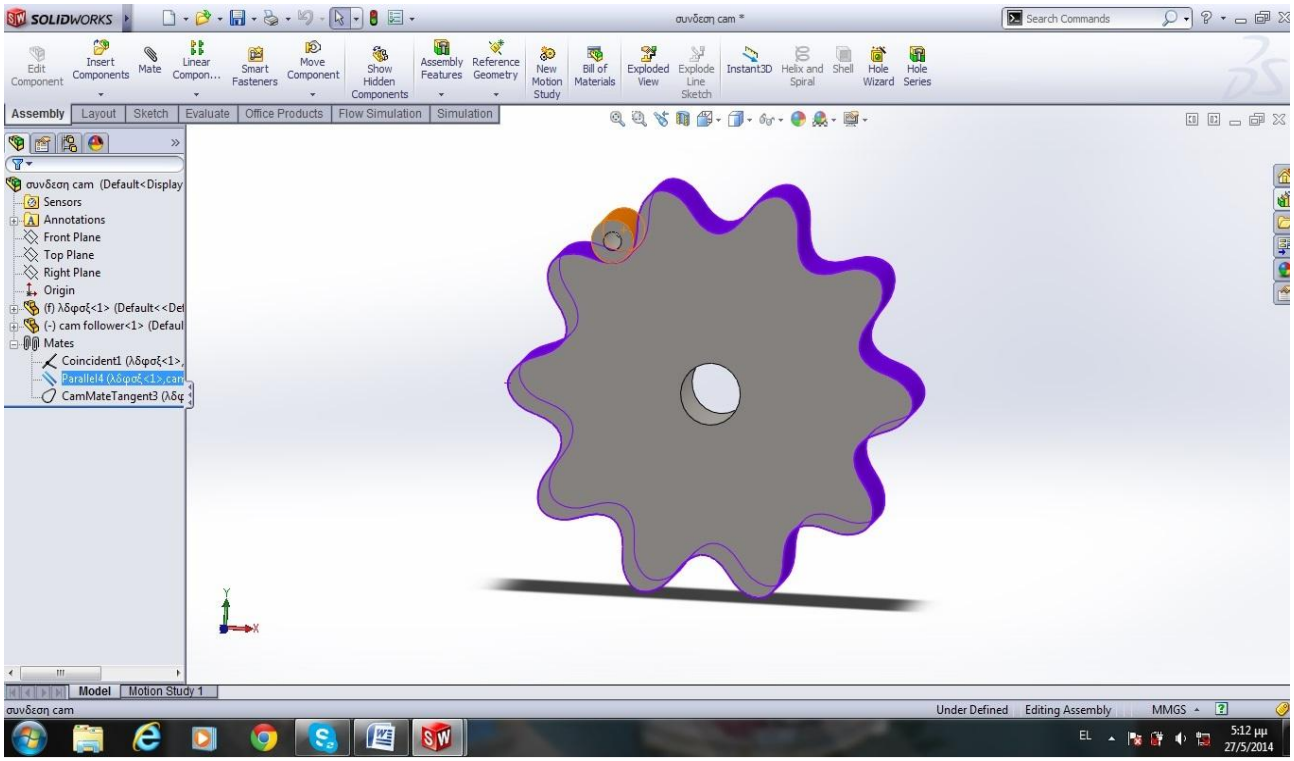

SOLIDWORKS
Assem1new *
Search Commands
Edit Component
Insert Components
Mate
Linear Compon...
Smart Fasteners
Move Component
Show Hidden Components
Assembly Features
Reference Geometry
New Motion Study
Bill of Materials
Exploded View
Explode Line Sketch
Instant3D
Helix and Spiral
Shell
Hole Wizard
Hole Series
Assembly
Layout
Sketch
Evaluate
Office Products
Flow Simulation
Simulation
Mates in Assem1new
Sensors
Annotations
AISI 347 Annealed Stainless Ste
Front Plane
Top Plane
Right Plane
Origin
Boss-Extrude1
Cut-Extrude1
Cut-Extrude2
εδρανο<1> (Default<<Default>_D
εδρανο<2> (Default<<Default>_D
MOTER<1> (Default<<Default>_D
(-) αξονας κεντρικος<2> (Default<
Mates
Distance1 (εδρανο<2>,βαση2<
Coincident10 (βαση2<1>,εδρα
Distance2 (εδρανο<1>,βαση2<
Coincident12 (βαση2<1>,εδρα
Distance3 (εδρανο<2>,εδρανο
Coincident13 (βαση2<1>,MOT
Coincident14 (βαση2<1>,MOT
Coincident15 (βαση2<1>,MOT
Concentric8 (εδρανο<1>,αξονα
Coincident16 (MOTER<1>,αξο
Concentric9 (βαση2<1>,εδραν
Model
Motion Study 1
SolidWorks Premium 2012
Under Defined
Editing Assembly
MMGS
EL
4:14 μμ
27/5/2014



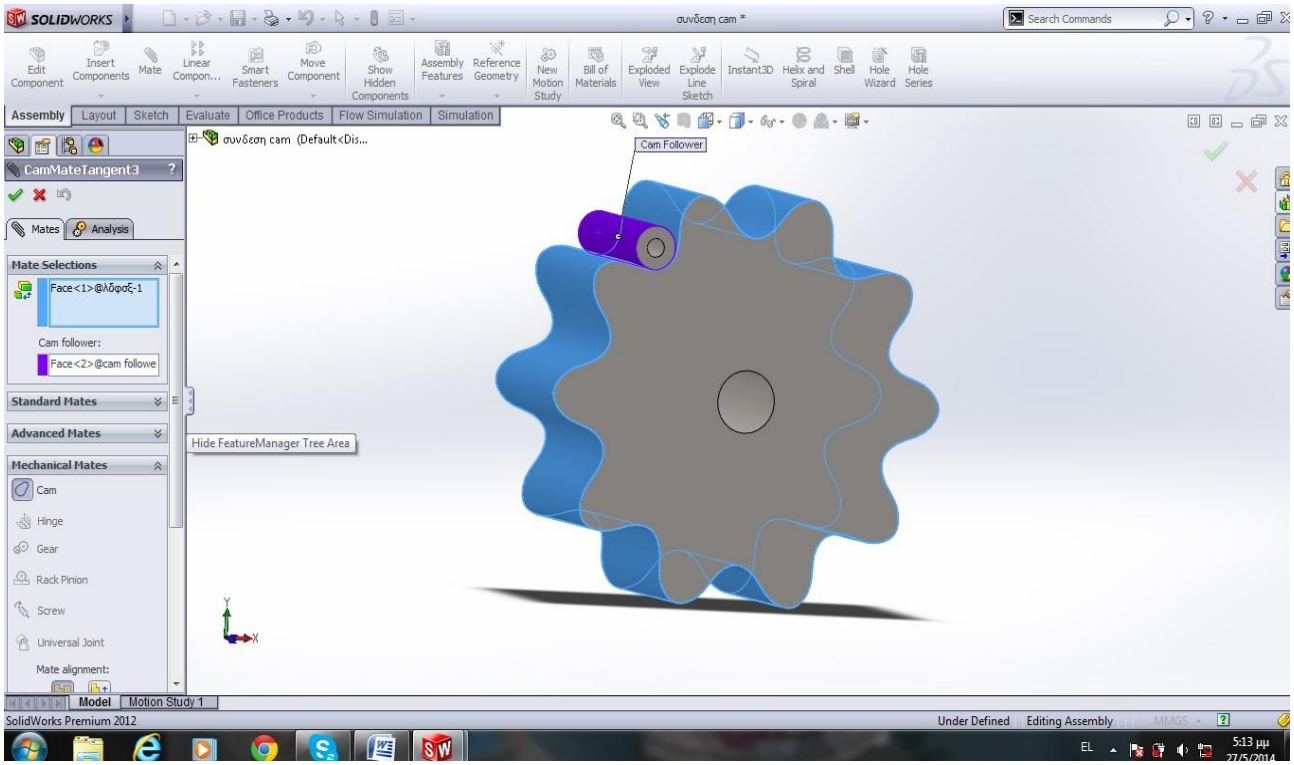
Από τα 3 mates που βλέπουμε τα 2 είναι για την ευθυγράμμιση των κύκλων και το άλλο για να έρθει στην άκρη ο άξονας .

7. Στο assembly (σύνδεση cam) έχουμε τα mates:



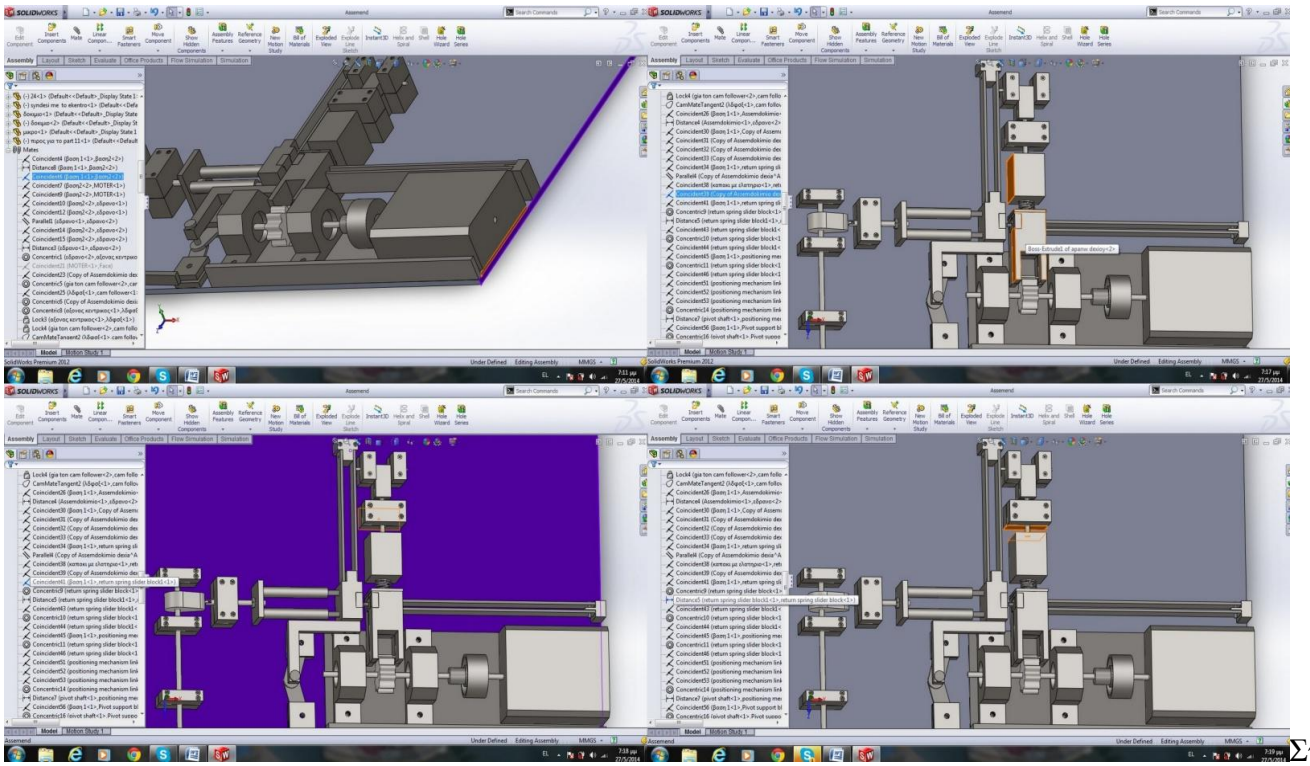


Βάλαμε αυτά τα εξαρτήματα σε παραλληλία.



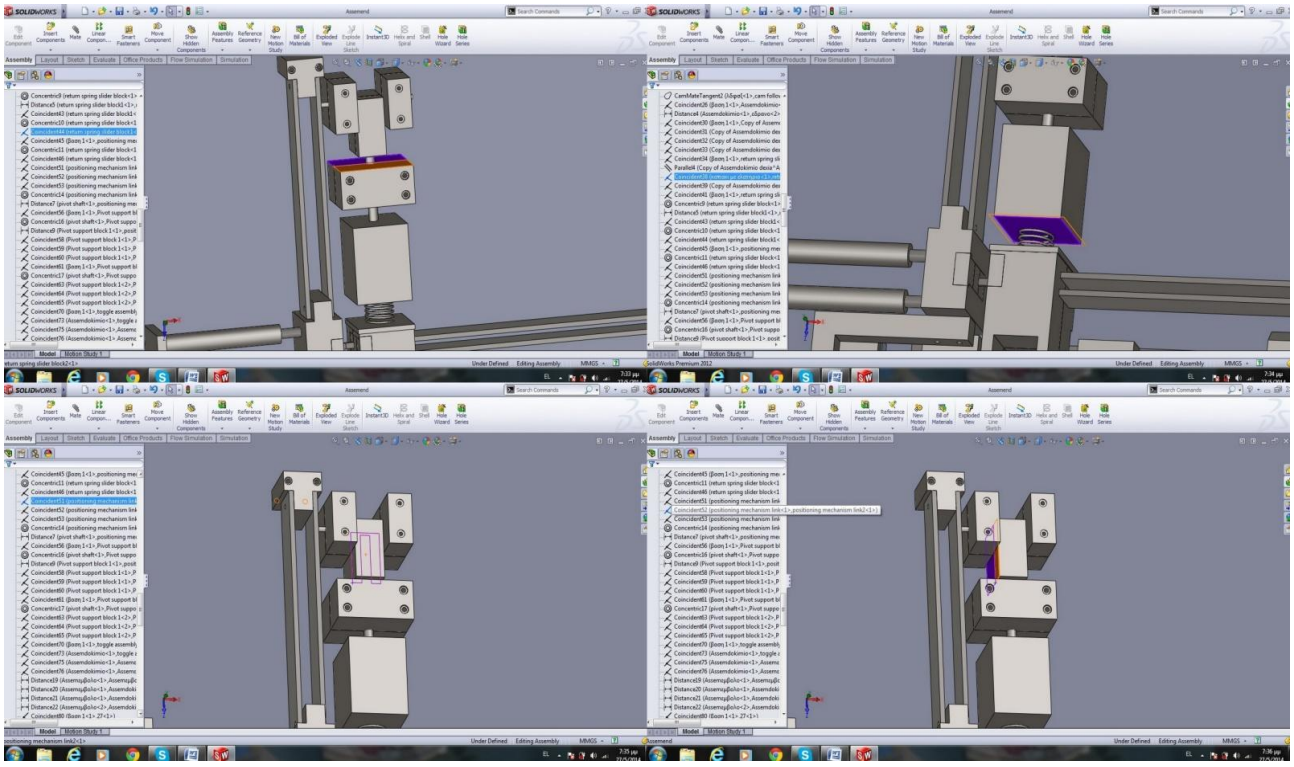
Για να φτιάξουμε αυτό το mate πάμε από την καρτέλα των **mates** στα **mechanical mates** και στην εντολή **Cam**, αυτή η εντολή μας κάνει το κύλινδρο να γυρίζει μαζί με το έκκεντρο.

8. **Επίσης στα ήδη προαναφερθέντα assemblies έχουμε και κάποια άλλα που έγιναν μέσα στο assemend**

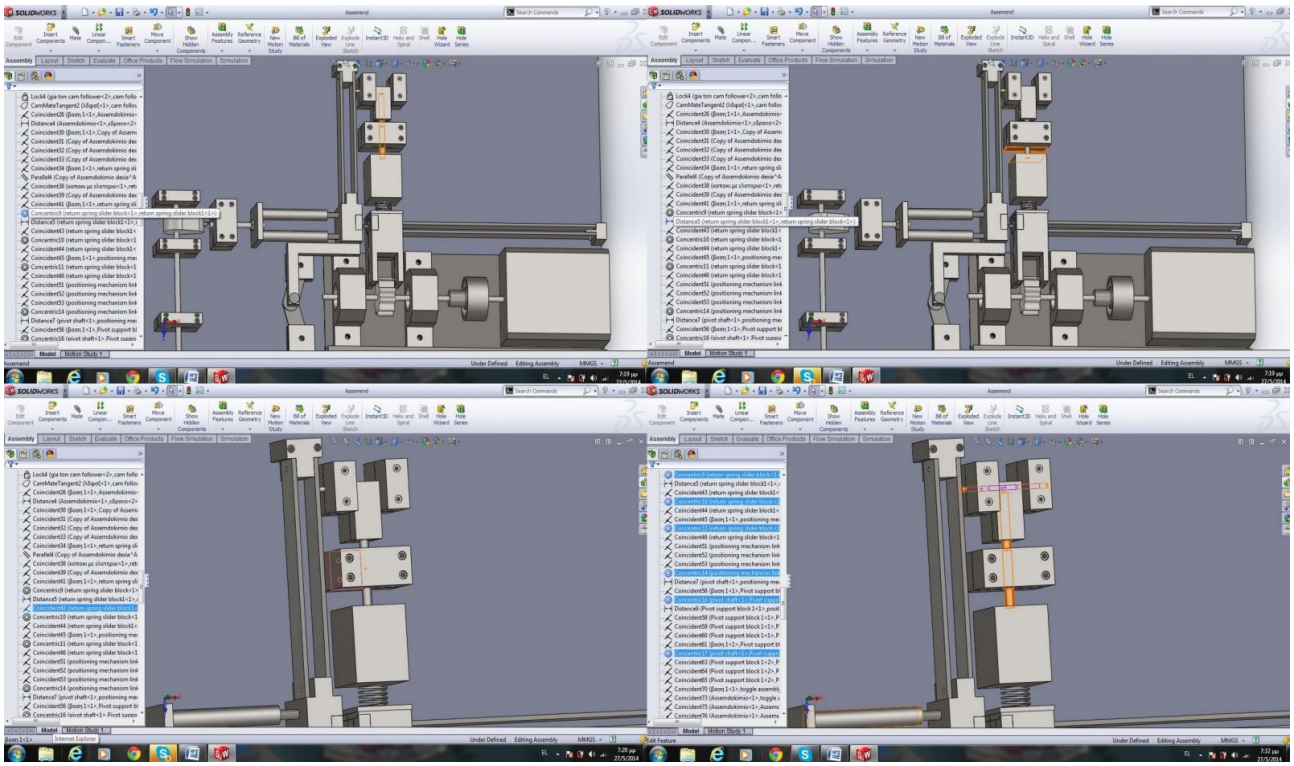


Στην πρώτη εικόνα βλέπουμε την εντολή mates, να εφάπτει την ακμή του μοτέρ με την ακμή της βάσης.

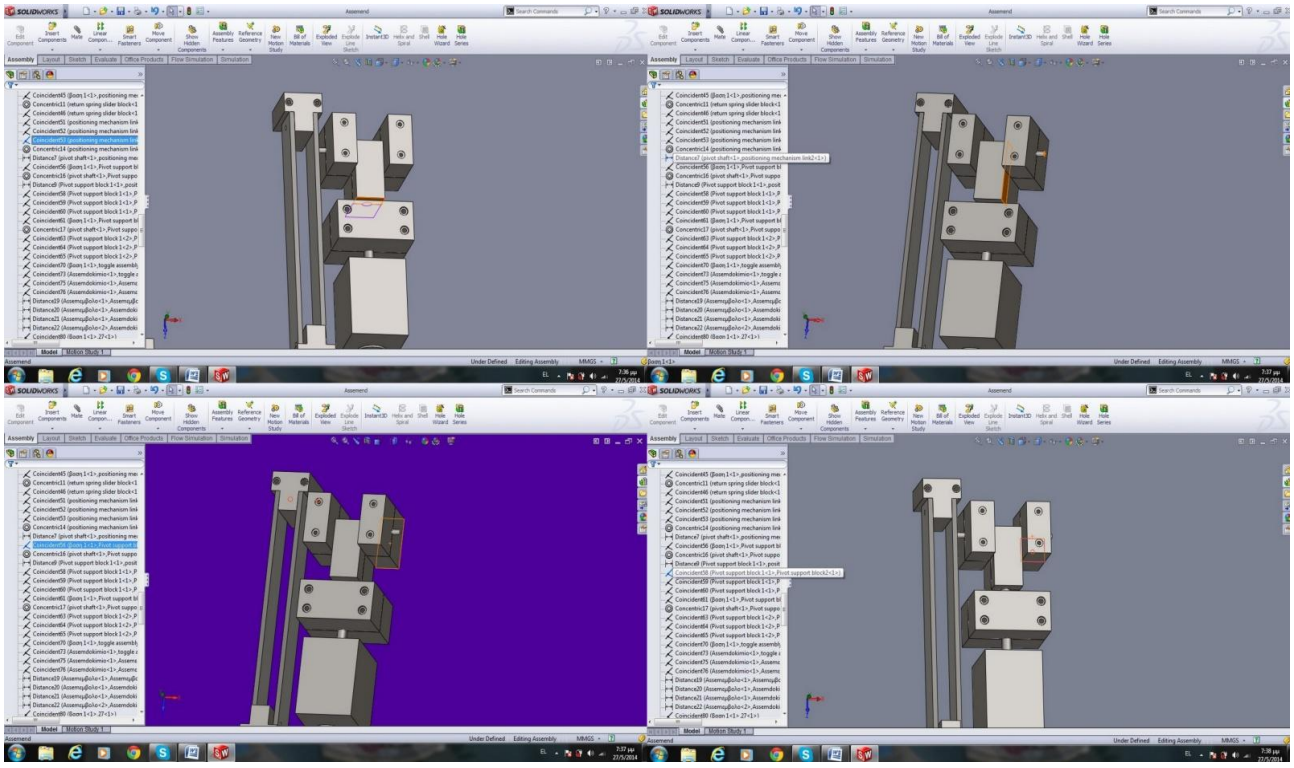
Στην δεύτερη εικόνα οι «πορτοκαλί» επιφάνειες έρχονται στην ίδια ευθεία.
Στην Τρίτη έχουμε την ένωση της βάσης με την κάτω επιφάνεια του μπλοκ ολίσθησης επιστρεφόμενου ελατηρίου.
Και η τελευταία μας δείχνει την απόσταση του μπλοκ με το επιστρεφόμενο ελατήριο εντοπισμού.

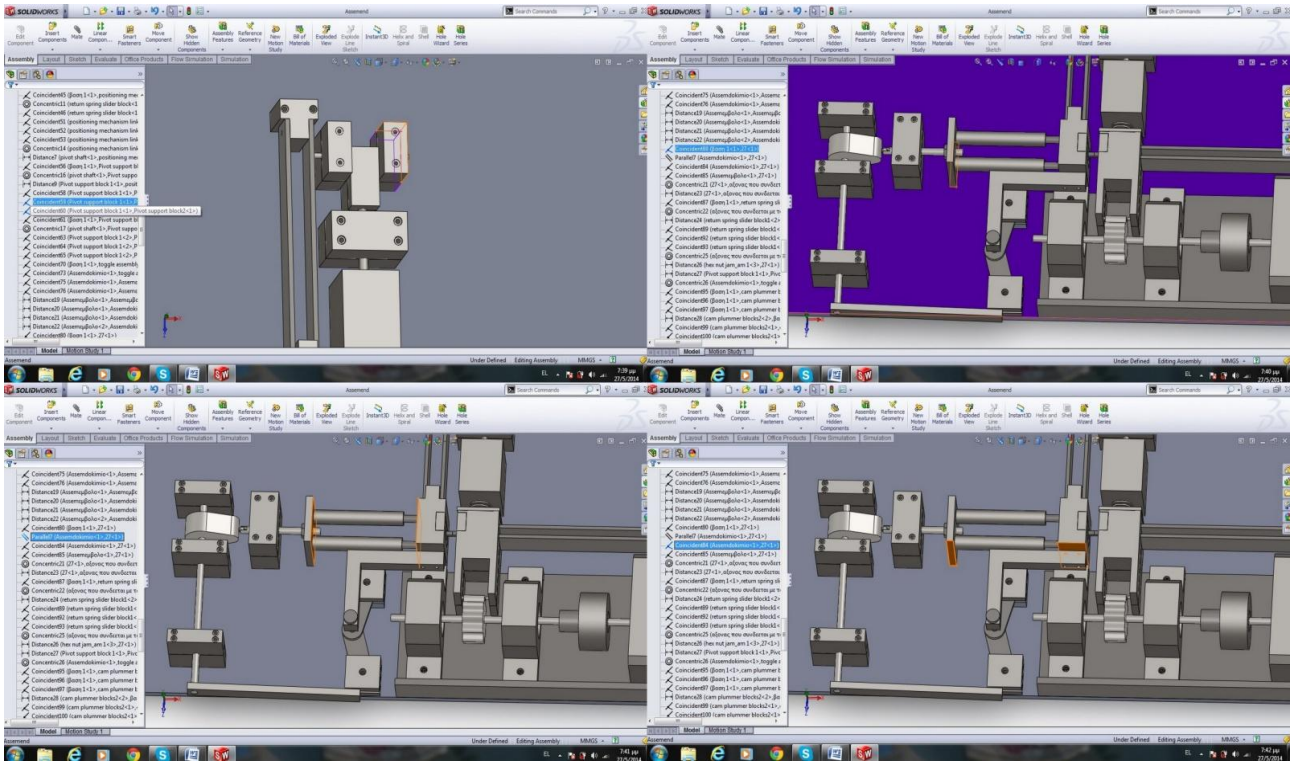


1η: Η ένωση των 2 κομματιών του μπλοκ ολίσθησης επιστρεφόμενου ελατηρίου.
2η: Ένωση του ελατηρίου με το κουτί του επιστρεφόμενου ελατηρίου εντοπισμού.
3η: Οι εσωτερικές λεπτομέρειες του μηχανισμού συνδέσμου τοποθέτησης

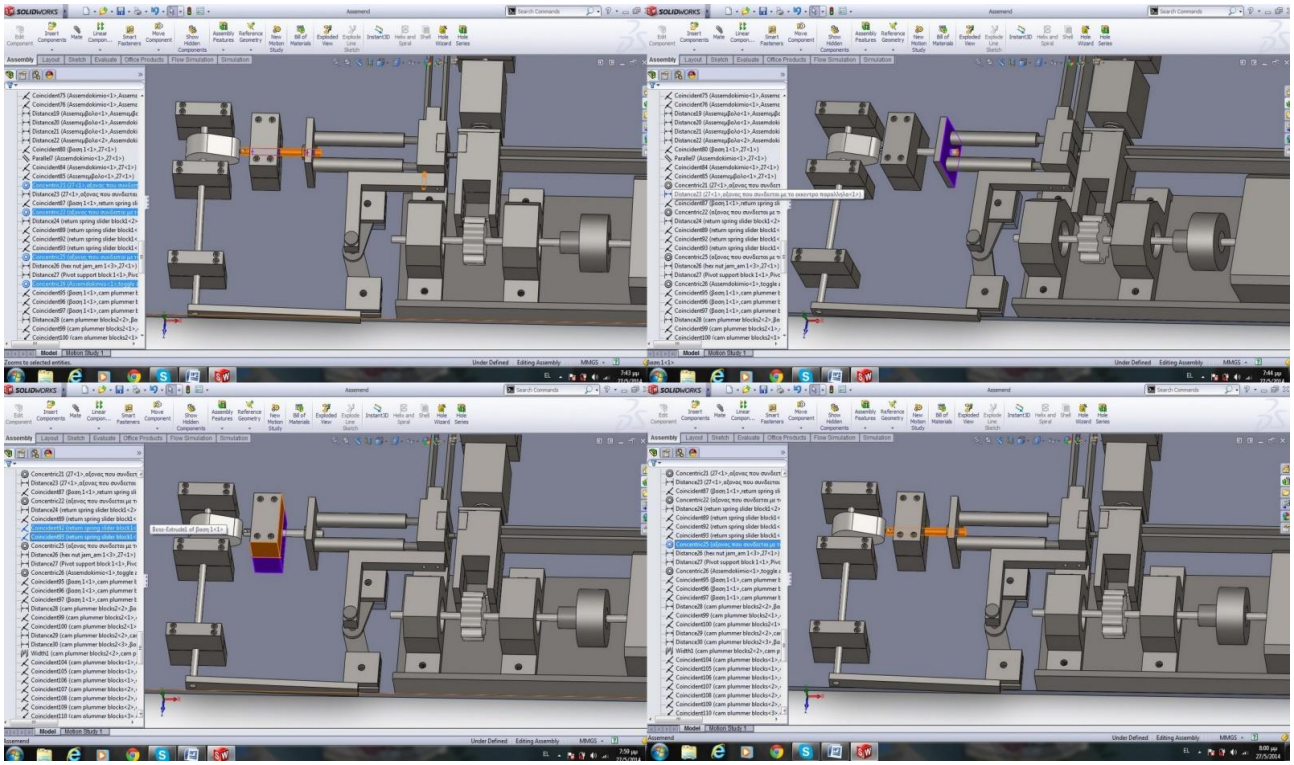


Όλα τα άλλα τα έχουμε ξαναπεί , στην τελευταία εικόνα είναι όλα τα Concentric των αξόνων σε αυτό το κομμάτι του μηχανήματος.

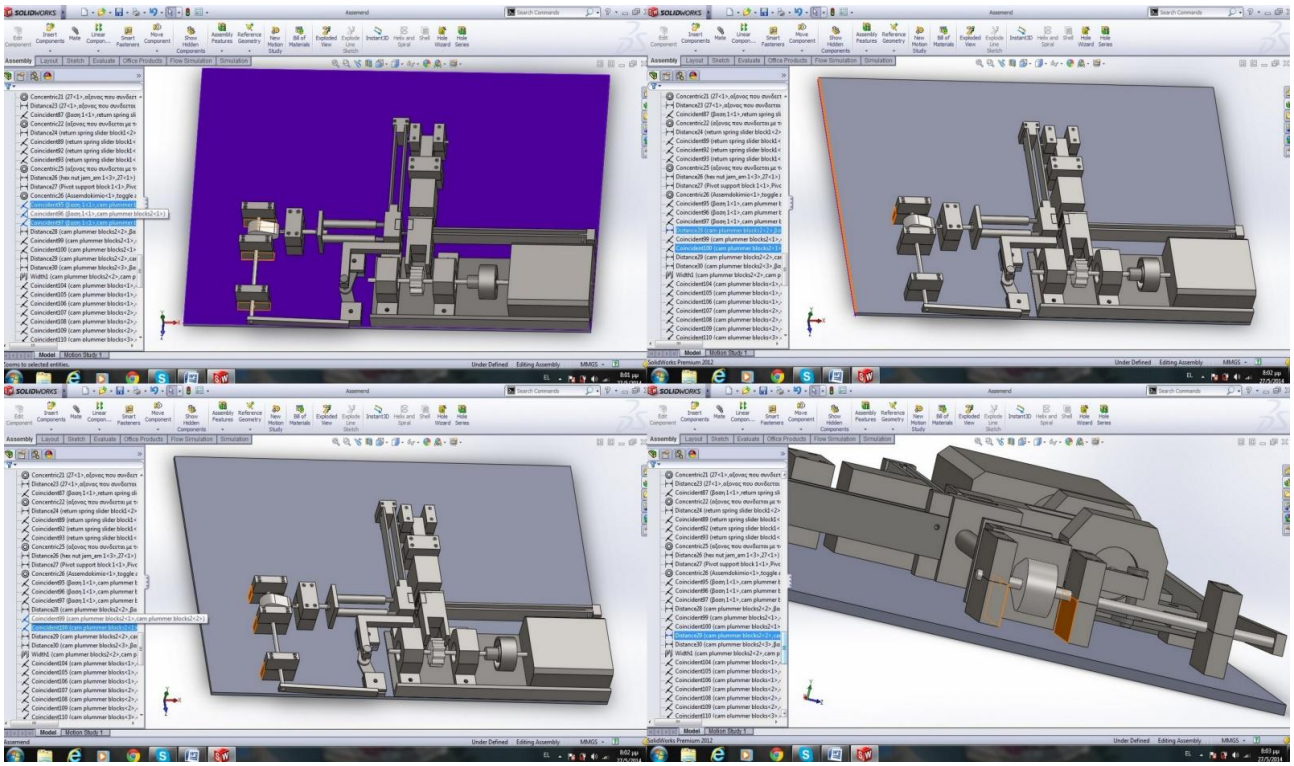


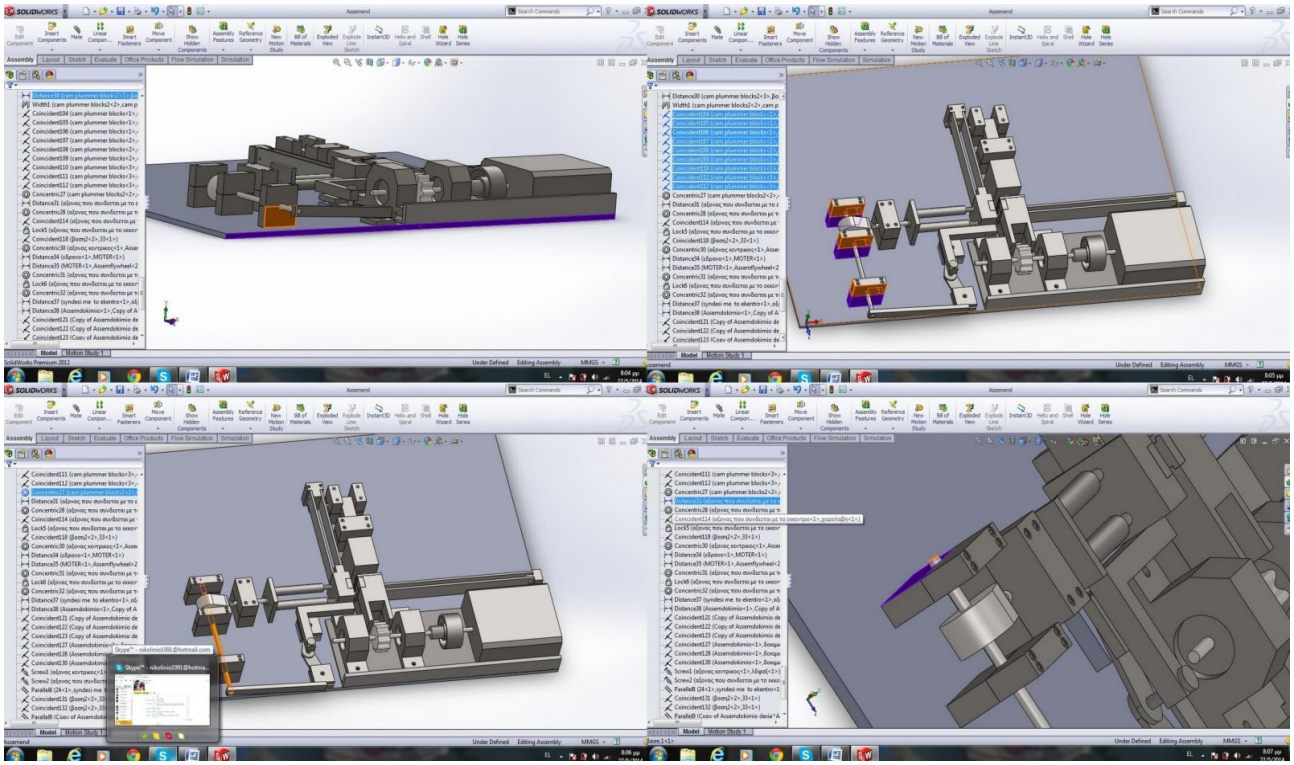


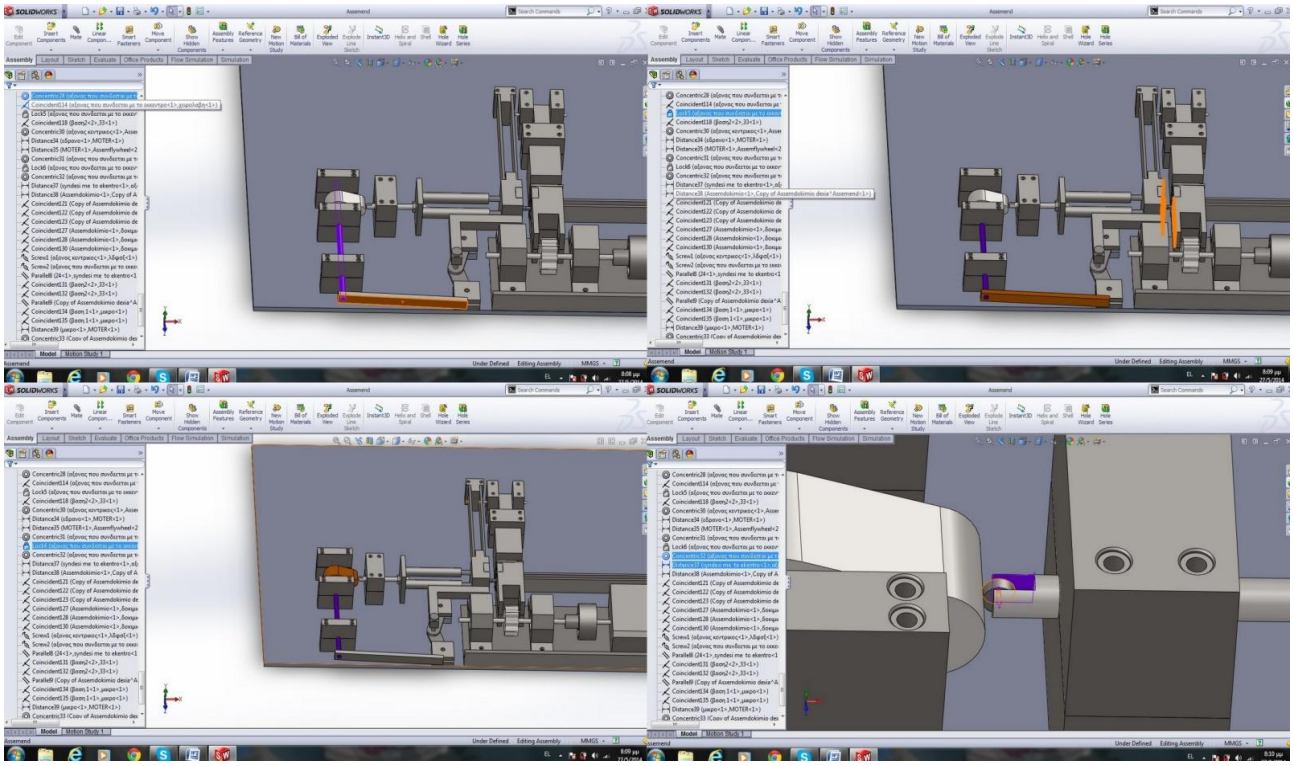
1η: Τοποθέτηση του μπλοκ στη βάση
2η: Τοποθέτηση του οδηγού των ελατηρίων
3η: mate απόστασης.
4η: mate ευθυγράμμισης.



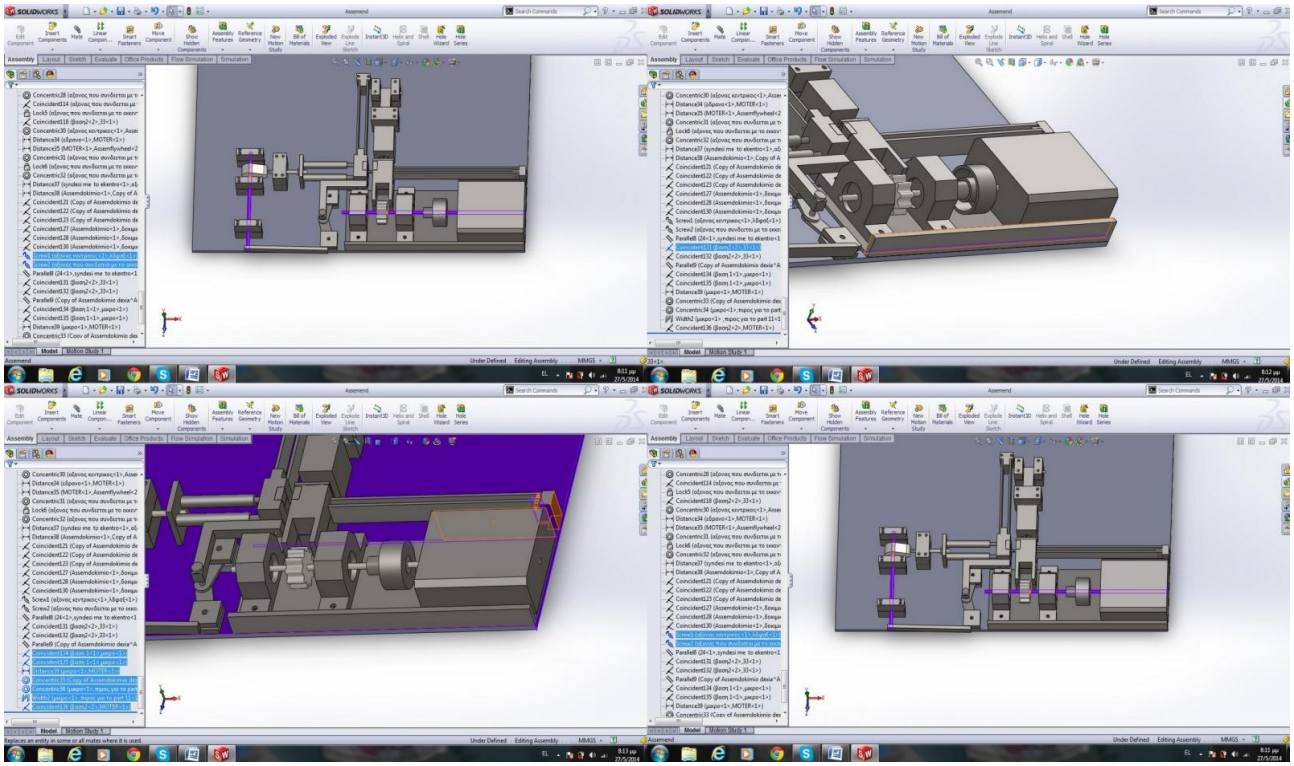
1η: Τοποθετήσεις αξόνων και πίρων.
2η: Απόσταση του οδηγού με την άκρη του άξονα.
3η: Τοποθέτηση για ευθυγράμμιση του ρυθμιστή για το αξονικού ελατήριου.



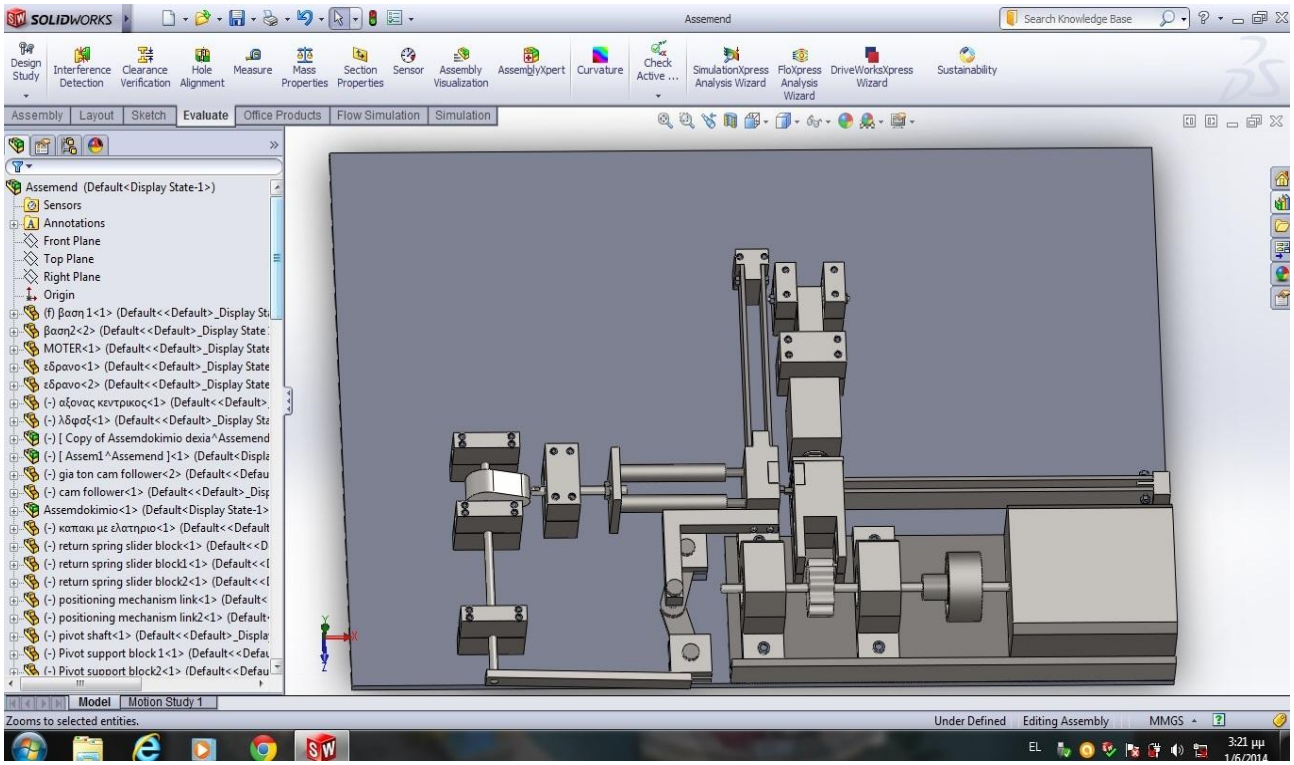




Για την 1η και την 3η έχει γίνει lock για να κουνιούνται μαζί. (δηλαδή να κουνάς τον βραχίονα και να κινείται μαζί και ο άξονας και το έκκεντρο με την ίδια φορά.

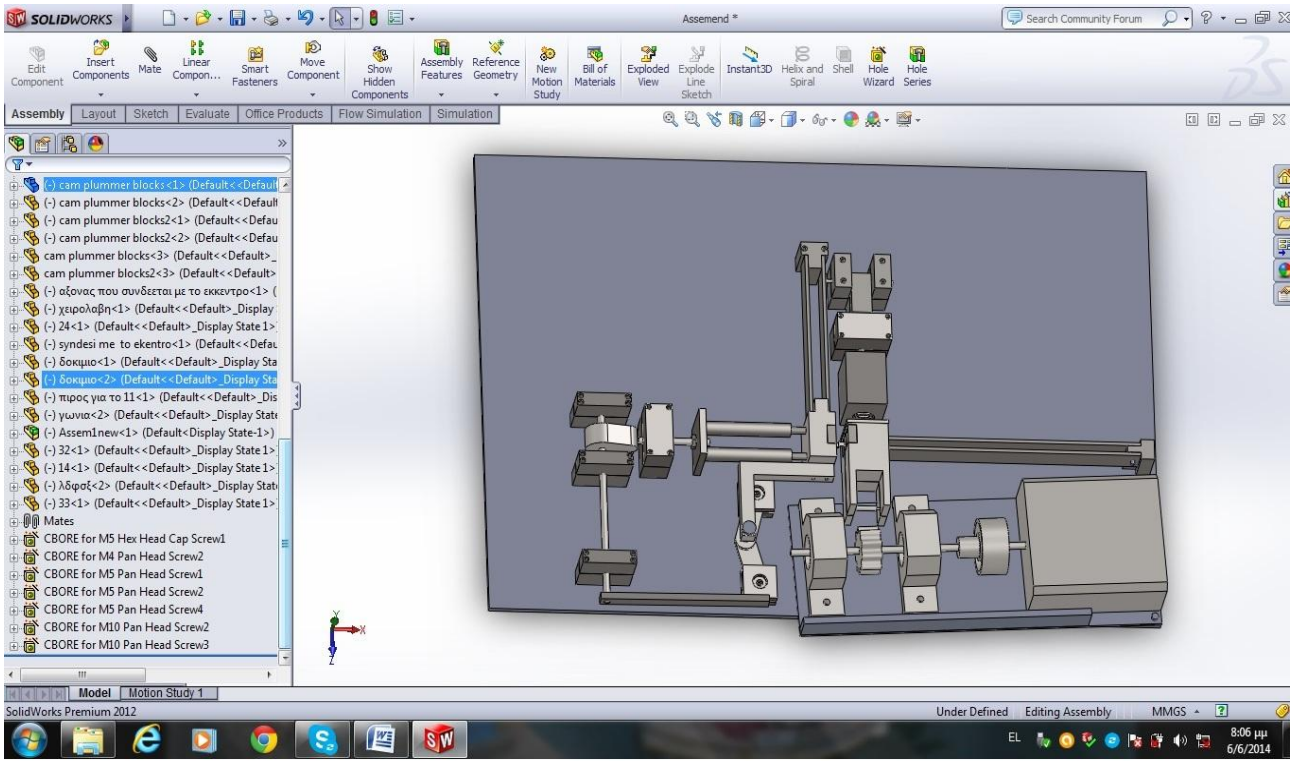


8 ΜΗΧΑΝΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΕ ΤΡΙΒΗ



Σημείωση:

Σε όλα τα hole wizard , η απόσταση της εμβάθυνσης της κεφαλής των βιδών από 1 έγινε 4mm.



Εδώ βλέπουμε την διακοπή της συγκόλλησης των δοκιμίων με την απεμπλοκή της συγκράτησης εναλλαγής και την απομάκρυνση του λοβωτού έκκεντρου της βάσης 1 από τον ακόλουθο κέντρο.

Βιβλιογραφία:

1. Stokes, V.K. Vibration welding of thermoplastics. Part I:
Phenomenology of the welding process. Polymer Engineering and Science **1988**, *28* (11), 718–727.
2. Garton, J.H.L. Investigation into Linear Friction Welding of Blisks. B. Eng thesis, University of Bristol, 1987.
3. Phillips, N.A. High frequency Linear Friction Welding Rig.
B. Eng thesis, University of Bristol, 1992.
4. Vairis, A.; Frost, M. High frequency linear friction welding of a titanium alloy. Wear **1998**, *217*, 117–131.
5. Bayindir, R.; Ates, H. Comparison of the constructed control methods for a friction-welding machine. Materials and Manufacturing Processes **2005**, *20* (2), 131–146.
6. V. I. Vill. Friction Welding of Metals. Moscow: Mashinostroenie,1970. (in Russian)
7. A.Vairis, M.Frost. On the extrusion stage of linear friction welding of Ti6Al4V. Material Science and Engineering, **A271** , 477 (1999).
8. ANSYS Mechanical APDL Basic Analysis Guide. Release 13.0. ANSYS Inc., November 2010. [Electronic resource]
9. L. D. Landau, E. M. Lifshitz. Course of Theoretical Physics in 10 volumes. Volume 7. Theory of Elasticity. Moscow: Nauka, 1987. (in Russian)
10. GOST 19807-91: Wrought titanium and titanium alloys. Grades. Moscow: Standarts Publ., 1991. (in Russian)
11. Characteristics of titanium alloy VT6. Database of Steel and Alloys. (in Russian) URL: http://www.splav.kharkov.com/mat_start.php?name_id=1298 (access date: 19.10.2012)
12. A. Vairis , M. Frost. Modelling the linear friction welding of titanium blocks. Materials Science and Engineering A, 292, 8 (2000).
13. N. I. Kavallaris, A. A. Lacey, C. V. Nikolopoulos, C. Voong Ima. Journal of Applied Mathematics Advance αccess published September 25, 2007.
14. Wen-Ya Li, Tiejun Ma, Jinglong LiMaterials and Design 31, 1497 (2010).
15. J. Sorina-Muller, M. Rettenmayr, D. Schneefeld, O. Roder, W. Fried. Computational Materials Science 48, 749 (2010).
16. Turner R et al.. Acta Mater (2011), doi:10.1016/j.actamat.2011.02.028.
17. A. Vairis. High freqncncy lincar friclion welding. PhD Thesis. Universily of Brislol. 1997.
18. E.D. Nicl~)las. Fricliou welding non-circu|ar ~ctions wilh tincar moliou--a preliminary study, The Welding Inslitulc. 1987.
19. S. Caldara. Blisks---an invcsligatkm into the linear friction welding ,fftitanium alloy IMI 3 Ig. B. Eng. Thesis. Universily of Bristol. 1987.
20. H.H KmJ. W.A. Bacslack. Mater+ Char. 28 (Iq~21 15%164.
21. W.A. Bac.~lack, T.F. Brtatcrick. M. Juhu.s, Fi.L. Frdscr. Malcr. C "bar. 33 (Ibm4) 357-367.
22. E.D. Nicholas. Friction surfia:ing and linear friclion welding. 3rd Intcrnalional SAMPE Metals Coufcrcncc. October PY92. pp. 450-- 463.
23. P. Chaudhury. D, Zhao. Alias o[' fonnabilily: TI 6AI 4V ELl. Nalioual Center for Excellence in Melalworking Technology. ! 992.
24. t A. Vairis. Investigation of frictional hchavioor of various materials under sliding condilious, Ear. J. Mech.. A/Solit.h I6 ! 1997) 929-945,
25. E,J. Sluclz. T.L. Ohedc. B.C. Bn~hccr. Am. Math. 21 ~ i967) 113-12D.
26 A. Vairis, M. Frost, Wear 217 (1998) 117.

27. A. Vairis, M. Frost, Mater. Sci. Eng. A271 (1999) 477.
28. A. Vairis, High Frequency Linear Friction Welding, Ph.D. thesis, University of Bristol, Bristol, 1998.
29. M.F. Ashby, Mater. Sci. Tech. 8 (1992) 102.
30. H.S. Carslaw, J.C. Jaeger, The Conduction of Heat in Solids, Oxford University Press, London, 1959, p. 113.
31 R.H. Perry, D. Green, Perry's Chemical Engineer's Handbook, McGraw-Hill, New York, 1997, pp. 2–194.
32. Titanium Alloy IMI 318 Data Booklet, IMI Titanium Ltd., UK.
33 A. Vairis, Eur. J. Mech. A Solids 16 (1997) 929.
34. P. Chaudhury, D. Zhao, Atlas of Formability: Ti6Al4V ELI, National Center for Excellence in Metalworking Technology, Johnstown, USA, 1992.