ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΘΕΣΗΣ ΑΞΟΝΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ LASER DOPPLER

Γ. ΒΟΣΝΙΑΚΟΣ, Π. ΚΑΤΣΟΥΔΑΣ, Θ. ΨΑΘΑΣ

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών,
Τομέας Τεχνολογίας των Κατεργασιών, 15780 Ζωγράφου, Αθήνα.

e-mail: vosniak@central.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κοινότερο σφάλμα που παρουσιάζεται σε εργαλειομηχανές CNC είναι η απόκλιση της πραγματικής από την επιθυμητή (ιδανική) θέση ενός αριθμητικά ελεγχόμενου άξονα. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μεθοδολογία λήψης τέτοιων μετρήσεων κατά το πρότυπο ISO 230-2, με χρήση συστήματος laser doppler, η επεξεργασία τους και η χρήση τους, στη συνέχεια, για βελτίωση της ακρίβειας της εργαλειομηχανής με αντιστάθμιση. Οι μετρήσεις έγιναν σε κέντρα τόρνευσης δύο αξόνων, και κάθετο κέντρο κατεργασιών τριών αξόνων. Σχολιάζονται θέματα αντιστάθμισης, αυτοματοποίησης και σύγκρισης προτύπων.

Λέξεις-Κλειδιά: Εργαλειομηχανές, CNC, σφάλμα θέσης, laser doppler.

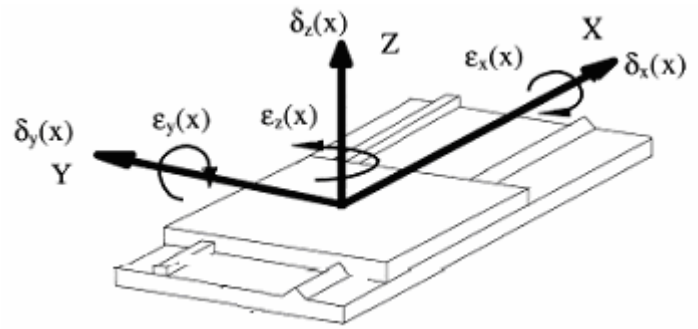
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κύριες εργαλειομηχανές στο σύγχρονα εργοστάσια παραγωγής μερίδων εξαρτημάτων είναι πλέον CNC, δηλαδή οι κινήσεις που εκτελούνται από τα εργαλεία, τραπέζια και τα άλλα κύρια μέρη τους (άξονες) ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω προγράμματος. Οι εργαλειομηχανές CNC επιτυγχάνουν υψηλή ακρίβεια κατεργασίας, πχ κυκλικότητα, επιπεδότητα, διαστασιακή απόκλιση προϊόντος της τάξης των λίγων μm, ακόμη και για συνηθισμένης ποιότητας εργαλειομηχανές [1]. Λόγω της υψηλής ακρίβειας κατεργασίας, τα σφάλματα που εμφανίζονται στα δομικά μηχανικά, αλλά και ηλεκτρονικά στοιχεία της εργαλειομηχανής είναι πολύ σημαντικό να μετρώνται και, στη συνέχεια, όσο αυτό είναι εφικτό, να διορθώνονται ή να αντισταθμίζονται.

Υπάρχουν τρεις κύριες πηγές σφαλμάτων στις εργαλειομηχανές που καθορίζουν την επιτεύξιμη ακρίβεια μιας εργαλειομηχανής, δηλαδή σφάλματα λόγω γεωμετρικών ατελειών και απορυθμίσεων, σφάλματα που οφείλονται στην κατανομή της θερμοκρασίας και σφάλματα που οφείλονται στο φορτίο λειτουργίας [2]. Έχει τεκμηριωθεί [3] ότι τα γεωμετρικά σφάλματα ξεπερνούν το 40 % του συνολικού σφάλματος που παρουσιάζει μια εργαλειομηχανή. Για παράδειγμα, για ένα κάθετο κέντρο κατεργασιών 3 αξόνων, υπάρχουν συνολικά 21 συνιστώσες γεωμετρικών σφαλμάτων, εκ των οποίων 3 είναι γραμμικά σφάλματα θέσεως (σφάλματα κλίμακας), 6 σφάλματα ευθύτητας, 9 γωνιακά σφάλματα και 3 ορθογώνια σφάλματα αξόνων. Αν απομονωθεί ένας άξονας, π.χ. ο γραμμικός άξονας X του τραπεζιού του κέντρου κατεργασιών, οι συνιστώσες γεωμετρικών σφαλμάτων, βλ. Εικ.1 . Η συνιστώσα $\delta_x(x)$ αποτελεί το γραμμικό σφάλμα θέσης.

Μετά το 1970, παρουσιάστηκαν εκτενείς αναφορές που παρουσίαζαν τεχνικές αυτόματης αντιστάθμισης σφαλμάτων ευθύτητας και μοντέλα ογκομετρικής ακρίβειας της θέσης της εργαλειομηχανής στο χώρο [4]. Η εργασία [5] συνδύασε πολλά από τα στοιχεία της μελέτης [6] και απέδειξε πειραματικά αύξηση της επιτεύξιμης ακρίβειας των

κατεργασμένων τεμαχίων κατά 70%. Η [7] βασίστηκε σε μοντέλα κινηματικής για την μοντελοποίηση της αντιστάθμισης των σφαλμάτων των εργαλειομηχανών. Η εργασία [3] πρότεινε επτά διαφορετικές διαδικασίες για τον χαρακτηρισμό των εργαλειομηχανών CNC, μεταξύ των οποίων δοκιμές ογκομετρικής ακρίβειας, προθέρμανσης, δυναμικής απόκρισης της ατράκτου κλπ.



Εικόνα 1. Γεωμετρικά σφάλματα ενός άξονα κέντρου κατεργασιών.

Για τη βελτίωση της ακρίβειας της εργαλειομηχανής, πέραν των βελτιώσεωμ του hardware, η αντιστάθμιση των σφαλμάτων, όταν είναι δυνατή, όπως, κυρίως, για μικρά γεωμετρικά σφάλματα,, αποτελεί καλή εναλλακτική λύση. Η πλειοψηφία των μεθόδων αντιστάθμισης σφαλμάτων περιλαμβάνει την χαρτογράφηση των σφαλμάτων της μηχανής και την διόρθωση της επίδρασης του σφάλματος.

Προκειμένου περί σφαλμάτων θέσης γραμμικών αξόνων, που αποτελούν και αντικείμενο της παρούσας εργασίας, εφαρμόζονται τεχνικές μέτρησης με ακτίνα laser, είτε βάσει συμβολομετρίας (κυρίως με συμβολόμετρο μιας ή δύο συχνοτήτων) [8],[9], είτε βάσει της αρχής Doppler. Η δεύτερη μέθοδος είναι πιο σύγχρονη και εξασφαλίζει παρόμοια ακρίβεια, αλλά με λιγότερα οπτικά, ευκολότερη ρύθμιση και μικρότερες απαιτήσεις χώρου, παρουσιάζεται δε σύντομα στη συνέχεια.

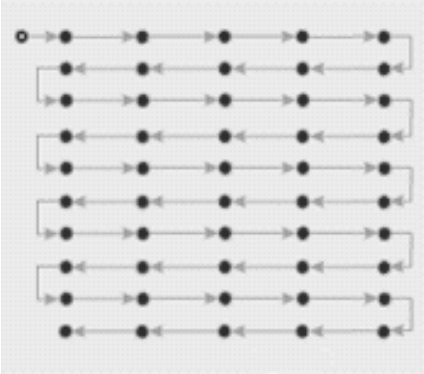
2. ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ LASER DOPPLER

Η συσκευή LDDM χρησιμοποιεί το φαινόμενο Doppler μιας συχνότητας Laser κατά τη μετακίνηση ενός κινούμενου στόχου, για την ακριβή μέτρηση της μετατόπισής του στόχου σε μια ακτίνα μερικών μέτρων.

Ο κινούμενος στόχος (εδώ ένας ανακλαστικός φακός) δέχεται εκπομπή φωτός από μια ακτίνα Laser, Το ανακλώμενο φως παρουσιάζει μετατόπιση φάσης συχνότητας εξαιτίας της κίνησης του ανακλαστικού φακού. Η μετατόπιση της συχνότητας Doppler υπολογίζεται ως $f = 2*fo*\upsilon/c$ ή ως $\Delta f/(2*\pi) = (2*fo*\Delta z)/c$, όπου f και Δf είναι η συχνότητα και η μετατόπιση φάσης της αντίστοιχα, υ η ταχύτητα και Δz και η μετατόπιση του ανακλαστικού φακού, fo η συχνότητα της ακτίνας Laser και c η ταχύτητα του φωτός. Ένας ανιχνευτής φάσης μετρά τη μεταβολή της φάσης του κύματος, που αντιστοιχεί στη μετατόπιση του ανακλώμενου φακού. Όταν η μετατόπιση είναι μεγαλύτερη από το μισό του μήκους κύματος εκπομπής του παλμού λ/2, ένας μετρητής καταγράφει της συνολικές αλλαγές φάσης, δηλαδή $(\Delta\varphi)total = 2\pi N + \varphi$, όπου N είναι ο αριθμός των μηκών ημι-κυμάτων και φ είναι η γωνία φάσης μικρότερη του 2π. Η ολική μετατόπιση ισούται με $\Delta z = c(N + \pi\varphi/2)/2fo$. Ένας μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιείται για την ανάγνωση του μετρητή και της γωνίας φάσης, μετατρέπει τα δεδομένα σε μονάδες μήκους μετατόπισης, αντισταθμίζει την τιμή της σταθεράς της ταχύτητας του φωτός σε σχέση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας, της πίεσης και της υγρασίας και επικοινωνεί με έναν εξωτερικό υπολογιστή ή επεξεργαστή.

Η ανάλυση (resolution) της συσκευής συμπίπτει με την ελάχιστη τιμή της φάσης φ, η οποία οριοθετείται από το ποσοστό του ηλεκτρονικού θορύβου παραμόρφωσης στο σήμα και την τετραγωνική ρίζα του φασικού θορύβου. Η μέγιστη ταχύτητα στην οποία μπορεί να επιτευχθεί μέτρηση (slew rate), καθορίζεται από το πλάτος του φασικού ανιχνευτή και τον μετρητή. Για ένα τυπικό σύστημα LDDM, το πλάτος είναι ίσο με 3 MHz, που αντιστοιχεί σε μια ταχύτητα 50 m/min. Από την εξίσωση $\Delta z = c*(N + \varphi/2*\pi)/2*fo$, προκύπτει ότι υψηλή ανάλυση και υψηλή ταχύτητα μπορούν να επιτευχθούν ταυτόχρονα.

Εικόνα 2 Τα στοιχεία του συστήματος LDDM



Εικόνα 3 Τυπικός μετρ.κύκλος.

Το σύστημα LDDM που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία είναι το MCV-500 της Optodyne [10]. Αποτελείται από Κεφαλή Laser / Οπτοηλεκτρονικών, Κιβώτιο Επεξεργαστή, Καλώδια Επικοινωνίας / Ισχύος, 2 Ανακλαστικούς Φακούς, Αισθητήρες Θερμοκρασίας περιβάλλοντος και μηχανής όπως και ατμοσφαιρικής πίεσης, φορητό υπολογιστή με λογισμικό καταγραφής και επεξεργασίας μετρήσεων , μαγνητικές βάσεις τοποθέτησης, βλ. Εικ. 2. Η σταθερότητα του Laser είναι 0,1 ppm, η ανάλυση του συστήματος : 10 nm και η μέγιστη απόσταση μέτρησης 15 m. Το σύστημα λειτουργεί σωστά σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος 15 ως 32 βαθμούς Κελσίου.

3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΞΟΝΩΝ

Πρόκειται για την πιο κοινή μέτρηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε εργαλειομηχανές CNC. Οι τιμές του σφάλματος θέσεως μπορούν αναλυθούν στατιστικά με τη βοήθεια λογισμικού, κατά τις αντίστοιχες προβλεπόμενες προδιαγραφές που ορίζουν τα σχετικά διεθνή πρότυπα. Σε επόμενο στάδιο, σε πολλές σύγχρονες εργαλειομηχανές CNC είναι επίσης εφικτή η δημιουργία αρχείων αντιστάθμισης σφαλμάτων που φορτώνονται κατευθείαν στη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής.

3.1 Πρότυπα.

Το βασικό πρότυπο που ακολουθείται είναι το ISO 230 και ιδιαίτερα (για την παρούσα εργασία) το πρώτο μέρος, που αναφέρεται στην γεωμετρική ακρίβεια μηχανών που λειτουργούν χωρίς φορτίο ή σε συνθήκες φινιρίσματος [11] και το δεύτερο μέρος που αναφέρεται στον καθορισμό της ακρίβειας και επαναληψιμότητας θέσεως αριθμητικά ελεγχόμενων αξόνων [12].

Οι προδιαγραφόμενες μέθοδοι περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε κάθε θέση. Οι σχετικές παράμετροι ορίζονται και υπολογίζονται έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα στη μέτρηση. Εκτός του τυπικού, περιγράφεται και ένας προαιρετικός κύκλος δοκιμών, ο βηματικός. Ορίζονται βσικές έννοιες όπως : διαδρομή άξονα, μετρούμενη διαδρομή, θέση στόχου (Pi=1,…,m , όπου δείκτης i προσδιορίζει την συγκεκριμένη θέση μεταξύ άλλων επιλεγμένων θέσεων σημείων – στόχων κατά μήκος του άξονα), πραγματική θέση (Pij μετρούμενη θέση που προσέγγισε το μετρητικό κατά

την j–οστή προσέγγιση στην i – οστή θέση– στόχο), απόκλιση της θέσης (Xij = Pij - Pi), μονο – κατευθυντική (προσέγγιση του σημείου – στόχου πάντοτε κατά την ίδια κατεύθυνση ↑ θετική ή ↓ αρνητική), δι – κατευθυντική (προσέγγιση του σημείου – στόχου και από τις δύο κατευθύνσεις)

Για γραμμικούς άξονες έως 2000 mm επιλέγεται ένα ελάχιστο πέντε θέσεων σημείων - στόχων ανά μέτρο και με ένα ολικό ελάχιστο πέντε θέσεων σημείων – στόχων Η τιμή της κάθε θέσης ενός σημείου – στόχου μπορεί να επιλεγεί ελεύθερα, ακολουθώντας τη γενική μορφή Pi = (i – 1)*p + r, όπου : i = ο αριθμός της συγκεκριμένης θέσης ενός σημείου – στόχου, p = μία μεταβλητή που βασίζεται σε ένα ομοιόμορφο διαχωρισμό των σημείων – στόχων στη μετρούμενη διαδρομή, r = λαμβάνει μια διαφορετική τιμή σε κάθε θέση σημείου – στόχου , προκαλώντας μη ομοιόμορφη κατανομή των θέσεων των σημείων – στόχων στη μετρούμενη διαδρομή, ώστε να εξασφαλίσει ότι τα περιοδικά σφάλματα (όπως τα σφάλματα που προκαλούνται από το βήμα του ένσφαιρου κοχλία κίνησης και το βήμα της γραμμικής κλίμακας) λαμβάνονται υπόψη. Οι μετρήσεις γίνονται σε όλες τις θέσεις των σημείων – στόχων σύμφωνα με τον τυπικό κύκλο δοκιμών, βλ. Εικ. 3. Κάθε θέση ενός σημείου – στόχου θα προσεγγιστεί πέντε φορές για κάθε κατεύθυνση.

Τα αποτελέσματα αφορούν την ακρίβεια, την επαναληψιμότητα και το σφάλμα αναστροφής. Η ακρίβεια υπολογίζεται με την εύρεση του μέγιστου μεταξύ της μέσης τιμής+2σ (3σ στην παλιότερη έκδοση του 1988) των δεδομένων της εμπρός και αντίστροφης κατεύθυνσης, αφαιρώντας το ελάχιστο της μέσης τιμής -2σ (3σ στην παλιότερη έκδοση του 1988) των δεδομένων της εμπρός και αντίστροφης κατεύθυνσης. Για τον υπολογισμό της επαναληψιμότητας, χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή από τις έξι τυπικές αποκλίσεις σ της εμπρός και όπισθεν κατεύθυνσης, ή το άθροισμα τριών τυπικών αποκλίσεων της εμπρός κατεύθυνσης και τριών τυπικών αποκλίσεων της αντίστροφης κατεύθυνσης συν την απόλυτη τιμή του σφάλματος αναστροφής. Για τον υπολογισμό του σφάλματος αναστροφής, χρησιμοποιείται το μέσο σφάλμα, αντί του μεγίστου.

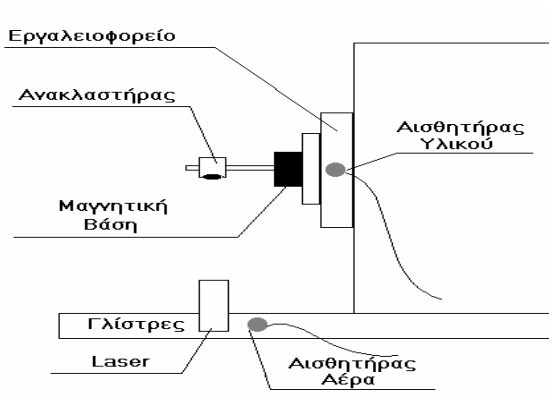
3.2 Διαδικασία.

Η κεφαλή εκπομπής του Laser τοποθετείται πάντα σε σταθερό σημείο ενώ ο ανακλαστικός φακός στο κινούμενο μέρος της μηχανής, με χρήση των μαγνητικών βάσεων. Τοποθετείται η κεφαλή εκπομπής του Laser (με ή χωρίς προσαρμοσμένο τον φακό ανάκλασης 90° και τον ανακλαστικό φακό) έτσι ώστε η ευθύγραμμη ακτίνα του Laser να είναι όσο το δυνατό παράλληλη με τον μετρούμενο άξονα, , βλ. Εικ. 4.

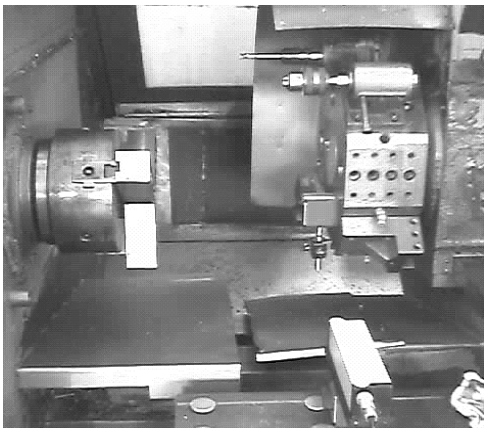
Στη συνέχεια εντοπίζεται οπτικά από το χρήστη το ίχνος της ακτίνας Laser, το οποίο θα πρέπει να στοχεύει το κέντρο του ανακλαστικού φακού και να επιστρέφει στην οπή της κεφαλής εκπομπής του Laser όπου βρίσκεται και ο φωτοανιχνευτής. Μέσω του λογισμικού, υπάρχει συνεχής επισκόπηση της έντασης της ανακλώμενης ακτίνας Laser στον φωτοανιχνευτή, σε ποσοστό επί τοις %. Αυτή η διαδικασία μπορεί να απλοποιηθεί, ως ένα βαθμό, με τη χρήση μετρητικού ρολογιού για την ευθυγράμμιση των στοιχείων / εξαρτημάτων της μετρητικής διάταξης με τον μετρούμενο άξονα.

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας υλικού τοποθετείται σε μεταλλική επιφάνεια της μηχανής, όπου, κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, τυχόν αύξηση της θερμοκρασίας των εσωτερικών εξαρτημάτων της μηχανής μπορεί να επηρεάσει τη θέση του ανακλαστικού φακού. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και πίεσης αέρα τοποθετείται σε σημείο που θα καταγράφει διακυμάνσεις σε νοητό κύλινδρο με άξονα την ακτίνα του Laser. Η διεξαγωγή των μετρήσεων μπορεί να αρχίσει οποιαδήποτε στιγμή μετά την ένδειξη ότι το μήκος κύματος φωτός Laser έχει σταθεροποιηθεί.

Προτείνεται η χειροκίνητη (manual) διαδικασία λήψης μετρήσεων, τουλάχιστον στα αρχικά στάδια, για περισσότερη ευκολία, συνεχή επίβλεψη και επέμβαση στη διαδικασία των μετρήσεων. Στην αυτόματη (automatic) διαδικασία οι μετρήσεις λαμβάνονται αυτόματα και γρήγορα, ενώ στη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής εκτελείται πρόγραμμα G-code για τον συγχρονισμό των δύο συστημάτων LDDM και CNC.



Εικόνα 4 Μέτρηση Χ-άξονα τόρνου



Εικόνα 5 Μέτρηση Χ άξονα VEGA

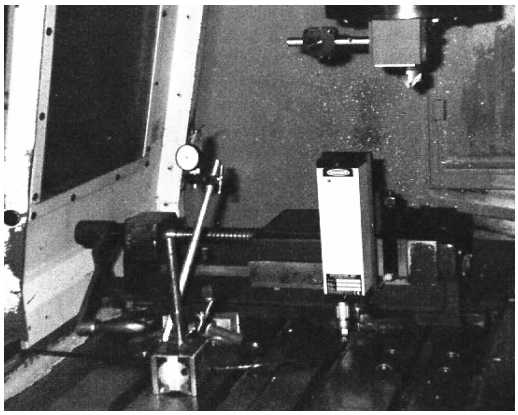
3.3 Οι εργαλειομηχανές που μετρήθηκαν.

Η πρώτη εργαλειομηχανή που μετρήθηκε ήταν κέντρο τόρνευσης 'VEGA', PPL, 5th series, με μονάδα ελέγου ETA-17, 2 αξόνων, βλ. Εικ. 5. Η εργαλειομηχανή είχε κατασκευαστεί πριν από 25 χρόνια.

Η δεύτερη εργαλειομηχανή που μετρήθηκε ήταν κέντρο τόρνευσης Gildemeister CX400 με μονάδα ελέγχου FANUC O-M. Η εργαλειομηχανή αυτή είχε επιδιορθωθεί μετά από σύγκρουση εργαλειοφορείου και ατράκτου, βλ. Εικ. 6.

Η τρίτη εργαλειομηχανή ήταν κέντρο κατεργασιών, 'VICTOR', Vcenter-55, με μονάδα ελέγχου FANUC 18-M, 3 αξόνων, βλ. Εικ. 7. Δεν παρουσίαζε κάποιο πρόβλημα, αλλά για αυτό ακριβώς το λόγο είχε ενδιαφέρον να μετρηθεί η ακρίβεια θέσης των αξόνων της.

Εικόνα 6 Κέντρο τόρνευσης Gildemeister



Εικόνα 7 Μέτρηση Z άξονα VICTOR

Position Measurement (mm) File=C:\Program Files\LDDM\MetriseisAKSON2\LatheVEGAxStandCycle.lin
Machine : Turning Center eta17 S/N : 12345 By : emp
Start Position: (0;0;0) End Position: (150;0;0)
Total Travel = 150, Points = 5 No of Runs= 5
Pressure: 742,16 Humidity: 50,00 Air Temp: 24,56 Material Temp: 23,73 MTE = ,999955

X axis

Date : 05/13/04

Position,mm	Run #1	Run #2	Run #3	Run #4	Run #5
0,0	-0,000026	0,000212	0,006656	-0,014750	-0,010121
37,51	37,511331	37,509084	37,497656	37,498546	37,498820
75,08	75,026415	75,034878	75,052982	75,053431	75,054705
112,55	112,548999	112,552427	112,547760	112,539684	112,542975
150,0	149,961269	150,009424	149,939449	149,943407	150,005600
150,0	150,006408	150,004720	150,004186	150,005215	150,003878
112,55	112,552646	112,522885	112,547184	112,503690	112,504324
75,08	75,071078	75,043750	75,039214	75,044410	75,044530
37,51	37,507181	37,512233	37,512741	37,504723	37,494672
0,0	-0,032123	-0,026637	0,005631	-0,017543	-0,005182

(α)

Position Measurement, ISO-230-2 (1997) (mm) File=C:\Program Files\LDDM\MetriseisAKSON2\LatheVEGAxStandCycle.lin
Machine : Turning Center eta17 S/N : 12345 By : emp
Start Position: (0;0;0) End Position: (150;0;0)
Total Travel = 150, Points = 5 No of Runs= 5
Pressure: 742,16 Humidity: 50,00 Air Temp: 24,56 Material Temp: 23,73 MTE = ,999955

X axis

Date : 05/13/04

Position,mm	Mean, mm	2_SIGMA, mm
0,0	-0,003606	0,017301
37,51	-0,006913	0,013124
75,08	-0,035518	0,025990
112,55	-0,003631	0,010087
150,0	-0,028170	0,067243
150,0	0,004881	0,001989
112,55	-0,023854	0,046216
75,08	-0,031404	0,025514
37,51	-0,003690	0,014669
0,0	-0,015171	0,030935

Reversal value, B= 0,020223 (at point=3)
Mean reversal value, <B>=-0,001720
Range mean bidirectional positional deviation,
M=0,028159
Systematic deviation of positioning, E=
0,031912 (-0,003606, -0,035518) (Forward),
0,036285 (0,004881, -0,031404) (Backward),
0,040399 (0,004881, -0,035518) (Bi-directional).
Repeatability of positioning, R=
0,134486 (at point=4) (Forward),
0,092433 (at point=3) (Backward),
0,102284 (at point=4) (Bi-directional).
Accuracy, A=
0,134486 (0,039073, -0,095414) (Forward),
0,092433 (0,022362, -0,070071) (Backward),
0,134486 (0,039073, -0,095414) (Bi-directional).

(β)

Εικόνα 8 Ακρίβεια θέσης άξονα X-VEGA (α) πριν (β) μετά στατιστική επεξεργασία.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΞΟΝΩΝ

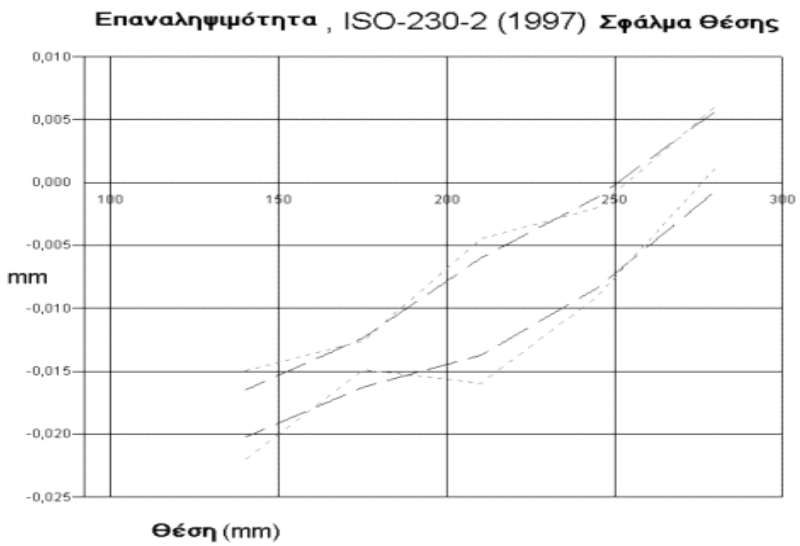
Μετά το πέρας των μετρήσεων, και αφού αυτές αποθηκευτούν, στο λογισμικό Data Analysis αρχικά παρουσιάζονται οι μετρούμενες αποστάσεις σε σχέση με τις θεωρητικές, και με την επιλογή Error παρουσιάζονται τα σφάλματα θέσης για κάθε μέτρηση. Επιλέγοντας κάποιο από τα διαθέσιμα πρότυπα NMTBA, ISO 230-2 1997 ή 1988, B5.54 και B5.57 Standard και VDI 3441, ακολουθεί αντίστοιχη στατιστική επεξεργασία και προβολή των πειραματικών αριθμητικών αποτελεσμάτων.

Κέντρο τόρνευσης VEGA

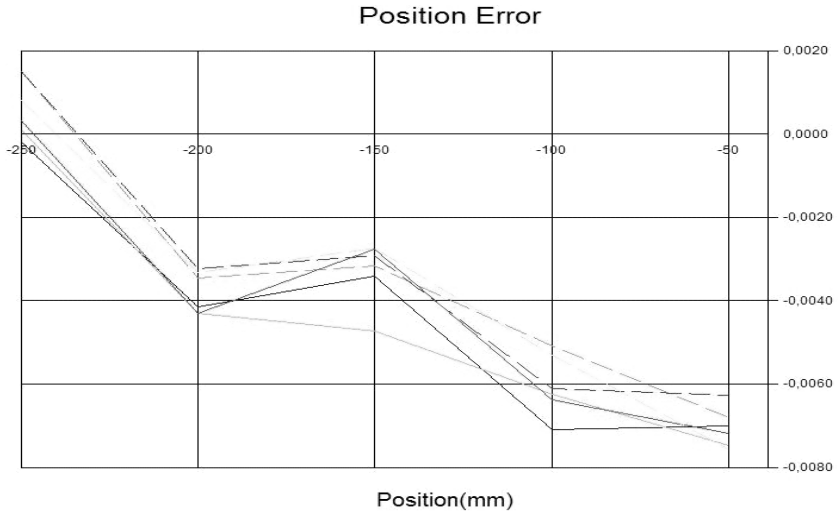
Μετρήθηκε η ακρίβεια θέσης των αξόνων X και Z. Οι μετρήσεις, όπως εμφανίζονται από το λογισμικό καταγραφής και επεξεργασίας για τον άξονα X φαίνονται στην Εικ. 8(α) . Η μέτρηση έγινε για διαδρομή 150 mm. Τα στατιστικά υπολογισμένα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικ. 8(β). Είναι σαφές ότι ούτε η ακρίβεια ούτε η επαναληψιμότητα είναι αποδεκτές, πράγμα που επιβεβαιώνει τη χρήση της μηχανής αυτής για εργασίες χαμηλής ακρίβειας, γενικά. Επίσης, σαφώς μεγαλύτερες αποκλίσεις μετρώνται στο τέλος της διαδρομής σε σύγκριση με την αρχή και το μέσο αυτής

Κέντρο τόρνευσης Gildemeister CTX400

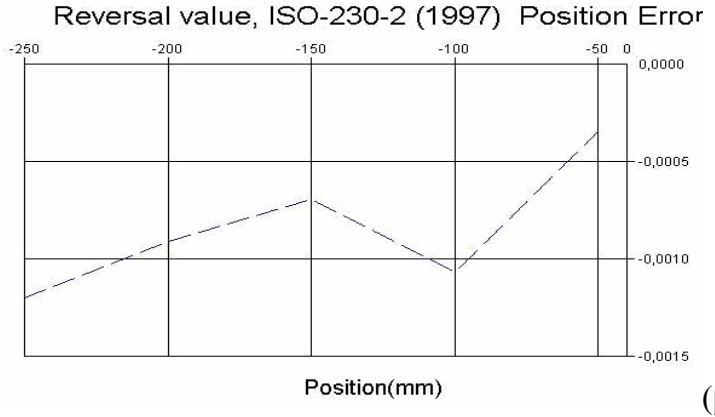
Τα αποτελέσματα μετά την επεξεργασία τους δίνονται σε διαγραμματική μορφή. Για παράδειγμα, η επαναληψιμότητα για τον άξονα Z φαίνεται στην Εικ. 9. Είναι, γενικά, αποδεκτή και αποδεικνύει ότι η επισκευή που έγινε στη μηχανή ήταν αρκετά επιτυχής.



Εικόνα 9. Διάγραμμα επαναληψιμότητας X άξονα κέντρου τόρνευσης Gildemeister



(α)



(β)

Εικόνα 10. Μετρήσεις άξονα Z-VICTOR (α) Σφάλματα θέσης (β) Σφάλμα αναστροφής

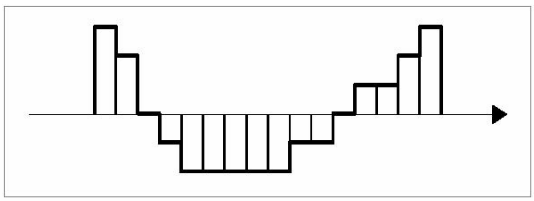
Κέντρο κατεργασιών VICTOR

Το σφάλμα θέσης και το σφάλμα αναστροφής παρουσιάζονται στην Εικ. 10. Το πρώτο είναι χαμηλό, ενώ το δεύτερο αποδεκτό. Η μονάδα ελέγχου της μηχανής επιτρέπει αντιστάθμιση για σχετικά μικρές τιμές σφαλμάτων, όπως τα μετρηθέντα, συνεπώς δοκιμάσθηκε αυτή η δυνατότητα.

5. ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Για το κέντρο κατεργασιών VICTOR ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία αντιστάθμισης, λαμβάνοντας υπόψη το manual της μονάδας ελέγχου που καθορίζει τις τιμές των εμπλεκόμενων παραμέτρων για pitch error compensation. Η διαδικασία είναι παρόμοια και σε άλλες εργαλειομηχανές, διαφορετικού τύπου μονάδα ελέγχου.

Η τιμή αντιστάθμισης σφάλματος – διόρθωση σε συγκεκριμένη «εσφαλμένη» θέση, καθορίζεται με βάση ένα εισαγόμενο από τον χρήστη σύστημα αναφοράς, και η διόρθωση μιας οποιασδήποτε (πλην της αρχικής) συγκεκριμένης «εσφαλμένης» θέσης καθορίζεται βάσει της διόρθωσης της προηγούμενης θέσης, βλ. Εικ. 11



Εικ. 11. Φιλοσοφία αντιστάθμισης σε διαδοχικές θέσεις μέτρησης σφάλματος.

Η αντιστάθμιση έγινε κοινά και για τις δύο κατευθύνσεις κίνησης του άξονα (μέσος όρος της εμπρός και πίσω φοράς) όπως απαιτείται από τη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής. Δημιουργούνται δύο αρχεία ASCII, δηλ. ένα αρχείο configuration για την προετοιμασία της μονάδας ελέγχου για την ερμηνεία των δεδομένων που θα εισαχθούν στη συνέχεια στο κυρίως αρχείο αντιστάθμισης.

Ειδικότερα, το αρχείο configuration περιέχει τις ακόλουθες εντολές :

N3620AXP0AYP100AZP200

Η παράμετρος 3620 καθορίζει τη θέση στη μνήμη της βηματικής αντιστάθμισης σαν θέση αναφοράς για κάθε άξονα. Έχει επιλεγεί η θέση 200 σαν θέση αναφοράς του άξονα Z.

N3621AXP0AYP100AZP200

Η παράμετρος 3621 καθορίζει το κάτω όριο των θέσεων στη μνήμη της βηματικής αντιστάθμισης σαν θέση αναφοράς για κάθε άξονα. Εδώ συμπίπτει με τις προηγούμενες θέσεις της παραμέτρου 3620.

N3622AXP4AYP104AZP204

Η παράμετρος 3622 καθορίζει τις τελικές θετικές θέσεις (επομένως και τον αριθμό των ενδιάμεσων θέσεων) στη μνήμη της βηματικής αντιστάθμισης για κάθε άξονα.. Εδώ έχουμε επιλέξει πέντε θέσεις για κάθε άξονα, από 200 ως και 204 για τον άξονα Z.

N3623AXP1AYP1AZP1

Η παράμετρος 3623 καθορίζει την αναλογία μεταξύ της αντιστάθμισης και της ελάχιστης ανιχνεύσιμης μονάδας. Η μεγέθυνση κυμαίνεται από 0 ως 100. Συνήθης τιμή είναι το 1.

N3624AXP50000AYP50000AZP50000

Η παράμετρος 3624 καθορίζει την εσωτερική απόσταση (βήμα) μεταξύ των δύο διαδοχικών σημείων προς αντιστάθμιση. Εδώ 50 mm.

N1851AXP2AYP5AZP0

Η παράμετρος 1851 καθορίζει την τιμή αντιστάθμισης της υστέρησης (backlash) της εργαλειομηχανής για κάθε άξονα. Εδώ για τον άξονα X είναι 2 μm, για τον άξονα Y είναι

5 μm, για τον άξονα Z είναι 0 μm, βάσει της υπάρχουσας παραμέτρου στην εργαλειομηχανή, πριν την αντιστάθμιση.

Το αρχείο κυρίως αντιστάθμισης περιλαμβάνει για τον άξονα Z τις εντολές :

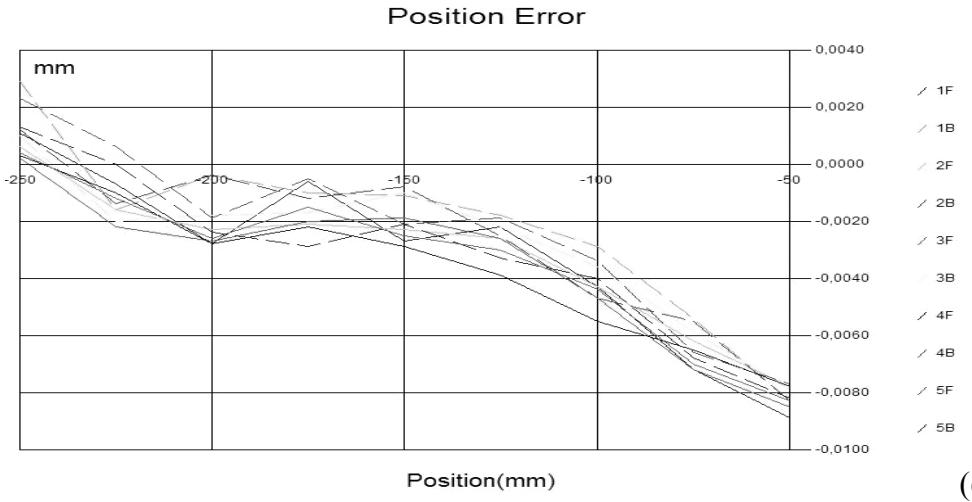
N10200P0 Παράμετρος pitch error 0200, άξονας Z, διόρθωση 0 μm

N10201P-4 Παράμετρος pitch error 0201, άξονας Z, διόρθωση -4 μm

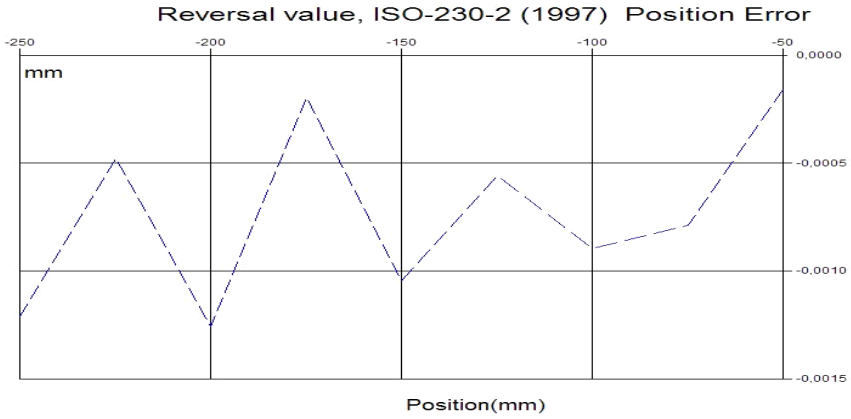
N10202P0 Παράμετρος pitch error 0202, άξονας Z, διόρθωση 0 μm

N10203P-2 Παράμετρος pitch error 0203, άξονας Z, διόρθωση -2 μm

N10204P0 Παράμετρος pitch error 0204, άξονας Z, διόρθωση 0 μm



(α)



(β)

Εικόνα 12. Μετρήσεις άξονα Z κέντρου κατεργασιών μετά την αντιστάθμιση για (α) Σφάλματα θέσης (β) Σφάλμα αναστροφής

Η λογική αντιστοίχισης των σημείων αντιστάθμισης (τιμές) με τις συντεταγμένες της μηχανής (mm), παρουσιάζεται στο manual της μονάδας ελέγχου και προκύπτει από μαθηματικό τύπο με συνιστώσες την ολική διανυόμενη απόσταση, το βήμα μεταξύ των σημείων αντιστάθμισης και το σημείο αναφοράς αντιστάθμισης (αριθμητική τιμή).

Η τιμή και το πρόσημο μιας παραμέτρου pitch error καθορίζεται από την τιμή του στατιστικού μέσου όρου του σφάλματος (που υπολογίστηκε πειραματικά) στη συγκεκριμένη θέση και από τη φορά προσέγγισης του συγκεκριμένου σημείου κατά τη μετρητική διαδικασία.

Μετά την αντιστάθμιση οι μετρήσεις σφάλματος θέσης για τον άξονα Z φαίνονται στην Εικ. 12. Οι διαφορές δεν κρίνονται σημαντικές, αλλά είναι υπαρκτές.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέτρηση ακρίβειας θέσης αξόνων CNC με LDDM είναι, γενικά, εύκολη και αξιόπιστη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποδείξει αν η μηχανή έχει αποδεκτά χαρακτηριστικά, ενδεχομένως ποια τμήματα της διαδρομή κάθε άξονα είναι περισσότερο αξιόπιστα, και ποιες δυνατότητες αντιστάθμισης υπάρχουν.

Υπάρχουν αρκετά Πρότυπα Μέτρησης Ακρίβειας Θέσης που παρέχουν μεθόδους προσδιορισμού των προδιαγραφών ακρίβειας και επαναληψιμότητας των εργαλειομηχανών. Η ίδια εργαλειομηχανή θα δώσει δραματικά διαφορετικά αριθμητικά αποτελέσματα ακρίβειας και επαναληψιμότητας για τις ίδιες μετρήσεις - πειραματικά δεδομένα, ανάλογα με το πρότυπο στο οποίο θα βασιστεί η στατιστική επεξεργασία των παραπάνω μετρήσεων. για παράδειγμα, το πρότυπο NMTBA (ΗΠΑ), είναι το μόνο που κάνει στατιστικούς υπολογισμούς χρησιμοποιώντας δεδομένα δύο κατευθύνσεων προσέγγισης των στόχων. Τα άλλα πρότυπα χρησιμοποιούν τα ξεχωριστά δεδομένα της εμπρός και αντίστροφης κατεύθυνσης. Το σφάλμα αναστροφής κατά ISO αποκλίνει κατά 40% των αντίστοιχων τιμών σε σχέση με το NMTBA. Το πρότυπο ASME B5.54 1992 υπολογίζει την ακρίβεια από την περιοχή των μέσων αποκλίσεων.

Οι περισσότεροι κατασκευαστές μετρολογικού εξοπλισμού laser, υπολογίζουν την επαναληψιμότητα απ' ευθείας από τις τιμές της ακρίβειας, πράγμα πιο αξιόπιστο.

Τέλος, είναι πολύ πιθανό μία εργαλειομηχανή να έχει ήδη ενσωματωμένη αντιστάθμιση σε συγκεκριμένες παραμέτρους pitch error, που πρέπει να καταγραφούν πριν αλλαχθούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] J. Madison, CNC Machining Handbook, Industrial Press Inc.

[2] J. Tlusty, Specifications and Tests of Metal Cutting Machine Tools, University of Manchester, Revell and George Ltd. 1970.

[3] Y.C. Shin, H. Chin, M.J. Brink, Characterization of CNC Machining Centers, J. Manufacturing Systems, **10** (5) (1991) 407-421.

[4] P.M. Ferreira, C.R. Liu, A Method of Estimating and Compensating Quasi-static Errors of Machine Tools, J. Engineering for Industry, **115** (1993) 149-159.

[5] A. Kurtoglu, The Accuracy Improvement of Machine Tools, Annals of the CIRP **39** (1) (1992) 259-262.

[6] M.A. Donmez, D.S. Blomquist, R.J. Hocken, C.R. Liu, M.M. Barash, A General Methodology for Machine Tool Accuracy Enhancement by Error Compensation, Precision Engineering **8** (4) (1986) 187-196.

[7] J. Mou, C.R. Liu, A Method for Enhancing the Accuracy of CNC Machine Tools for On-Machine Inspection, J. Manufacturing Systems **11** (4) (1992) 229-237.

[8] W.-Y. Jywe, C.-H. Liu, Verification and evaluation method for volumetric and positional errors of CNC machine tools, Int J Machine Tools & Manufacture, **40**(13) (2000) 1899-1911.

[9] J.S. Chen, C.C. Ling, Improving the Machine Accuracy Through Machine Tool Metrology and Error Correction, Int. J. Adv. Manufacturing Technology **11** (1996) 198-205.

[10] Laser Doppler Displacement Meter User's Guide (MCV-500), Optodyne Inc.

[11] ISO 230-1(1996), Test code for machine tools -- Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions.

[12] ISO 230-2(1997)/Cor 1:1999, Test code for machine tools -- Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning numerically controlled axes.