

Ευφυές Σύστημα Βελτιστοποίησης της Αποπεράτωσης Γλυπτών Επιφανειών σε
Κέντρα Κατεργασιών CNC

Διδακτορική Διατριβή Υ/Δ Πανώριου Μπενάρδου

Περίληψη

Η παρούσα διδακτορική διατριβή ασχολείται με την ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος βελτιστοποίησης της κατασκευής μηχανουργικών τεμαχίων με γλυπτές επιφάνειες. Ειδικότερα, για τα τεμάχια με γλυπτές επιφάνειες που κατασκευάζονται μέσω συμβατικών κατεργασιών αποβολής υλικού, εξετάζεται το στάδιο της αποπεράτωσης.

Κύριος στόχος της αποπεράτωσης είναι να ικανοποιηθούν όλες οι μορφολογικές (π.χ. ανοχές διαστάσεων και γεωμετρίας) και ποιοτικές (π.χ. τραχύτητα επιφάνειας) απαιτήσεις που θα καταστήσουν το τεμάχιο σύμφωνο με τις τεχνικές του προδιαγραφές. Αυτό προϋποθέτει την κατάλληλη επιλογή των τιμών των παραμέτρων της κατεργασίας έτσι ώστε να προσδοθούν στο τεμάχιο τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Τα σημαντικότερα εμπόδια για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι τρία. Πρώτον, το γεγονός ότι δεν υπάρχει μοναδική αντιστοιχία μεταξύ των παραμέτρων της κατεργασίας και του αποτελέσματός της, δηλαδή δεν υπάρχει μόνο ένας συνδυασμός τιμών που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ακρίβειας. Δεύτερον, το γεγονός ότι τα μεγέθη της κοπής είναι δυνατό να μεταβάλλονται συνεχώς κατά μήκος της διαδρομής του εργαλείου, εξαιτίας της πολύπλοκης γεωμετρίας των τεμαχίων με γλυπτές επιφάνειες, κάτι που σημαίνει ότι πρέπει να μεταβάλλονται κατάλληλα και οι τιμές των παραμέτρων. Τρίτον, οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει ο εκάστοτε διαθέσιμος προς χρήση εξοπλισμός και πιο συγκεκριμένα το σύστημα εργαλειομηχανή – κοπτικό εργαλείο – τεμάχιο. Παρά τις προσπάθειες για την αντιμετώπιση των παραγόντων αυτών, μέχρι σήμερα, δεν έχει διατυπωθεί μια ολοκληρωμένη και πρακτικά εφαρμόσιμη μεθοδολογία υπολογισμού των τιμών των παραμέτρων της κατεργασίας με αποτέλεσμα η διαδικασία της αποπεράτωσης να παραμένει βασισμένη κυρίως στην εμπειρία.

Κύρια επιδίωξη της διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας που όχι μόνο θα λαμβάνει υπόψη όλα τα παραπάνω προβλήματα, αλλά που ταυτόχρονα θα διατυπώνει και εφαρμόζει κριτήρια με βάση τα οποία στη συνέχεια θα βελτιστοποιείται το στάδιο της αποπεράτωσης. Βασική υπόθεση αποτελεί το ότι ενώ οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής είναι μικρές σε απόλυτα μεγέθη, εντούτοις οι μεταβολές τους είναι αρκετά έντονες ώστε να ευθύνονται για σφάλματα ακρίβειας και ποιότητας του τεμαχίου. Έτσι, η μεθοδολογία, σε πρώτη φάση, υπολογίζει τη δύναμη κοπής μέσω ενός μοντέλου τεχνητού νευρωνικού δικτύου και σε δεύτερη,

υπολογίζει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων της κατεργασίας μέσω ενός γενετικού αλγόριθμου.

Η αναλυτική περιγραφή της ανάπτυξης της μεθοδολογίας αυτής γίνεται στα επτά μέρη στα οποία χωρίζεται η διατριβή.

Στο πρώτο μέρος, δίνεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τη σύνδεση μεταξύ των δυνάμεων κοπής και των χαρακτηριστικών ακρίβειας διαστάσεων και ποιότητας στις συμβατικές κατεργασίες αποβολής υλικού γενικά, καθώς και στα τεμάχια με γλυπτές επιφάνειες ειδικότερα.

Το δεύτερο μέρος λειτουργεί συνδυαστικά, παρουσιάζοντας τη φιλοσοφία της μεθοδολογίας και τις βασικές της υποθέσεις. Σχολιάζονται τα επιμέρους τμήματα που την αποτελούν, όπως και οι μέθοδοι και τα εργαλεία που επιλέχθηκαν για την υλοποίησή τους. Συνοπτικά, επιχειρείται ο υπολογισμός της δύναμης κοπής μέσω ενός μοντέλου τεχνητού νευρωνικού δικτύου που έχει ως νευρώνες εισόδου ελεγχόμενες παραμέτρους της κατεργασίας. Για την εκπαίδευση του μοντέλου χρησιμοποιούνται δεδομένα που προέρχονται από τη χρήση μιας μετρητικής διάταξης χαμηλού κόστους για τη μέτρηση της δύναμης κοπής, η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διατριβής, και τον ίδιο εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση της κατεργασίας. Το εκπαιδευμένο μοντέλο ενσωματώνεται σε ένα γενετικό αλγόριθμο, υπεύθυνο για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων.

Στο τρίτο μέρος, περιγράφεται ο τρόπος υπολογισμού ενός κρίσιμου μεγέθους για το μοντέλο πρόβλεψης της δύναμης κοπής, που είναι ο αφαιρούμενος όγκος υλικού ανά περιστροφή του εργαλείου. Η σημασία του έγκειται στο ότι μπορεί να συνδέσει τη γεωμετρία του τεμαχίου με την ακολουθούμενη διαδρομή του κοπτικού εργαλείου, παρέχοντας έτσι μια εικόνα της αντίστασης του κοπτικού εργαλείου ανά πάσα στιγμή κατά την κοπή. Αρχικά, δοκιμάστηκε μια προσέγγιση με χρήση ενός χάρτη υψών (Z-map) που όμως τελικά απορρίφθηκε, λόγω μεγάλου υπολογιστικού φορτίου, προς όφελος μιας εναλλακτικής προσέγγισης που βασίζεται στην εκτέλεση γεωμετρικών πράξεων Boolean και σε ακριβή μοντέλα CAD του εκχονδρισμένου τεμαχίου και του κοπτικού εργαλείου.

Για να εξασφαλιστεί καλή απόδοση του μοντέλου τεχνητού νευρωνικού δικτύου, δημιουργήθηκε μια νέα μέθοδος εκπαίδευσης τεχνητών νευρωνικών δικτύων πρόσθιας τροφοδότησης, η οποία και παρουσιάζεται στο τέταρτο μέρος. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια εξελικτική διαδικασία εκπαίδευσης που στηρίζεται σε κριτήρια ποσοτικοποίησης της ικανότητας γενίκευσης του νευρωνικού δικτύου και της πολυπλοκότητας της αρχιτεκτονικής του.

Το πέμπτο μέρος αποτελεί το πειραματικό μέρος της διατριβής. Σε αυτό, περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού των πειραμάτων, από την οποία προέρχονται τα απαραίτητα δεδομένα για την εκπαίδευση του μοντέλου πρόβλεψης της δύναμης κοπής. Τα δεδομένα αυτά εμπεριέχουν τα χαρακτηριστικά του συστήματος εργαλειομηχανή – κοπτικό εργαλείο – τεμάχιο, τα οποία αποτυπώνονται στις μετρούμενες δυνάμεις. Οι τελευταίες προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια μιας μετρητικής διάταξης χαμηλού κόστους, βασισμένης σε ένα πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα, η οποία σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια της διατριβής.

Στο έκτο μέρος αναπτύσσεται ο τρόπος βελτιστοποίησης του σταδίου της αποπεράτωσης που όπως έχει αναφερθεί, βασικό του εργαλείο αποτελεί ένας γενετικός αλγόριθμος με ενσωματωμένο το μοντέλο πρόβλεψης της δύναμης κοπής. Κριτήριο της βελτιστοποίησης είναι η ελαχιστοποίηση των μεταβολών της δύναμης κοπής, αλλά το γεγονός ότι το μοντέλο εμπεριέχεται στον αλγόριθμο σημαίνει πρακτικά ότι κριτήριο βελτιστοποίησης μπορεί να αποτελέσει οποιοδήποτε επιθυμητό μοτίβο δύναμης. Έμφαση δίνεται επίσης, στο πως η διαδικασία βελτιστοποίησης μπορεί να εφαρμοστεί τόσο για το σύνολο της διαδρομής του εργαλείου όσο και για μεμονωμένες περιοχές αυτού και μάλιστα με διαφορετική κάθε φορά ανάλυση, δηλαδή πυκνότητα θέσεων του εργαλείου. Τέλος, τα αποτελέσματα από τη βελτιστοποίηση των εξεταζόμενων περιπτώσεων εφαρμογής παρουσιάζονται και αυτά στο έκτο μέρος.

Το έβδομο μέρος ασχολείται αποκλειστικά με την κριτική των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή των αντίστοιχων συμπερασμάτων. Αποδεικνύεται ότι το αναπτυγμένο σύστημα είναι ικανό να προσδιορίσει βέλτιστες τιμές για τις παραμέτρους της κατεργασίας, ενσωματώνοντας τη γνώση που, μέχρι τώρα, έπρεπε να διαθέτει ο ανθρώπινος παράγοντας και μέσα από μια διαδικασία που είναι άμεσα εφαρμόσιμη και προσαρμόσιμη στην πράξη. Η διατριβή ολοκληρώνεται με τις προτάσεις για πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις που μπορούν να γίνουν στο σύστημα.