

Βελτιστοποίηση κατεργασιών εκχόνδρισης σε κέντρα κατεργασιών CNC για γλυπτές επιφάνειες πολύπλοκης μορφολογίας με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης

Διδακτορική Διατριβή Υ/Δ Αγαθοκλή Κριμπένη

## Περίληψη

Ο σχεδιασμός της κατεργασίας εκχόνδρισης τεμαχίων με γλυπτές επιφάνειες στην βιομηχανία γίνεται με τη χρήση λογισμικού CAM, στο περιβάλλον του οποίου επιλέγονται από το χρήστη η στρατηγική εκχόνδρισης, οι παράμετροι της και οι τιμές τους. Βάσει αυτών των επιλογών, το σύστημα στη συνέχεια δημιουργεί αυτόματα τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το εργαλείο, πραγματοποιεί προσομοίωση της κατεργασίας, εξάγει στατιστικά στοιχεία της παραγόμενης διαδρομής εργαλείου (χρόνος κατεργασίας, μήκος διαδρομής, κτλ.) και το τεμάχιο-προϊόν της εκχόνδρισης. Στην πραγματικότητα, η ποιότητα της εκχόνδρισης εξαρτάται πάρα πολύ από τις επιλογές των παραμέτρων, που θα κάνει ο χρήστης του συστήματος CAM, επαφίεμενος στην εμπειρία του και στην εξοικείωση του με το συγκεκριμένο σύστημα CAM.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποσκοπεί στην ανάπτυξη και την υλοποίηση μιας μεθοδολογίας προσδιορισμού βέλτιστων συνθηκών εκχόνδρισης τεμαχίων, τα οποία αποτελούνται από γλυπτές επιφάνειες. Απώτερη επιδίωξη είναι η ανεξαρτητοποίηση από την εμπειρία του χρήστη, αλλά και η βελτίωση της σημερινής βιομηχανικής πρακτικής.

Η εφαρμογή μιας τέτοιας μεθοδολογίας βελτιστοποίησης απαιτεί κατάλληλη μοντελοποίηση του υπό μελέτη προβλήματος, καθώς και τον καθορισμό στόχων (κριτηρίων) ποιότητας του αποτελέσματος.

Για την υλοποίηση της μεθοδολογίας υιοθετείται ένα τυπικό και πολύ διαδεδομένο εμπορικά διαθέσιμο σύστημα CAM (PowerMill). Για τη διευκόλυνση της χρήσης του λογισμικού CAM, στο πλαίσιο της διατριβής αναπτύχθηκε κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications, ο οποίος αυτοματοποιημένα παρέχει τιμές για τις παραμέτρους κατεργασίας και πρακτικά οδηγεί το σύστημα εξωτερικά, δίνοντας, έτσι, τη δυνατότητα διασύνδεσής του με άλλα προγράμματα λογισμικού.

Μια πρώτη προσέγγιση της βελτιστοποίησης της εκχόνδρισης διαμορφώνεται ως εξής: ένας τυπικός Γενετικός Αλγόριθμος (ΓΑ) χρησιμοποιεί τις εξόδους μετα-μοντέλων Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, τα οποία προσεγγίζουν τα Χαρακτηριστικά Ποιότητας και, μετά από κατάλληλη στάθμιση, αποτελούν την Αντικειμενική Συνάρτηση του ΓΑ. Για την υλοποίηση της προσέγγισης αυτής προσδιορίζονται καταρχήν οι πιο σημαντικές παράμετροι των στρατηγικών εκχόνδρισης, σύμφωνα με τη μέθοδο του Σχεδιασμού Πειραμάτων (ΣΠ) κατά Taguchi. Η Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA), που ακολουθεί το ΣΠ, υποδεικνύει

συγκεκριμένες παραμέτρους ως τις πιο σημαντικές για το συγκεκριμένο τεμάχιο, με βάση κάποια Χαρακτηριστικά Ποιότητας, που συνήθως είναι ο Χρόνος Κατεργασίας και ο Συνολικός Εναπομένων Όγκος μετά το πέρας της εκχόνδρισης. Το σύνολο των δεδομένων – εισόδου και εξόδου, που συγκεντρώνονται κατά το ΣΠ, χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των Τεχνητών Νευρικών Δικτύων (ΤΝΔ), που λειτουργούν έτσι ως μετα-μοντέλα πρόβλεψης των Χαρακτηριστικών Ποιότητας. Η προσέγγιση αυτή επιδεικνύεται για ένα τυπικό τεμάχιο με γλυπτές επιφάνειες. Γίνεται φανερό ότι τα μοντέλα ΤΝΔ, παρά την μεγάλη ταχύτητα απόκρισής τους, δεν εξασφαλίζουν ικανοποιητική ακρίβεια, τουλάχιστον μετά από εκπαίδευση με ένα σύνολο δεδομένων, που προκύπτει βάσει του ΣΠ, το περιορισμένο μέγεθος του οποίου, όμως, είναι αυτό που καθιστούσε τη μέθοδο καταρχήν ελκυστική. Επιπλέον, η απόδοση των μετα-μοντέλων ΤΝΔ εξαρτάται και από τη γεωμετρία του εκάστοτε μελετούμενου τεμαχίου.

Μια δεύτερη προσέγγιση αναδιαμορφώνει το πρόβλημα βελτιστοποίησης της εκχόνδρισης τεμαχίων σε πρόβλημα δύο στόχων (Χρόνος Κατεργασίας και Συνολικός Εναπομένων Όγκος) παρακάμπτοντας τη χρήση προσεγγιστικών μετα-μοντέλων ΤΝΔ. Η επίλυση του προβλήματος πραγματοποιείται σε περιβάλλον εξελικτικής βελτιστοποίησης (EASY). Τρεις μέθοδοι βελτιστοποίησης δύο στόχων – ΓΑ, ΓΑ με Προσεγγιστική Προ-Αξιολόγηση και ΓΑ με ειδικά διαμορφωμένο Παίγνιο Nash Δύο Παικτών – εφαρμόζονται στην εύρεση των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων εκχόνδρισης και συγκρίνονται μεταξύ τους, όσον αφορά το υπολογιστικό κόστος. Το κατάλληλα διαμορφωμένο Παίγνιο Nash αποτελεί μια γρήγορη μέθοδο, εξίσου γρήγορη με το ΓΑ υποβοηθούμενο από ΤΝΔ για Προσεγγιστικές Προ-Αξιολογήσεις λύσεων. Όμως, καταλήγει σε μία βέλτιστη λύση, αντί σε ένα σύνολο βέλτιστων λύσεων, όπως οι συνήθεις ΓΑ, και η τιμή του βέλτιστου εξαρτάται έντονα από τον τρόπο ανάθεσης των μεταβλητών του προβλήματος μεταξύ των παικτών, που λαμβάνουν μέρος στο Παίγνιο.

Μια τρίτη προσέγγιση εκκινεί από το ότι η χρήση των δύο προαναφερθέντων στόχων οδηγεί σε λύσεις, οι οποίες δεν λαμβάνουν υπόψη τους την τοπική μορφή του εναπομένου όγκου επάνω στην ιδεατή τελική επιφάνεια του τεμαχίου. Για αυτό το λόγο, εισάγεται ως νέο – πρωτότυπο – κριτήριο βελτιστοποίησης η Τυπική Απόκλιση της Διαφοράς «Σχήματος» μεταξύ εκχονδρισμένου και ιδεατού τελικού τεμαχίου. Για τον υπολογισμό της αναπτύχθηκε αρχικά μια μέθοδος, η οποία πραγματοποιεί προβολές από το εκχονδρισμένο στο ιδεατό τελικό τεμάχιο με τη χρήση λειτουργικότητας (ρουτινών) λογισμικού CAD. Μέσω του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων Levene, αποδεικνύεται ότι ένα μικρό ποσοστό (3% για τα παραδείγματα, που εξετάστηκαν) των τριγώνων, που αποτελούν την επιφάνεια του εκχονδρισμένου τεμαχίου, είναι αρκετά για το συνεπή υπολογισμό της Τυπικής Απόκλισης των Διαφορών «Σχήματος». Η μέθοδος των προβολών, όμως, αποδεικνύεται μεγάλου υπολογιστικού κόστους, λόγω των επαναληπτικών χρήσεων ρουτινών του λογισμικού CAD. Αντ' αυτής, αναπτύχθηκε άλλη, πολύ ταχύτερη, μέθοδος, η οποία υπολογίζει την τοπική διαφορά «σχήματος» του εκχονδρισμένου τεμαχίου από ένα νέφος σημείων, που αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του ιδεατού τελικού τεμαχίου.

Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων εκχόνδρισης με τρεις στόχους (Χρόνος Κατεργασίας, Συνολικός Εναπομένων Όγκος και Τυπική Απόκλιση της Διαφοράς «Σχήματος» μεταξύ εκχονδρισμένου και ιδεατού τελικού τεμαχίου) έγινε με δύο συζευγμένους αλγόριθμους: ένας διαθέσιμο ΓΑ, που εκτελείται σε περιβάλλον εξελικτικής βελτιστοποίησης (EASY), και ένα Μικρο-Γενετικό Αλγόριθμο (μ-ΓΑ), που αναπτύχθηκε από το μηδέν. Η σύζευξη πραγματοποιείται, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, χωρίς να γίνουν παραδοχές και προσεγγίσεις, οι οποίες οδηγούν σε μερικώς βέλτιστες λύσεις. Ο μ-ΓΑ χρησιμοποιείται για την εύρεση της βέλτιστης κατανομής των «υψών Z», στα οποία τοποθετούνται οι φέτες της στρατηγικής εκχόνδρισης (ή ισοδύναμα: της βέλτιστης κατανομής του πάχους των φετών) . Αντικειμενική Συνάρτηση του μ-ΓΑ αποτελεί ο σταθμισμένος γεωμετρικός μέσος των τριών στόχων, που αναφέρθηκαν προηγούμενα. Ο ΓΑ εκτελεί βελτιστοποίηση τριών στόχων και διαχειρίζεται τις υπόλοιπες παραμέτρους κατεργασίας, όπως αυτές ορίζονται στο τυπικό λογισμικό CAM, που χρησιμοποιείται. Αυτές είναι το Εργαλείο, το Οριζόντιο Βήμα, η Χάρη Κοπής, ο Αριθμός των Κάθετων Βημάτων, ο διακόπτης της Δημιουργίας Προφίλ, η Γωνία Μοτίβου, ο διακόπτης του Ορίου μη Δείσδυσης, ο διακόπτης της Απόστασης Ένωσης Πάσων, η Πρόωση ανά δόντι και η Ταχύτητα Περιστροφής της κυρίας ατράκτου της εργαλειομηχανής CNC. Η σύζευξη των ΓΑ και μ-ΓΑ αναιρεί προβλήματα σχετιζόμενα με τη μοντελοποίηση παραμέτρων, οι οποίες μεταβάλλονται σε πλήθος και μέγεθος ταυτόχρονα, όπως είναι τα Κάθετα Βήματα μιας στρατηγικής εκχόνδρισης. Έτσι, η τιμή της παραμέτρου Αριθμός Κάθετων Βημάτων καθορίζει το μέγεθος του χρωμοσώματος του μ-ΓΑ. Η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του ΓΑ και του μ-ΓΑ σχετικά με τις τιμές των παραμέτρων και των στόχων πραγματοποιείται μέσω αρχείων.

Σαν παραδείγματα εφαρμογής της βελτιστοποίησης μέσω συζευγμένων ΓΑ και μ-ΓΑ μελετώνται τρία τεμάχια που αποτελούνται από γλυπτές επιφάνειες: ένα απλοποιημένο προσθετικό ισχίο, παρόμοιο με αυτά που χρησιμοποιούνται στην Ορθοπεδική Χειρουργική, ένα πτερύγιο βιομηχανικού συμπιεστή και ένα πτερύγιο στροβιλομηχανής. Τα τεμάχια αυτά σχεδιάζονται με διαφορετικές τεχνικές και τα φυσικά ανάλογά τους έχουν διαφορετική λειτουργικότητα. Τα μέτωπα Pareto, που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, αποτελούνται από σύνολα βέλτιστων λύσεων από τα οποία μπορούν να επιλεγούν οι λύσεις, που έχουν τις κατάλληλες βέλτιστες τιμές των στόχων ανάλογα με τις προτεραιότητες του χρήστη ή του μηχανουργού.

Η κύρια συμβολή της διατριβής στο πεδίο του σχεδιασμού κατεργασιών εκχόνδρισης για γλυπτές επιφάνειες είναι η πρόταση εξελικτικών μεθόδων ως πρακτικά βιώσιμων, η αντιμετώπιση μεγάλου πλήθους παραμέτρων, η πρόταση πολλαπλών στόχων και εναλλακτικών περιοχών βέλτιστων λύσεων και τέλος, ιδιαίτερα σημαντικό, η χρησιμοποίηση ως βάσης του ίδιου πρακτικού εργαλείου, που χρησιμοποιείται στη βιομηχανική πράξη, δηλ. των συστημάτων CAM.