



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

Θέμα

«Ανασκόπηση της επιλογής προσανατολισμού και του τρόπου συγκράτησης τεμαχίων σε κέντρα κατεργασιών CNC»

Γεώργιος Ι. Σμυρλής

Επιβλέπων: Γεώργιος-Χριστόφορος, Βοσνιάκος,
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Δεκέμβριος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

Θέμα

«Ανασκόπηση της επιλογής προσανατολισμού και του τρόπου συγκράτησης τεμαχίων σε κέντρα κατεργασιών CNC»

Γεώργιος Ι. Σμυρλής

Επιβλέπων: Γεώργιος-Χριστόφορος, Βοσνιάκος,
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Παρουσιάστηκε δημόσια και εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την
06/12/2018,

.....
Καθηγητής, ΕΜΠ

.....
Καθηγητής, ΕΜΠ

.....
Καθηγητής, ΕΜΠ

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη μελέτη της επιλογής του προσανατολισμού και του τρόπου συγκράτησης των τεμαχίων σε κέντρα κατεργασιών.

Απώτερος σκοπός της εργασίας είναι η περιγραφή των σημαντικότερων συστημάτων αυτόματου σχεδιασμού φάσεων και ιδιοσυσκευών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Αρχικά επιχειρείται ένας διαχωρισμός των επιμέρους υποσυστημάτων και η τμηματική ανάλυσή τους. Το καθένα από τα επιμέρους συστήματα αποτελεί ξεχωριστό πεδίο έρευνας για τους διάφορους μελετητές. Στη συγκεκριμένη εργασία υιοθετήθηκε το μοντέλο, που θεωρεί πως το στάδιο σχεδιασμού των φάσεων είναι διαχωρισμένο από το στάδιο σχεδιασμού των ιδιοσυσκευών. Τα υπό εξέταση επιμέρους στάδια είναι:

- Σχεδιασμός φάσεων (Setup planning)
- Σχεδιασμός ιδιοσυσκευών (Fixture planning)
- Σχεδιασμός μονάδας (Configuration design)
- Στάδιο επαλήθευσης (Verification)

Εν συνεχεία αναλύονται οι σημαντικότερες προσεγγίσεις για κάθε στάδιο των συστημάτων CAFD και τέλος γίνεται μια προσπάθεια επεξήγησης της λογικής των ενδεικτικότερων αλγορίθμων (CBR, Rule-Based Reasoning, GA).

Abstract

The present postgraduate thesis deals with the study of the choice of orientation and restraining of a workpiece, in Machine Centers.

The utter purpose of the current thesis is to describe of the most common and important computer aided fixture design and setup planning system, which are mentioned in the literature.

At first, a distinction of the individual subsystems is attempted. Each subsystem is later studied individually. The current thesis adopts the approach that differentiates setup planning from fixture design. The under study subsystems in this thesis are:

- Setup planning
- Fixture planning
- Configuration design
- Verification

Furthermore, the most indicative approaches for each subsystem are analyzed and in the end an effort is made to describe the logic of the most common algorithms in CAFD systems (CBR, Rule-Based Reasoning, GA).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Τεχνολογικός Προγραμματισμός Παραγωγής (Process planning).....	1
1.2 Προγραμματισμός Φάσεων / Σχεδιασμός Ιδιοσυσκευών συγκράτησης (Set-up planning/Fixture Design)5	
1.3 Προγραμματισμός Φάσεων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή - (Computer aided setup planning)	7
1.4 Στόχοι της εργασίας	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ (SETUP PLANNING)	11
2.1 Γενικά	11
2.2 Ομαδοποίηση Μορφολογικών Χαρακτηριστικών (Feature Grouping).....	12
2.2.1 Κατεύθυνση Προσέγγισης Κοπτικού Εργαλείου - (TAD).....	14
2.2.2 Ανάλυση Γεωμετρικών και Διαστασιακών Ανοχών (GD&T Analysis).....	15
2.3 Αλληλουχία Φάσεων και Κατεργασιών.....	16
2.3.1 Προβάδισμα σχέσης (Precedence Relationship) μεταξύ μορφολογικών χαρακτηριστικών	17
2.4 Άλλοι περιορισμοί κατά τον σχεδιασμό των φάσεων συγκράτησης	20
2.5 Σχεδιασμός φάσεων συγκράτησης μέσω Η/Υ (Computer aided setup planning).....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	23
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΙΔΙΟΣΥΣΚΕΥΩΝ (FIXTURE DESIGN)	23
3.1 Ιδιοσυσκευές	23
3.1.1 Αρχές τοποθέτησης.....	24
3.1.2 Αρχές συγκράτησης - σύσφιξης	25
3.2 Σχεδιασμός ιδιοσυσκευών - (Fixture Planning).....	26
3.2.1 Γενικά	26
3.2.2 Σχεδιασμός απαιτήσεων ιδιοσυσκευών - (Fixture requirements)	27
3.2.3 Σημεία και επιφάνειες συγκράτησης / Σημεία τοποθέτησης τεμαχίου - (Layout planning).....	29
3.3 Σχεδιασμός μονάδας - (Unit/ Configuration Design)	32
3.3.1 Τύποι ευέλικτων ιδιοσυσκευών συγκράτησης	33
3.3.1.1 Ιδιοσυσκευές με διακριτά στοιχεία (Modular Fixtures).....	33
3.3.1.2 Ευέλικτα συστήματα παλετών	34
3.3.1.3 Αυτοματισμοί συγκράτησης.....	35
3.3.1.4 Σχεδιασμός ιδιοσυσκευών συγκράτησης με χρήση αισθητήρων	35
3.3.1.5 Ιδιοσυσκευές συγκράτησης, βασισμένες στα Υλικά Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ)	36
3.3.1.6 Ιδιοσυσκευές συγκράτησης με χρήση σφιγκτήρων (Chuck-based)	37
3.3.1.7 Διατάξεις τύπου «καρφίτσας» - (Pin-type)	37
3.3.1.8 Αυτόματα επαναρυθμιζόμενες ιδιοσυσκευές	38
3.3.1.9 Άλλοι τύποι ιδιοσυσκευών συγκράτησης	38
3.4 Επαλήθευση - (Verification)	39
3.4.1 Γεωμετρικό μοντέλο ιδιοσυσκευής	40
3.4.2 Κινητικό μοντέλο ιδιοσυσκευής	41
3.4.3 Προσεγγίσεις υλοποίησης σταδίου επαλήθευσης	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	43
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΕΣΙΜΑΤΩΝ & ΙΔΙΟΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕΣΩ Η/Υ (COMPUTER AIDED FIXTURE DESIGN)	43
4.1 Γενικά	43
4.2 Μέθοδοι οδηγούμενες από προηγούμενες περιπτώσεις - Case Based Reasoning (CBR)	44
4.5 Μέθοδοι οδηγούμενες από κανόνες (Rule Based) - Ασαφής λογική (Fuzzy Logic)	48
4.4 Γενετικοί αλγόριθμοι.....	51
4.6 Άλλες μέθοδοι	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	55
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	55
5.1 Γενικά	55
5.2 Προτάσεις.....	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57

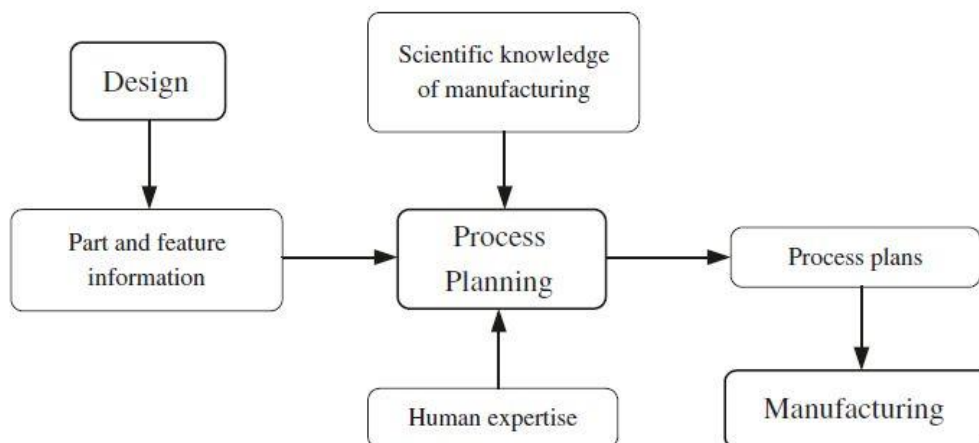
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τεχνολογικός Προγραμματισμός Παραγωγής (Process planning)

Ο Τεχνολογικός Προγραμματισμός Παραγωγής (Τ.Π.Π) είναι μια σημαντική δραστηριότητα κατά την κατεργασία τεμαχίων. Μέσω του Τ.Π.Π., οι πληροφορίες που αφορούν το σχεδιασμό του εκάστοτε τεμαχίου αντιστοιχίζονται σε συστηματικά βήματα κατεργασίας, κατά τα οποία το τεμάχιο από απλό υλικό καταλήγει σε προϊόν. Πρόκειται για τη δραστηριότητα που έπεται αυτής του σχεδιασμού και προηγείται της φάσης της κατεργασίας. Ο Τ.Π.Π. μπορεί να προσδιοριστεί ως η προετοιμασία λεπτομερών οδηγιών κατεργασίας για την παραγωγή ενός κομματιού με τα διαθέσιμα μέσα στο ελάχιστο δυνατό κόστος και την βέλτιστη ποιότητα [1].

Στο πλαίσιο του ανταγωνισμού της αγοράς, η βελτιστοποίηση διαφόρων λειτουργικών πεδίων μιας βιομηχανίας κατασκευής είναι απαραίτητη για την βελτίωση της ποιότητας, απόδοσης, κόστους και χρόνου. Οι διαδικασίες της σχεδίασης, του σχεδιασμού της παραγωγής, της κατεργασίας, του ποιοτικού ελέγχου και άλλων υποστηρικτικών λειτουργιών, δρουν ως μέρος ενός ενιαίου συστήματος παρά σαν ένα μεμονωμένο σύστημα. Κατά συνέπεια ανακύπτει η ανάγκη βελτιστοποίησης της σχεδίασης και των φάσεων κατεργασίας με σκοπό την υλοποίηση της αρχικής ιδέας σε τελικό προϊόν. Αυτή η ανάγκη ικανοποιείται από τον Τ.Π.Π., ο οποίος συνδέει το σχέδιο με την κατεργασία, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Τεχνολογικός Προγραμματισμός Παραγωγής – Η γέφυρα μεταξύ του σχεδιασμού και των φάσεων της κατεργασίας [2].

Υπάρχουν ορισμένα κομβικά θέματα και προκλήσεις προς αντιμετώπιση για την επιτυχή ανάπτυξη και υλοποίηση αποδοτικών Τεχνολογικών Προγραμμάτων (Process plans). Ο αυτοματισμός αποκτά ύψιστη σημασία στις σημερινές βιομηχανίες κατεργασίας στην προσπάθεια για την αύξηση της παραγωγικότητας και ποιότητας. Η αυτοματοποίηση λοιπόν κατά το σχεδιασμό διαδικασιών είναι το κλειδί για την ολοκλήρωση των διαδικασιών της σχεδίασης μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD) και κατεργασίας μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAM).

Στο εμπόριο πολλά συστήματα CAD και CAM, είναι διαθέσιμα, όμως σπανίζουν εμπορικά διαθέσιμες πλατφόρμες Τεχνολογικού Προγραμματισμού Παραγωγής βοηθούμενου από υπολογιστή (CAPP). Ένας σημαντικός παράγοντας στην ολοκλήρωση του αυτοματισμού των τεχνολογικών προγραμμάτων είναι η μη συμβατότητα των διαφόρων λογισμικών CAD/CAM. Κάθε σύστημα CAD/CAPP(ΤΠΠ Η/Υ)/CAM χρησιμοποιεί ένα μοναδικό τρόπο αποθήκευσης δεδομένων ενώ για την επικοινωνία μεταξύ τους χρησιμοποιούνται ειδικά προγράμματα μετάφρασης της πληροφορίας. Η δυσκολία που προκύπτει από την ανάγκη για την ανάπτυξη ειδικών μεταφραστών για κάθε περίπτωση, οδήγησε την έρευνα στην ανάπτυξη προτύπων. Πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί είναι το IGES (initial Graphics Exchange Standards), το STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data), το DXF (Data eXchange Format) και το ACIS. Τα περισσότερα, όμως, αποδεκτά πρότυπα για την επικοινωνία των συστημάτων CAD-CAPP-CAM είναι τα STEP και IGES.

Η βιομηχανία αντιμετωπίζει τις προκλήσεις της ποικιλίας προϊόντων σε συνδυασμό με την απαίτηση για ποιότητα και ελάχιστο κόστος. Η εκπλήρωση των σχεδιαστικών ανοχών είναι ένας δομικός παράγοντας τόσο για την ποιότητα όσο και την λειτουργικότητα του προϊόντος. Επιπρόσθετα, δεν αρκεί μόνο η εξασφάλιση πως το προϊόν θα πληροί τα τεχνικά - σχεδιαστικά χαρακτηριστικά, καθώς θα πρέπει να είναι αποδοτικό ως προς το κόστος και να ολοκληρώνεται εντός των χρονοδιαγραμμάτων. Η εξασφάλιση των παραπάνω απαιτήσεων είναι αντικείμενα του Τ.Π.Π..

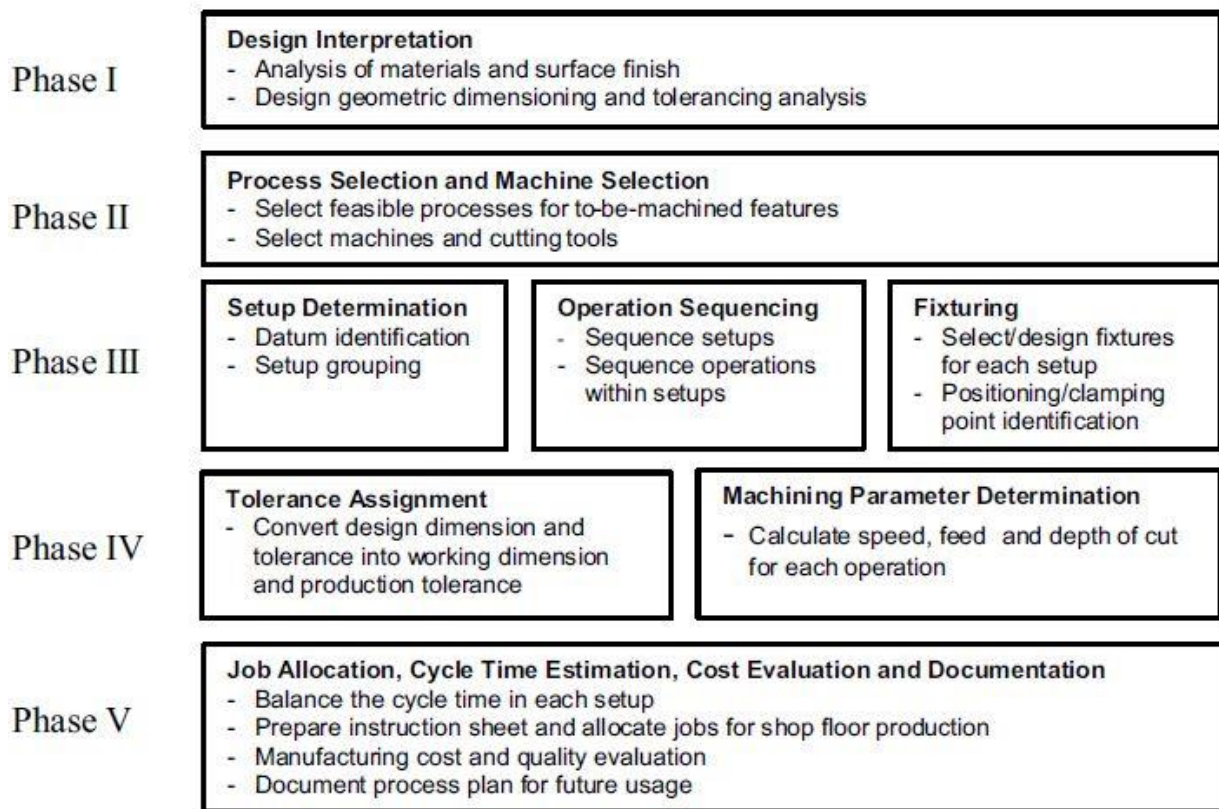
Μια ακόμα σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό των τεχνολογικών προγραμμάτων είναι η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα όταν υπάρχει μια αλλαγή σε κάποιο από τα προσχεδιασμένα σενάρια.

Εν συνεχεία αναφέρονται οι βασικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τον Τεχνολογικό Προγραμματισμό.

- Δεδομένα σχεδίασης: Περιλαμβάνει το συναρμολογημένο μοντέλο καθώς και την ανάλυση των τεμαχίων που το απαρτίζουν. Συνήθως, τα δεδομένα σχεδίασης παρουσιάζονται σε μορφή σχεδίου. Ωστόσο, αν το έργο του σχεδιασμού γίνει σε υπολογιστή, τότε τα δεδομένα σχεδιασμού παρουσιάζονται στη μορφή των μοντέλων CAD.
- Δεδομένα απαραίτητης προϋπόθεσης της ποιότητας: Αποτελούν δεδομένα όπως η ποιότητα των επιφανειών και οι γεωμετρικές, διαστασιακές ανοχές των τεμαχίων. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται πάνω στα σχέδια και επηρεάζουν τις επιλογές των εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού και των εργαλείων.
- Δεδομένα τύπου παραγωγής: Ο τύπος της παραγωγής οδηγεί σε διαφορετικά τεχνολογικά προγράμματα για το ίδιο προϊόν. Ενώ η μαζική παραγωγή (Mass Production) απαιτεί μια στρατηγική μέθοδο κατανομής, στην παραγωγή κατά παρτίδες (Job shop Production) προτιμούν μια στρατηγική μέθοδο συγκέντρωσης.
- Δεδομένα πρώτης ύλης (raw material data): Περιλαμβάνει πληροφορίες όπως είναι η γεωμετρική μορφή (κυλινδρική μπάρα, έλασμα), ο τύπος, τα τεστ που έχει υποβληθεί (π.χ. impact test) και οι διαστάσεις της πρώτης ύλης.
- Ικανότητα του κατασκευαστή και δεδομένα δυνατοτήτων: όπως εξοπλισμός, εργαλεία, εγκαταστάσεις, αποκλειστικές μηχανές, μηχανήματα γενικής χρήσης, μηχανήματα αναφοράς, σταθμοί, κέντρα κατεργασίας, καθώς επίσης και ευέλικτα συστήματα κατασκευής (FMS) .

Υπάρχουν δύο τύποι τεχνολογικού προγραμματισμού παραγωγής στην κατασκευαστική βιομηχανία. Ο Τεχνολογικός Προγραμματισμός Κατασκευής (Τ.Π.Κ) και ο Τεχνολογικός Προγραμματισμός Συναρμολόγησης (Τ.Π.Σ). Ο Τ.Π.Κ. αποτελεί ένα σύνολο από οδηγίες ή μεθόδους οι οποίες περιγράφουν το είδος και την σειρά εκτέλεσης των διεργασιών που απαιτούνται για την μετατροπή της πρώτης ύλης σε αντικείμενο, με το χαμηλότερο κόστος και την υψηλότερη ποιότητα και ο Τ.Π.Σ. αποτελεί το σύνολο των οδηγιών που είναι απαραίτητες ώστε μεμονωμένα αντικείμενα να συναρμολογηθούν σωστά συνθέτοντας το τελικό προϊόν. Η συστηματική προσέγγιση του Τ.Π.Π. από την επιστημονική κοινότητα οδήγησε στην αποδόμησή του. Οι προκύπτουσες συνιστώσες μπορούν να χωριστούν σε διάφορες διαδοχικές φάσεις. Κάθε φάση είναι εξαρτώμενη της προηγούμενης φάσης και οι διάφορες διαδικασίες που πρέπει να εκτελεστούν σε κάθε μία είναι αλληλοεξαρτώμενες [3].

Οι κύριες φάσεις σύμφωνα με τον Xu παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.2



Σχήμα 1.2: Φάσεις του σχεδιασμού διαδικασιών κατεργασίας [3].

Φάση 1: Ερμηνεία σχεδίου

Κατά τη φάση αυτή γίνεται μια ανάλυση του σχεδίου του τεμαχίου και των απαιτήσεων του τελικού προϊόντος όσον αφορά τα μορφολογικά χαρακτηριστικά προς κατεργασία, τις διαστάσεις, τις διάφορες ανοχές, το φινίρισμα των διαφόρων επιφανειών και την κατάλληλη επιλογή των υλικών προς κατεργασία.

Φάση 2: Επιλογή διαδικασιών και μηχανημάτων

Στο στάδιο αυτό επιλέγονται οι διαδικασίες κατεργασίας για την απόδοση των μορφολογικών χαρακτηριστικών στο κομμάτι, τα εργαλεία και οι μηχανές που θα χρησιμοποιηθούν για την κατεργασία.

Φάση 3: Σχεδιασμός φάσεων συγκράτησης (Setup planning)

Προσδιορισμός των απαιτούμενων φάσεων συγκράτησης για την κατεργασία του τεμαχίου και επιλογή των κατάλληλων ιδιοσυσκευών συγκράτησης (fixtures).

Φάση 4

Προσδιορισμός των παραμέτρων κατεργασίας και των ανοχών.

Φάση 5

- Εκτίμηση των χρονικών κύκλων κατεργασίας και χρονοδιαγραμμάτων
- Εκτίμηση του κόστους
- Τελική εξαγωγή του συνολικού σχεδιασμού διαδικασιών για μελλοντική χρήση

1.2 Προγραμματισμός Φάσεων / Σχεδιασμός Ιδιοσκευών συγκράτησης (Set-up planning/Fixture Design)

Ο σχεδιασμός των φάσεων συγκράτησης λοιπόν, αποτελεί τον πυρήνα ενός τεχνολογικού προγράμματος παραγωγής. Ανατρέχοντας τη βιβλιογραφία δεν βρέθηκε μια σταθερή και καθολική αποδοχή από την ερευνητική κοινότητα, του τι εργασίες περιλαμβάνουν ή πια είναι τα βήματα του προγραμματισμού φάσεων/δεσιμάτων (Set-up planning) και του σχεδιασμού ιδιοσκευών (Fixture design). Μέσω μιας χρονολογικής ταξινόμησης της σχετικής έρευνας, αναδεικνύεται μια παραδοσιακή τάση για απομόνωση των δύο προαναφερθέντων πεδίων. Ο Xu [3] σε δημοσίευσή του το 2007, επισημαίνει την αοριστία στην οριοθέτηση του προβλήματος. Μια αοριστία η οποία αντανακλά όπως αναφέρεται στην ποικιλία των κατασκευαστικών πρακτικών. Κατά τον Abedini [4] το γεγονός αυτό αποτελεί έναν από τους λόγους της περιορισμένης αποτελεσματικότητας των προσεγγίσεων και επισημαίνει ότι η ολοκλήρωση του προβλήματος είναι μονόδρομος.

Ο Sun [5] σε δημοσίευσή του το 2012 κατηγοριοποιεί τις προσεγγίσεις σε τρεις πολύ βοηθητικές κατηγορίες:

- 1 Προγραμματισμός οδηγούμενος από Πολλαπλούς Περιορισμούς (Multi- Constraint Planning).
- 2 Προγραμματισμός οδηγούμενος από τα Στοιχεία Συγκράτησης (Fixture Driven Planning).
- 3 Προγραμματισμός οδηγούμενος από την Ανάλυση Ανοχών.

Στην ίδια δημοσίευση ο Sun χρησιμοποιεί τον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα (Πίνακας 1.1), ώστε να συγκρίνει τις μεθόδους με βασικό κριτήριο την δυνατότητα εύρεσης βέλτιστης λύσης:

Table 1. Comparison among multi-constraints, fixture driven and tolerance analysis setup/fixture planning methods.

	References	Description	Advantages	Disadvantages
The multi-constraints method	Chen <i>et al.</i> (1998), Kim and Suh (1998), Bhaskara <i>et al.</i> (1999), Ma <i>et al.</i> (2000), Ding <i>et al.</i> (2005), Li and McMahon (2007).	The operation sequencing problem is converted into a travelling salesman problem (TSP). The setup times or costs are incorporated into the optimisation objective function.	The space with all possible solutions is considered, thus a true global optimal setup plan can be identified.	The artificial intelligence (AI) techniques might be awkward or even impractical for generating feasible setup plan alternatives.
The fixture driven method	Huang (2002), Joneja and Chang (1999), Hebbal and Mehta (2008), Stampfer (2009)	The fixture requirements are treated as the main constraints to drive the decision-making in setup planning.	The created setup/fixture plan is more practical and shop-floor-friendly.	The generated setup plan may not be the optimal one.
The tolerance analysis approach	Huang <i>et al.</i> (1997), Zhang and Lin (1999), Liu and Huang (2000), Zhang <i>et al.</i> (2001).	The tolerance relationships between features of a part strongly influence how the part should be machined.	Better machining quality can be achieved.	Tolerance analysis approach cannot be used alone to generate the optimal setup plan.

Πίνακας 1.1: Σύγκριση μεθόδων με κριτήριο την εύρεση της βέλτιστης λύσης

Από τον Πίνακα 1.1 φαίνεται, ότι στην περιγραφή της μεθόδου Προγραμματισμού με πολλαπλούς περιορισμούς αναφέρεται πως το πρόβλημα της αλληλουχίας των κατεργασιών μετατρέπεται σε πρόβλημα περιοδεύοντος/πλανόδιου πωλητή (TSP). Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή περιλαμβάνει την εύρεση της (σχεδόν) μικρότερης διαδρομής που ενώνει ένα αριθμό περιοχών. Το TSP στη γενικότητά του αντιπροσωπεύει ένα δύσκολο συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Αλλά και ο ορισμός της βέλτιστης λύσης δεν είναι ξεκάθαρος στην βιβλιογραφία. Κατά τον Xu [3] ερωτήματα σημασίας δεν έχουν απαντηθεί. Ποιό δέσιμο θεωρείται βέλτιστο; Ποια είναι τα κριτήρια για την αξιολόγησή του ως βέλτιστο; Πώς μπορούν να συγκριθούν δύο λύσεις και να αποφασιστεί ότι μια από τις δυο είναι βέλτιστη; Οι πιο συνήθεις επιλογές ως προς την επιλογή της αντικειμενικής συνάρτησης για την εύρεση της βέλτιστης λύσης αναφέρονται από τον Sun [5] και είναι:

- 1 Ελαχιστοποίηση του αριθμού των δεσιμάτων.
- 2 Ελαχιστοποίηση του αριθμού αλλαγών των κοπτικών εργαλείων.
- 3 Ελαχιστοποίηση του αριθμού των κρίσιμων ανοχών μεταξύ των μορφολογικών χαρακτηριστικών τα οποία ανήκουν σε διαφορετικά δεσίματα.
- 4 Ελαχιστοποίηση του αριθμού των επαναυπολογισμών των διαστάσεων όταν οι επιφάνειες αναφοράς του σχεδίου είναι διαφορετικές από τις επιφάνειες τοποθέτησης που έχουν επιλεγεί για συγκράτηση.

Ο Xu [3] διευκρινίζει ότι οι στόχοι που έχουν τεθεί από την πλευρά των ερευνητών που ασχολούνται με την αυτοματοποίηση του προγραμματισμού δεσιμάτων δεν μπορεί να αποτελεί και κριτήριο αξιολόγησης μιας βέλτιστης λύσης. Για να ενισχύσει την επιχειρηματολογία του αναφέρει σαν παράδειγμα ότι ο στόχος για ελάχιστο αριθμό δεσιμάτων μπορεί να παρουσιάσει μια λύση με μόνο ένα δέσιμο η οποία λύση όμως να μην είναι εφαρμόσιμη στην πράξη καθώς το κόστος κατασκευής για την υλοποίησή της να καταργεί το πλεονέκτημά της.

Επανερχόμενοι στις διαφορετικές προσεγγίσεις του προβλήματος του προγραμματισμού έχοντας υπόψη τις πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις διακρίνεται μια πιο ξεκάθαρη και ώριμη αντιμετώπιση με στόχο την ολοκλήρωση. Από την πλευρά της προσέγγισης του προγραμματισμού οδηγούμενου από περιορισμούς παρατηρούμε την συγχώνευση της ανάλυσης των ανοχών στις διαδικασίες λήψης απόφασης για την ομαδοποίηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών και την αλληλουχία των φάσεων και των κατεργασιών. Οι πιο ενδεικτικές δημοσιεύσεις προς αυτή την κατεύθυνση αποτελούν κοινή προσπάθεια των Wakhare και Sormaz [6],[7]. Στην ίδια ομάδα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις του Albertini [8] και Hajimiri [9]. Με την πολύ ενδιαφέρουσα εισαγωγή των εννοιών Επιφάνεια Ελέγχου (Control Face), Παράγοντας Ελέγχου (Control factor) και Επιφάνεια Κατωτερότητας (Inferiority Face) οι δημοσιεύσεις αυτές ανοίγουν σημαντικά τον δρόμο της ολοκλήρωσης.

Από την πλευρά του προγραμματισμού οδηγούμενου από τα στοιχεία συγκράτησης ή την πλευρά του σχεδιασμού των ιδιοσυσκευών απαντώνται κοινές δημοσιεύσεις των Attila και Stampher [10],[11],[12],[13].

1.3 Προγραμματισμός Φάσεων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή - (Computer aided setup planning)

Ο σχεδιασμός φάσεων συγκράτησης και ιδιοσυσκευών απαιτεί τη δημιουργικότητα και τις αναγκαίες δεξιότητες σχεδιασμού συνάμα με την βαθιά κατασκευαστική γνώση. Οι φάσεις κατεργασίας ενός τεμαχίου εμπεριέχουν έναν αριθμό αποφάσεων όπως, ερμηνεία σχεδίων, επιλογή κατάλληλων υλικών, επιλογή διαδικασιών κατεργασίας κ.τ.λ. Παραδοσιακά ο σχεδιασμός των φάσεων συγκράτησης του τεμαχίου γίνεται από έμπειρο προσωπικό βασισμένο στην προσωπική εμπειρία. Αυτό συνεπάγεται την ασυνέπεια στο σχεδιασμό, καθώς αυτός στηρίζεται στην ανθρώπινη αντίληψη. Επιπρόσθετα αυτός ο τρόπος σχεδιασμού είναι συνυφασμένος με μεγάλους χρόνους μελέτης και επιρρεπής στο ανθρώπινο λάθος.

Στην κατασκευαστική βιομηχανία, πλέον δίνεται έμφαση στους αυτοματισμούς, για την βελτίωση της παραγωγικότητας και της ποιότητας. Ήδη στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα συστήματα CAD/ CAM για την επίτευξη αυτών των στόχων. Η διαρκής ανάγκη για βελτίωση όμως της ποιότητας και της παραγωγικότητας σε συνδυασμό με την αύξηση της αποδοτικότητας οδηγεί στην αναζήτηση αυτόματων τρόπων σχεδιασμού διαδικασιών και ιδιαίτερα σχεδιασμού φάσεων συγκράτησης. Οι προσπάθειες για αυτοματοποίηση σε αυτόν τον τομέα έχουν ξεκινήσει από το 1980, αλλά παραμένει ακόμα πολυσύνθετο πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει καθώς η ιδανική φάση συγκράτησης σχετίζεται με έναν αριθμό παραγόντων όπως ο τύπος και το σχήμα του ακατέργαστου υλικού, η διαθεσιμότητα των μηχανημάτων και εργαλείων, το κόστος, η ποσότητα παραγωγής. Είναι δύσκολη η καταγραφή και αναπαράσταση της εμπειρικής γνώσης σε υπολογιστικό κώδικα.

Τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος αυτόματου σχεδιασμού διαδικασιών συνοπτικά είναι τα ακόλουθα:

- Γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ CAD και CAM.
- Δομεί ένα περιβάλλον για την κατασκευή μέσω υπολογιστή.
- Το κατασκευαστικό κόστος μειώνεται, καθώς αντίστοιχα μειώνεται ο χρόνος σχεδιασμού και οι ώρες εργασίας.
- Δημιουργεί αξιόπιστα, ολοκληρωμένα και συνεπή σχέδια.
- Αυξάνει την παραγωγικότητα.

1.4 Στόχοι της εργασίας

Η ύπαρξη διαφορετικών προσεγγίσεων δημιουργεί μια δυσκολία και μια αμφιβολία κατά το έργο της παράθεσης και ταξινόμησης. Στην παρούσα εργασία αρχικά γίνεται η παράθεση και ανάλυση των διαδικασιών του σχεδιασμού των φάσεων συγκράτησης καθώς και των ιδιοσυσκευών συγκράτησης. Υιοθετείται το μοντέλο των ξεχωριστών προσεγγίσεων όσον αφορά το σχεδιασμό των φάσεων συγκράτησης και το σχεδιασμό των ιδιοσυσκευών συγκράτησης.

Αρχικά λοιπόν, θα γίνει μια προσπάθεια ανάλυσης των εργασιών του προγραμματισμού των φάσεων με πολλαπλούς περιορισμούς (η ανάλυση των ανοχών εμπεριέχεται στους περιορισμούς). Εν συνεχεία θα ακολουθήσει η ανάλυση του σχεδιασμού ιδιοσυσκευών συγκράτησης.

Εφόσον γίνει μια ταξινόμηση των παραπάνω, θα αναλυθούν ορισμένες από τις μεθόδους αυτοματοποίησης στον προγραμματισμό των φάσεων και των ιδιοσυσκευών συγκράτησης, που απαντώνται στη βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ (SETUP PLANNING)

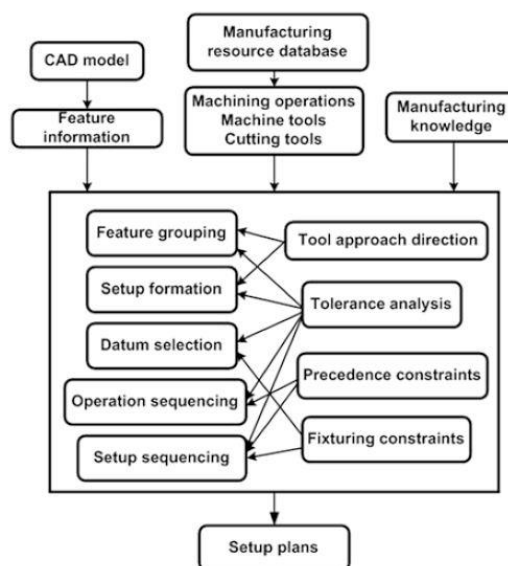
2.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός φάσεων συγκράτησης πρόκειται για την προετοιμασία των οδηγιών μέσω των οποίων ένα τεμάχιο θα συγκρατηθεί ώστε να κατεργαστεί σε μια εργαλειομηχανή. Μια φάση είναι βασικά, ο τρόπος κατά τον οποίο το κομμάτι είναι τοποθετημένο (διεύθυνση και τρόπος συγκράτησης) σε μια συγκεκριμένη θέση για την κατεργασία του. Όταν η θέση του τεμαχίου αλλάξει θεωρείται ως μια νέα φάση.

Ο σχεδιασμός των φάσεων συγκράτησης αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- Κατηγοριοποίηση χαρακτηριστικών (Feature grouping).
- Διαμόρφωση των φάσεων (Setup formation).
- Επιλογή συστημάτων αναφοράς (Datum Selection).
- Αλληλουχία διεργασιών κατεργασίας (Machining operation sequencing) και αλληλουχία φάσεων (Setup sequencing)
- Επιλογή και σχεδιασμός των ιδιοσυσκευών συγκράτησης (Selecting/ designing fixtures)

Το Σχήμα 2.1 που ακολουθεί, παρουσιάζει την σχέση που έχουν οι περιορισμοί με τις σχετικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα [2].



Σχήμα 2.1: Σύστημα σχεδιασμού φάσεων συγκράτησης.

Το σύστημα σχεδιασμού, λαμβάνει την πληροφορία των χαρακτηριστικών του τεμαχίου, των διεργασιών της κατεργασίας και των κοπτικών εργαλείων ως είσοδο. Βασιζόμενο σε αυτές τις πληροφορίες εισόδου, την γνώση για την διαδικασία της κατεργασίας και τους διάφορους περιορισμούς στο σχεδιασμό, όπως είναι για παράδειγμα η διεύθυνση προσέγγισης του εργαλείου (Tool Approach Direction -TAD) και οι περιορισμοί στις προτεραιότητες κατά την επεξεργασία (precedence constraints), διεξάγεται ο σχεδιασμός των φάσεων συγκράτησης.

Η μέθοδος-προσέγγιση προγραμματισμού δεσιμάτων με πολλαπλούς περιορισμούς προσδιορίζει τον απαιτούμενο αριθμό δεσιμάτων ενός τεμαχίου λαμβάνοντας υπόψη τις ανοχές και τις προτεραιότητες κατεργασίας όλων των μορφολογικών χαρακτηριστικών του.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω δεν υπάρχει μια σταθερή και καθολική πεποίθηση του τι περιλαμβάνει ο προγραμματισμός των φάσεων. Κάποιες από τις πεποιθήσεις σύμφωνα με τον Xu [3] είναι οι ακόλουθες:

- 1) Η επιλογή των φάσεων, επιλογή στοιχείων συγκράτησης, αλληλουχία διεργασιών.
- 2) Καθορισμός του απαραίτητου αριθμού φάσεων, ο προσανατολισμός του τεμαχίου σε κάθε φάση, οι κατεργαζόμενες επιφάνειες σε κάθε φάση.
- 3) Η προετοιμασία των οδηγιών για το δέσιμο ενός τεμαχίου η οποία αποτελείται από τον σχηματισμό του δεσίματος, την επιλογή των συστημάτων αναφοράς και της αλληλουχίας των δεσιμάτων.
- 4) Κάποιοι εμπειρέχουν μέσα στον προγραμματισμό των δεσιμάτων την επιλογή των ιδιοσυσκευών και των κοπτικών εργαλείων.

Όπως προαναφέρθηκε, η παρούσα εργασία θα διαχωρίσει τις εργασίες του προγραμματισμού των φάσεων από αυτές του σχεδιασμού των ιδιοσυσκευών, ώστε να βοηθήσει στην κατανόηση της έρευνας.

Στη συνέχεια αναλύονται τα στάδια της ομαδοποίησης των μορφολογικών χαρακτηριστικών και της αλληλουχίας φάσεων ενός συστήματος σχεδιασμού φάσεων συγκράτησης, καθώς και οι περιορισμοί που συνδέονται με τα στάδια αυτά (Σχήμα 2.1).

2.2 Ομαδοποίηση Μορφολογικών Χαρακτηριστικών (Feature Grouping)

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά έχουν θεωρηθεί σαν γεωμετρικά σχήματα ή όγκοι υλικού οι οποίοι απομακρύνονται κατά την διάρκεια των κατεργασιών. Κατά τον Attila [11] αποτελούν ομάδες από επιφάνειες οι οποίες δημιουργούνται με το ίδιο κοπτικό εργαλείο ή τον ίδιο συνδυασμό κοπτικών εργαλείων και έχουν τις ίδιες παραμέτρους κοπής. Έτσι τα

μορφολογικά χαρακτηριστικά αποτελούν την γεωμετρία του τεμαχίου. Ο Abedini [8] επισημαίνει ότι τα μορφολογικά χαρακτηριστικά είναι διακριτά αντικείμενα με γεωμετρικά και χωροταξικά χαρακτηριστικά τα οποία παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον προγραμματισμό των φάσεων.

Ο Hazarika [2], αναφέρει πως τα μορφολογικά χαρακτηριστικά έχουν κυρίαρχο ρόλο στην βελτιστοποίηση των φάσεων του σχεδιασμού και επεξεργασίας τεμαχίων, καθώς πολλά δεδομένα των φάσεων αυτών μπορούν να συσχετιστούν με μορφολογικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου. Ορισμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά ενός στερεού αντικειμένου παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2.

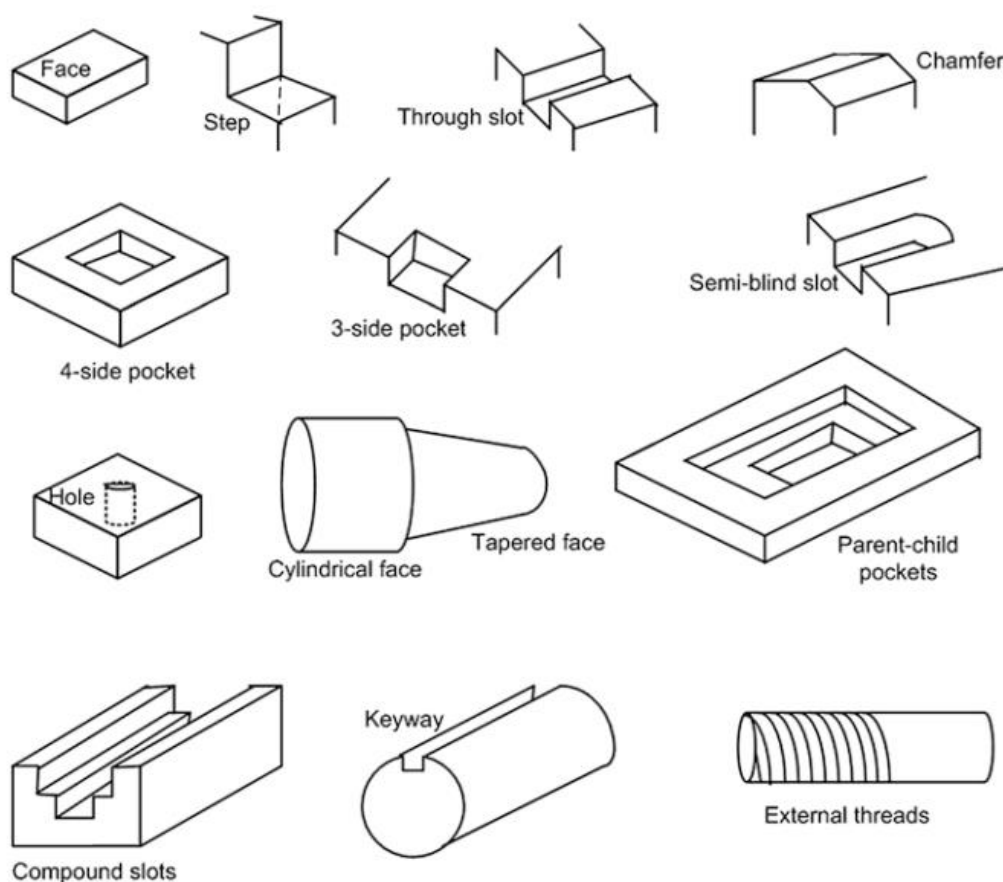


Fig. 1.3 Different types of features

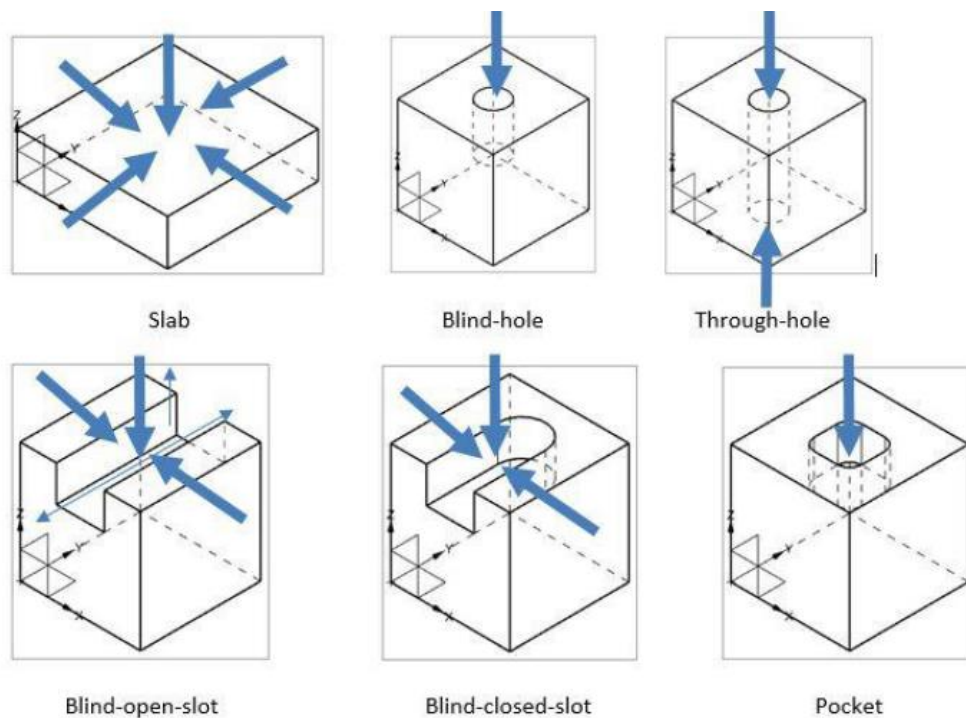
Σχήμα 2.2: Μορφολογικά χαρακτηριστικά τεμαχίων [2].

Μία φάση αποτελεί μια ομάδα υπό κατεργασία χαρακτηριστικών τα οποία κατεργάζονται διαδοχικά χωρίς να χρειαστεί επανατοποθέτηση του τεμαχίου.

2.2.1 Κατεύθυνση Προσέγγισης Κοπτικού Εργαλείου - (TAD)

Για να καταλήξουμε σε μια φάση κατεργασίας ή αλλιώς σε ένα set-up, πρέπει να ορίσουμε ποια ομάδα μορφολογικών χαρακτηριστικών θα αποτελέσει αυτό το set-up. Η λογική που ακολουθείται κατά την διαδικασία απόφασης μιας φάσης (χωρίς να ληφθεί υπόψη το βέλτιστο) είναι η πορεία που ακολουθείται για την κατεργασία του/των μορφολογικού/ών χαρακτηριστικού/ών της φάσης. Η πορεία αυτή που μεταφράζεται σαν πορεία κοπτικού εργαλείου ή προσανατολισμός κοπτικού εργαλείου (TAD: Tool Approach Direction) πρέπει να είναι ανεμπόδιστη και αποτελεί το βασικότερο κριτήριο ομαδοποίησης μορφολογικών χαρακτηριστικών. Το πιο σύνηθες για την TAD είναι να θεωρείται σαν ένα διάνυσμα στον τρισδιάστατο χώρο. Κάθε μορφολογικό χαρακτηριστικό μπορεί να απαιτεί μία ή και περισσότερες διεργασίες και κάθε διεργασία μπορεί να έχει μια ή περισσότερες TAD. Άρα η TAD δεν εξαρτάται μόνο από το μορφολογικό χαρακτηριστικό αλλά και από τη κατεργασία που επιλέγουμε για την δημιουργία του μορφολογικού χαρακτηριστικού [6].

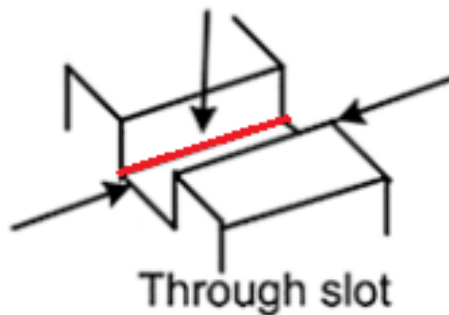
Έτσι, όπως φαίνεται από Σχήμα 2.3 [7] (η TAD παρουσιάζεται με μπλε βέλη) για το μορφολογικό χαρακτηριστικό της επιφάνειας (εδώ slab) αν επιλεγεί η κατεργασία end-milling η TAD θα βρίσκεται στη διεύθυνση του άξονα Z με κατεύθυνση (0,0,-1). Αν πάλι επιλεγεί η κατεργασία side milling τότε η TAD θα βρίσκεται στην διεύθυνση του X ή του Y άξονα.



Σχήμα 2.3: TAD σε ενδεικτικές διεργασίες για διάφορα μορφολογικά χαρακτηριστικά.

Στο Σχήμα 2.4 παρατίθεται μια άλλη εκτίμηση του TAD, ως προς το μορφολογικό χαρακτηριστικό του through slot (ή open slot) η οποία δίνεται στο βιβλίο του Hazarika [2]. Παρατηρούμε διαφορές ως προς την αντίστοιχη TAD του Σχήματος 2.3.

Σύμφωνα με τον Sormaz [7] αν η TAD του slot είναι τα διανύσματα $(0,1,0)$ ή $(0,-1,0)$ τότε οι ακμές (Σχήμα 2.4) θα ήταν κοίλες κάτι το οποίο τις περισσότερες φορές δεν είναι αποδεκτό. Ο Sormaz διατυπώνει αυτό το σχόλιο γιατί θεωρεί ότι το μορφολογικό χαρακτηριστικό through slot θα κατεργαστεί με κονδύλι. Προφανώς αν για την κατεργασία επιλεγεί κονδύλι θα οδηγήσει σε κοίλες ακμές. Αν όμως αντί για κονδύλι χρησιμοποιηθεί δίσκος κοπής, οι TAD που παραθέτει ο Hazarika είναι αποδεκτές. Οπότε η TAD δεν εξαρτάται μόνο από το μορφολογικό χαρακτηριστικό και το είδος της κατεργασίας αλλά και από την επιλογή του τύπου του κοπτικού εργαλείου.



Σχήμα 2.4: TAD σε T-slot.

Ένα λοιπόν από τα κριτήρια ομαδοποίησης των μορφολογικών χαρακτηριστικών είναι η TAD τους. Αφού αναγνωριστεί, λαμβάνοντας υπόψη το είδος των κατεργασιών και των εργαλείων τότε τα μορφολογικά χαρακτηριστικά με κοινές TAD ομαδοποιούνται δημιουργώντας μια φάση.

2.2.2 Ανάλυση Γεωμετρικών και Διαστασιακών Ανοχών (GD&T Analysis)

Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι η ομαδοποίηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών με όμοια TAD δεν καλύπτει πάντα τις σχεδιαστικές απαιτήσεις των τεμαχίων. Για να επιτευχθούν οι επιθυμητές σχεδιαστικές απαιτήσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την κατεργασία, οι γεωμετρικές και διαστασιακές ανοχές που οριοθετούνται κατά τον σχεδιασμό. Αυτές οι ανοχές δίνονται από τον σχεδιαστή και περιγράφουν την ποιότητα του τεμαχίου ώστε να μην υπάρχουν ανακρίβειες και αστοχίες κατά την συναρμολόγηση του με άλλα τεμάχια [14]. Στην

σύγχρονη αντίληψη του σχεδιασμού βάση μορφολογικών χαρακτηριστικών, οι γεωμετρικές και διαστασιακές ανοχές περιγράφουν τις σχέσεις ανοχής μεταξύ των μορφολογικών χαρακτηριστικών. Αυτές οι σχέσεις ανοχής πρέπει να μεταφραστούν σε οδηγίες κατασκευής.

Αρα κατά τον προγραμματισμό των δεσιμάτων και πιο συγκεκριμένα κατά την εργασία ομαδοποίησης των μορφολογικών χαρακτηριστικών και δημιουργίας των φάσεων, η ανάλυση των σχέσεων των μορφολογικών χαρακτηριστικών είναι πολύ κρίσιμη. Ο όρος «σφικτότητα» μιας σχετικής ανοχής (π.χ. παραλληλίας) έχει εισαχθεί σε σχετικές δημοσιεύσεις [15] και αναφέρεται στην δυσκολία διασφάλισης, κατά την κατεργασία, της ακρίβειας του μορφολογικού χαρακτηριστικού σε σχέση με το σημείο αναφοράς του. Κατά την εργασία ομαδοποίησης λοιπόν λαμβάνονται υπόψη και κατατάσσονται οι σχέσεις ανοχής μεταξύ δύο μορφολογικών χαρακτηριστικών με την βοήθεια τριών κριτηρίων [6]:

1. Ομαδοποίηση δύο μορφολογικών χαρακτηριστικών με την μεταξύ τους πιο σφικτή ανοχή.
2. Θεώρηση ενός μορφολογικού χαρακτηριστικού ως σημείου αναφοράς και κατεργασία του άλλου.
3. Επιλογή ενός ενδιάμεσου σημείου αναφοράς και κατεργασία των δύο μορφολογικών χαρακτηριστικών σε διαφορετικές φάσεις.

Το πρώτο κριτήριο προτιμάται καθώς ελαχιστοποιεί την συσσώρευση σφάλματος. Το δεύτερο κριτήριο λαμβάνεται υπόψη μόνο όταν δυο μορφολογικά χαρακτηριστικά δεν μπορούν να κατεργαστούν στην ίδια φάση. Το τρίτο κριτήριο εμπεριέχει την μεγαλύτερη συσσώρευση σφάλματος.

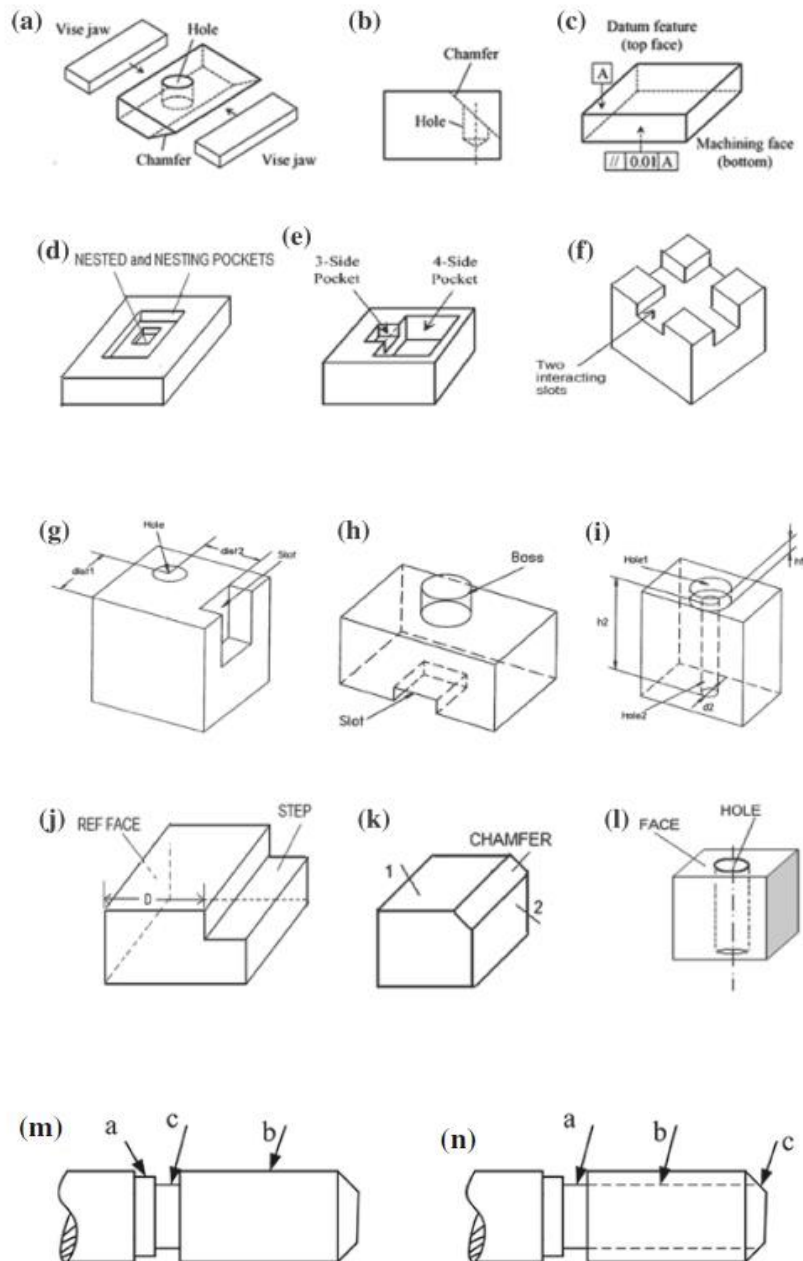
2.3 Αλληλουχία Φάσεων και Κατεργασιών

Μετά την ομαδοποίηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών σε φάσεις έρχεται το πρόβλημα της επιλογής της αλληλουχίας που θα ακολουθηθεί για τις επιλεγμένες φάσεις και για τις επιλεγμένες κατεργασίες. Η αλληλουχία των φάσεων και των κατεργασιών έρχεται αντιμέτωπη με τους ακόλουθους περιορισμούς:

1. Περιορισμοί στην αλληλουχία λόγω σχέσεων κατασκευαστικού προβαδίσματος μεταξύ των μορφολογικών χαρακτηριστικών της επιλεγμένης φάσης.
2. Περιορισμοί στην αλληλουχία λόγω προβαδίσματος κατεργασίας του συστήματος αναφοράς έναντι του μορφολογικού χαρακτηριστικού.

2.3.1 Προβάδισμα σχέσης (Precedence Relationship) μεταξύ μορφολογικών χαρακτηριστικών

Όταν η καταργασία ενός μορφολογικού χαρακτηριστικού μιας φάσης, επηρεάζει τις κατασκευαστικές απαιτήσεις ενός άλλου μορφολογικού χαρακτηριστικού της ίδιας φάσης τότε λέμε ότι τα δύο μορφολογικά χαρακτηριστικά έχουν σχέση αλληλεπίδρασης. Η σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο μορφολογικών χαρακτηριστικών (F1,F2) συμβολίζεται ως $F1 \rightarrow F2$ και υποδηλώνει ότι το μορφολογικό χαρακτηριστικό F2 δεν μπορεί να καταργαστεί πριν το F1.



Σχήμα 2.5: Προβάδισμα σχέσης μεταξύ μορφολογικών χαρακτηριστικών [2].

Στο Σχήμα 2.5 απεικονίζεται ο περιορισμός προβαδίσματος που ανακύπτει λόγω της αλληλεπίδρασης των ιδιοσυσκευών συγκράτησης. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2.5 (a), το άνοιγμα μιας οπής πρέπει να προηγείται του chamfer, επειδή ο τρόπος συγκράτησης θα είναι δυσκολότερος μετά το άνοιγμα της οπής. Για τους ίδιους λόγους η εγκοπή προηγείται του boss στο Σχήμα 2.5 (h). Στο Σχήμα 2.5 (b), αν το chamfer γίνει πρώτα τότε η τοποθέτηση του τρυπανιού θα γίνει δυσκολότερη στη συνέχεια και συνεπώς αυτό το μορφολογικό χαρακτηριστικό έπεται της οπής. Παρόμοια περίπτωση απαντάται στο Σχήμα 2.5 (m), όπου η κατεργασία του μορφολογικού χαρακτηριστικού c έπεται αυτής των a και b. Στο Σχήμα 2.5 (c), απεικονίζεται ο περιορισμός προτεραιότητας που ανακύπτει λόγω των σχέσεων ανοχής με την πλευρά αναφοράς, το οποίο θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα. Στο Σχήμα 2.5 (d), φαίνονται δυο ποκέτες (rocket) οι οποίες έχουν ένα κοινό κομμάτι προς αφαίρεση. Η μικρότερη ποκέτα περιβάλλεται από τη μεγαλύτερη, συνεπώς η μεγαλύτερη θα πρέπει να κατεργαστεί πρώτα. Το Σχήμα 2.5(f) είναι μια περίπτωση που η προτεραιότητα της κάθε κατεργασίας δεν είναι σημαντική. Το Σχήμα 2.5(i) παρουσιάζεται μια περίπτωση ορθής πρακτικής ανοίγματος της οπής με το μικρότερο βάθος πρώτα και έπειτα αυτής με το μεγαλύτερο βάθος. Στα Σχήματα 2.5 (g, j) απεικονίζονται περιπτώσεις όπου τα μορφολογικά χαρακτηριστικά σχετίζονται με άλλα μορφολογικά χαρακτηριστικά (η οπή στο (g) αναφέρεται σε σχέση με την εγκοπή, ενώ το σκαλοπάτι στο (j) σε σχέση με την κάθετη επιφάνεια). Σε αυτήν την περίπτωση τα αναφερόμενα μορφολογικά χαρακτηριστικά έπονται σε προτεραιότητα.

Όλα τα παραπάνω παραδείγματα απορρέουν από την πρακτική εφαρμογή και εμπειρία, συνεπώς πιθανότατα υπάρχει αβεβαιότητα, όσον αφορά την ισχύ για ορισμένες σχέσεις αλληλεπίδρασης. Η ιδανική ακολουθία της κατεργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις σχέσεις προβαδίσματος/ προτεραιότητας. Οι σχέσεις αυτές πρέπει να επανεκτιμηθούν λαμβάνοντας υπόψη και άλλες παραμέτρους όπως είναι το κόστος, ο χρόνος και οι ιδιότητες του εκάστοτε υλικού προς επεξεργασία.

Ο Πίνακας 2.1 στη συνέχεια, συγκεντρώνει τις σχέσεις αλληλεπίδρασης / προβαδίσματος που εμφανίζονται στο Σχήμα 2.5.

Σχήμα	Σχέση Αλληλεπίδρασης
a	Drill Hole → Chamfer
b	Drill Hole → Chamfer
c	Datum A → Bottom Face
d	Nesting Pocket → Nested Pocket
e	4-side Pocket → 3-side Pocket
f	Slot1 → Slot2
g	Slot → Drill hole
h	Slot → Boss
i	Hole1 → Hole2
j	Ref face → Step
k	Faces 1 and 2 → Chamfer
l	Face → Drill hole
m	Groove c → Groove a b
n	a → b, c → b

Πίνακας 2.1: Σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των μορφολογικών χαρακτηριστικών του Σχήματος 2.5

2.3.2 Προβάδισμα Επιφάνειας Αναφοράς (Datum) έναντι Μορφολογικού Χαρακτηριστικού

Μια επιφάνεια αναφοράς είναι μια επιφάνεια του μορφολογικού χαρακτηριστικού που αποτελεί ξεκάθαρα μια εν δυνάμει επιφάνεια τοποθέτησης. Η επιφάνεια τοποθέτησης είναι αυτή που έρχεται σε επαφή με τα στοιχεία τοποθέτησης. Σύμφωνα με τους Abedini [8] και Hajimiri [9], στη βιβλιογραφία υπάρχει μια έλλειψη προσοχής των σχέσεων μεταξύ της κατεργασίας των μορφολογικών χαρακτηριστικών και των σημείων αναφοράς που υποδηλώνονται κατά τον σχεδιασμό. Επισημαίνουν ότι για να υπάρξει ένας σωστός διαστασιακός έλεγχος θα πρέπει το τεμάχιο να τοποθετείται στα σημεία αναφοράς του σχεδίου. Με αυτό τον τρόπο οι ανοχές εξαρτώνται από τις ανοχές των μηχανουργικών κατεργασιών.

Για την αναγνώριση και την ταξινόμηση αυτών των επιφανειών εισήγαγαν τις ακόλουθες έννοιες:

1. *Επιφάνεια Ελέγχου*: Η επιφάνεια ελέγχου είναι μια επιφάνεια που θεωρείται επιφάνεια αναφοράς. Είναι η επιφάνεια που ελέγχει έναν αριθμό μορφολογικών χαρακτηριστικών.
2. *Παράγοντας Ελέγχου*: Ο παράγοντας ελέγχου αποτελεί μια τιμή που παίρνει κάθε υποψήφια επιφάνεια ελέγχου και υποδεικνύει τον ρόλο που παίζει στον έλεγχο των μορφολογικών χαρακτηριστικών. Όσο περισσότερα μορφολογικά χαρακτηριστικά ελέγχει μια επιφάνεια ελέγχου τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του παράγοντα.
3. *Κατασκευαστική Προτεραιότητα*: Αποτελεί έναν δείκτη ο οποίος αντανακλά την ικανότητα που έχουν επιφάνειες με ίδιες TAD να ελέγχουν άλλα μορφολογικά χαρακτηριστικά. Υπολογίζεται με την πρόσθεση του παράγοντα ελέγχου επιφανειών με κοινές TAD.

2.4 Άλλοι περιορισμοί κατά τον σχεδιασμό των φάσεων συγκράτησης

Είναι κατανοητό πως κατά το σχεδιασμό των φάσεων συγκράτησης, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι δεν έχουν σχέση με τη γεωμετρία του αντικειμένου. Συγκεκριμένα, συνήθως ο διαθέσιμος εξοπλισμός και οι δυνατότητές του επηρεάζει το σχεδιασμό των φάσεων, καθώς τα μεγέθη και τα είδη των διαθέσιμων μηχανών, των κοπτικών εργαλείων, του εξοπλισμού επιθεώρησης και των εγκαταστάσεων αποτελούν παράγοντες περιορισμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα σύγχρονα κέντρα κατεργασιών (Machining Centers – MC), τα οποία είναι ικανά να κατεργαστούν 5 πλευρές ενός κυβικού τεμαχίου σε ένα μοναδικό setup.

Τέλος, οι δεξιότητες κι η εμπειρία του προσωπικού είναι ένας σημαντικός παράγοντας, αφού από αυτόν τελικά εξαρτάται το κόστος και η ταχύτητα της κατεργασίας. [16]

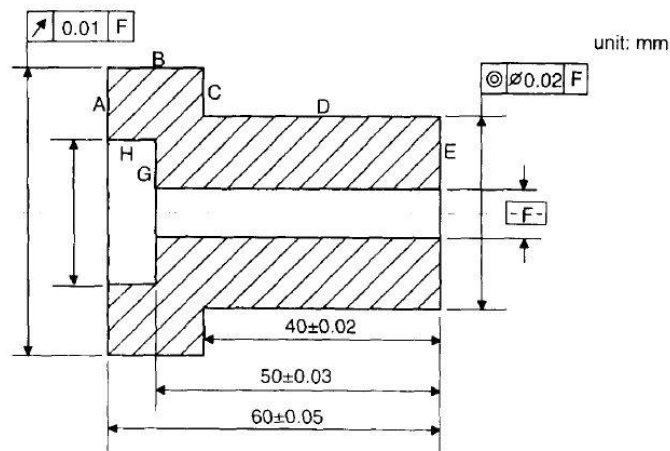
2.5 Σχεδιασμός φάσεων συγκράτησης μέσω H/Y (Computer aided setup planning)

Μια μέθοδος για τον προσδιορισμό και σχεδιασμό των φάσεων συγκράτησης μέσω H/Y είναι η χρήση γράφων. Οι γράφοι αποτελούνται από δύο ομάδες στοιχείων: τις κορυφές (vertices) και τις ακμές (edges). Οι πρώτες αναπαριστούν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του τεμαχίου ενώ οι δεύτερες τις σχέσεις μεταξύ αυτών, ενώ συνάμα οδηγούν στην αναγνώριση της φάσης. ([17], [18], [5])

Ένα παράδειγμα εφαρμογής της θεωρίας των γράφων στο σχεδιασμό των φάσεων είναι το ακόλουθο:

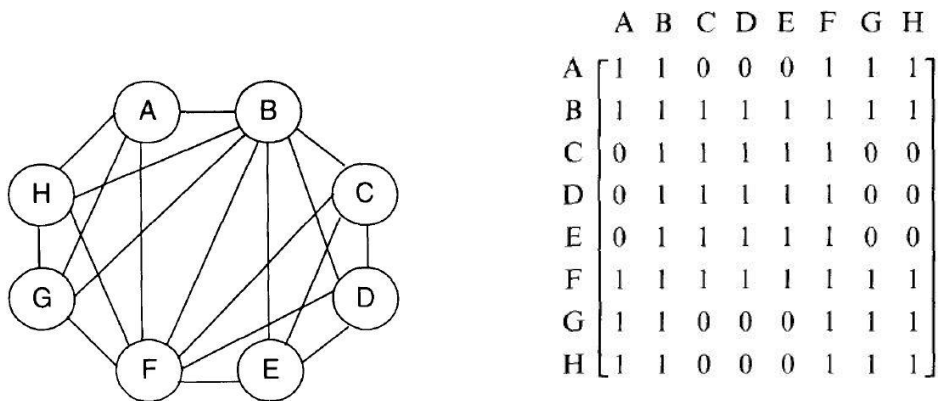
Πρώτα σχηματίζεται ο γράφος $G_0=(\bar{V},\bar{E})$, που περιέχει τις σχέσεις των μορφολογικών (διάνυσμα \bar{V}) χαρακτηριστικών και των TAD (διάνυσμα \bar{E}). Τα δύο διανύσματα μπορεί να

είναι διαφορετικών διαστάσεων για παράδειγμα n και m αντίστοιχα. Έστω το τεμάχιο του Σχήματος 2.6, το οποίο έχει 8 μορφολογικά χαρακτηριστικά σημειωμένα (A, B, C, D, E, F, G, H).



Σχήμα 2.6: Παράδειγμα τεμαχίου με σημειωμένα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά [17].

Αν δυο μορφολογικά (v_i, v_j) χαρακτηριστικά μπορούν να αποδοθούν κατά το ίδιο setup τότε $(v_i, v_j) \in \bar{E}$. Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζεται ο πίνακας M_0 , που πρόκειται για τον γειτονικό του G_0 . Είναι συμμετρικός πίνακας καθώς ο γράφος είναι μη κατευθυντικός και τα στοιχεία M_{0ij} του είναι 1 όταν υπάρχει σχέση μεταξύ των κορυφών v_i και v_j και 0 σε αντίθετη περίπτωση. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και ο γράφος G_0 .



Σχήμα 2.7: Γράφος G_0 (αριστερά), γειτονικός (adjacent) πίνακας M_0 (δεξιά) [17].

Παρατηρείται πως ο πίνακας M_0 αποτελείται από 3 ξεχωριστά διανύσματα στήλης, που είναι τα: $[1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1]$, $[0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]$ και $[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$. Αυτό σημαίνει πως τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μπορούν να χωριστούν σε 3 ομάδες, ανάλογα τη διεύθυνση προσέγγισης του κοπτικού εργαλείου. (1)-αριστερά, (2)-δεξιά και (3)-και από τις δύο πλευρές. Κατά συνέπεια τα διανύσματα που αντιστοιχούν στην ομάδα 3, μπορούν να

κατηγοριοποιηθούν είτε στην ομάδα 1 είτε στη 2, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του αριθμού των φάσεων.

Έχει μελετηθεί επίσης η χρήση των νευρωνικών δικτύων για το σχεδιασμό των φάσεων. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι διασυνδεδεμένα δίκτυα στοιχείων, όπου οι διασυνδέσεις προκύπτουν από μια διαδικασία εκμάθησης από ένα σετ δεδομένων. Μετά την εκμάθηση τα δίκτυα μπορούν να παράγουν λύσεις για νέα προβλήματα που τους δίνονται. Οι Ming και Mak, τροφοδοτούν ένα νευρωνικό δίκτυο με την TAD, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και τις σχέσεις μεταξύ ανοχών για να κατηγοριοποιήσουν τις διαδικασίες των διαφόρων φάσεων [19].

Τέλος, η εμπειρική γνώση έχει σε ορισμένες μελέτες κωδικοποιηθεί μέσω κανόνων για να υποβοηθήσει τις διαδικασίες σχεδιασμού των φάσεων. Οι κανόνες αυτοί συχνά χρησιμοποιούνται με τις μεθόδους των γράφων για την αύξηση της απόδοσης της μεθόδου [20].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΙΔΙΟΣΥΣΚΕΥΩΝ (FIXTURE DESIGN)

3.1 Ιδιοσυσκευές

Ιδιοσυσκευές είναι τα ειδικά, επιπρόσθετα εκείνα προσαρτήματα που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές γενικής χρήσης. Χωρίς να σημαδεύει το τεμάχιο μια ιδιοσυσκευή συγκράτησης θα πρέπει να συγκρατεί το τεμάχιο στην επιθυμητή θέση σε όλη την διάρκεια της κατεργασίας. Με σκοπό την ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων λόγω των δυνάμεων σύσφιξης και συγκράτησης η ιδιοσυσκευή πρέπει να υποστηρίζει το τεμάχιο κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Η ιδιοσυσκευή θα πρέπει να ικανοποιεί την σωστή τοποθέτηση του τεμαχίου σε θέση κατάλληλη ως προς το κοπτικό εργαλείο ώστε να εξασφαλίζεται η επαναληψιμότητα και η ακρίβεια της κατεργασίας [21].

Σε γενικές γραμμές μια ιδιοσυσκευή συγκράτησης αποτελείται από τρία μέρη:

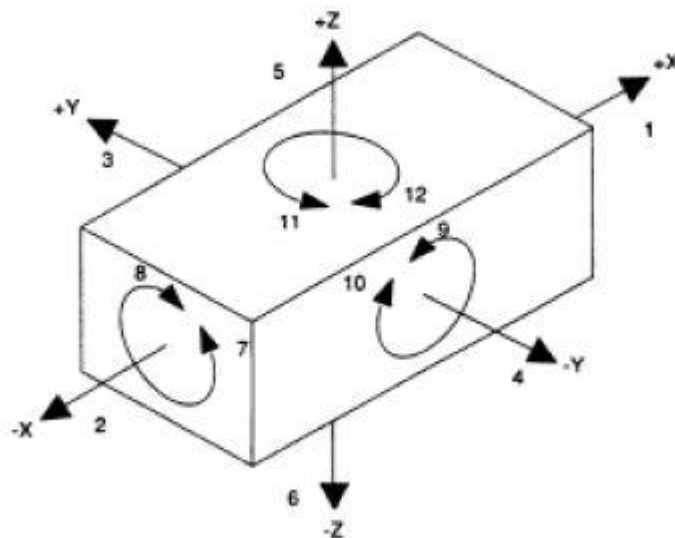
- a) *Στοιχεία τοποθέτησης (Locators)*: Αποτελούν σταθερά-ακίνητα στοιχεία χωρίς ικανότητα ενεργοποίησης. Χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση των τεμαχίων στην επιθυμητή θέση και προσανατολισμό. Μια τυπική ιδιοσυσκευή έχει τουλάχιστον 6 (έξι) στοιχεία τοποθέτησης.
- b) *Στοιχεία σύσφιξης (Clamps)*: Τα στοιχεία σύσφιξης αποτελούν μηχανισμούς εφαρμογής δύναμης. Τοποθετούνται σταθερά πάνω στις τράπεζες των εργαλειομηχανών και χρησιμοποιούνται για να ασκούν δυνάμεις οι οποίες διατηρούν το τεμάχιο στην επιθυμητή θέση εξουδετερώνοντας τις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Μια τυπική ιδιοσυσκευή έχει τουλάχιστον δύο τέτοια στοιχεία.
- c) *Στοιχεία στήριξης (Supports)*: Τα στοιχεία στήριξης μπορεί να είναι σταθερά ή ρυθμιζόμενα. Τοποθετούνται κάτω από το τεμάχιο με σκοπό να περιορίσουν την εμφάνιση παραμορφώσεων λόγω των δυνάμεων σύσφιξης και κατεργασίας. Δεν υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός στοιχείων στήριξης που χρησιμοποιούνται σε μια τυπική ιδιοσυσκευή.

Ο σχεδιασμός των ιδιοσυσκευών συγκράτησης επηρεάζεται συνδυαστικά από τις προδιαγραφές του τεμαχίου, τις κατασκευαστικές μεθόδους, τα χαρακτηριστικά του υλικού

κ.α. Απαιτεί εμπειρία από την πλευρά των σχεδιαστών η οποία οδηγεί σε αύξηση του χρόνου σχεδιασμού και κατά συνέπεια του κόστους [22].

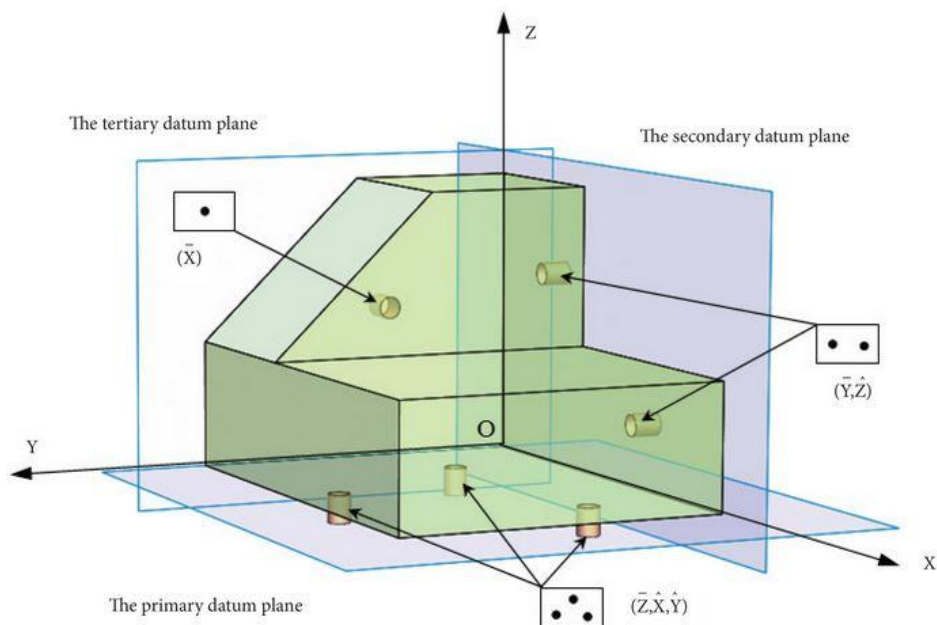
3.1.1 Αρχές τοποθέτησης

Η τοποθέτηση μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία για την τοποθέτηση και τον προσανατολισμό του τεμαχίου στη μηχανή για την ολοκλήρωση της κατεργασίας. Για τον προσδιορισμό του κατάλληλου τρόπου τοποθέτησης είναι αναγκαία η κατανόηση των βαθμών ελευθερίας (degrees of freedom – DOF). Στο χώρο, υπάρχουν 12 βαθμοί ελευθερίας (Σχήμα 3.1), που σχετίζονται με τους άξονες των επιφανειών του τεμαχίου. Από αυτούς οι 6 είναι αξονικής διεύθυνσης και οι υπόλοιποι είναι περιστροφικοί.



Σχήμα 3.1: Βαθμοί ελευθερίας.

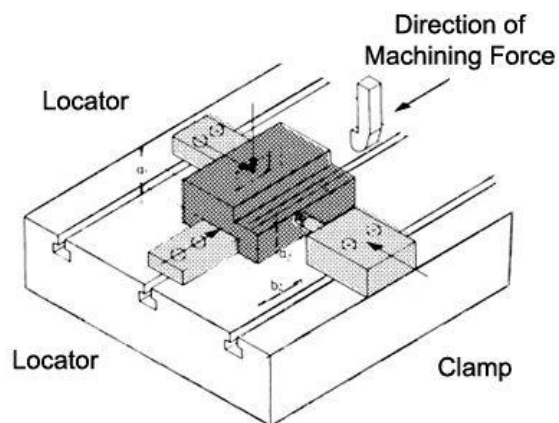
Για τον περιορισμό αυτών των βαθμών ελευθερίας χρησιμοποιούνται ορισμένοι τρόποι τοποθέτησης του τεμαχίου. Γενικά, υπάρχουν επίπεδοι τρόποι τοποθέτησης, περιστροφικοί και ομόκεντροι. Η συνηθέστερη μέθοδος τοποθέτησης για πρισματικά τεμάχια, είναι η λεγόμενη «3-2-1» (Σχήμα 3.2), όπου χρησιμοποιούνται τρεις, κάθετες μεταξύ τους, επιφάνειες (datum faces) του αντικειμένου για την τοποθέτησή του. Στην πρώτη (primary datum plane) υπάρχουν 3 σημεία στήριξης, στη δεύτερη (secondary datum plane) 2 και στην Τρίτη (tertiary datum plane) 1.



Σχήμα 3.2: Μέθοδος τοποθέτησης «3-2-1».

3.1.2 Αρχές συγκράτησης - σύσφιξης

Οι σφιγκτήρες χρησιμοποιούνται για το «δέσιμο» του τεμαχίου στα στοιχεία τοποθέτησης, με σκοπό τον περιορισμό της κίνησης του κομματιού ως αντίδραση στις δυνάμεις που του εξασκούνται κατά την κατεργασία. Ανάλογα τη διεύθυνση των δυνάμεων κατεργασίας ορίζεται η διεύθυνση των δυνάμεων των σφιγκτήρων. (Σχήμα 3.3)



Σχήμα 3.3: Σφιγκτήρας σε σχέση με τη διεύθυνση των δυνάμεων κατεργασίας.

Οι σφιγκτήρες δεν αναλαμβάνουν τις «πρωτεύουσες» δυνάμεις κατεργασίας, όπως παρατηρείται από το Σχήμα 3.3, αλλά τις «δευτερεύουσες».

Από σχεδιαστικής άποψης, ο μηχανισμός συγκράτησης θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να εξασφαλίζει το ασφαλές δέσιμο του τεμαχίου, από την άλλη θα πρέπει να είναι αρκετά μικρός ώστε να μην εμποδίζει την κίνηση των κοπτικών εργαλείων.

3.2 Σχεδιασμός ιδιοσυσκευών - (Fixture Planning)

3.2.1 Γενικά

Οι απαιτήσεις της αγοράς για ποικιλία προϊόντων αυξημένης ποιότητας σε χαμηλό χρόνο παράδοσης, έχει μετατρέψει το παραδοσιακό μοντέλο μαζικής παραγωγής σε μοντέλο παραγωγής παρτίδων. Η μεταστροφή αυτή οδήγησε τη βιομηχανία στη αναζήτηση και υιοθέτηση ευέλικτων κατασκευαστικών πρακτικών (flexible manufacturing practices) [20].

Ένας κρίσιμος τομέας της κατασκευής ο οποίος τροφοδότησε την έρευνα για αναζήτηση ευέλικτων λύσεων είναι αυτός της συγκράτησης των τεμαχίων κατά την διάρκεια των κατεργασιών. Σύμφωνα με έρευνες το κόστος της συγκράτησης ανέρχεται στο 10%-20% του συνολικού κόστους κατασκευής [23]. Το κόστος αυτό σχετίζεται με τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συναρμολόγηση των ιδιοσυσκευών. Οι προαναφερόμενες διαδικασίες καταλαμβάνουν πολύ σημαντικό χρόνο για την εκτέλεσή τους. Παραδοσιακά οι διαδικασίες αυτές γίνονται από έμπειρους τεχνίτες οι οποίοι στην συνέχεια ολοκληρώνουν την κατεργασία του τεμαχίου [24]. Η εμπειρία λοιπόν των μαστόρων είναι αυτή που καθορίζει την επιλογή του τύπου των ιδιοσυσκευών και την επιλογή των σημείων τοποθέτησης, στήριξης, σύσφιξης του τεμαχίου. Μετά από αυτή την επιλογή ακολουθεί η κατασκευή και σύνθεση της διάταξης των ιδιοσυσκευών πάνω στην τράπεζα της εργαλειομηχανής με κύριο μέλημα την εύκολη πρόσβαση και την αποφυγή τρακαρισμάτων με τα κοπτικά εργαλεία. Όλες αυτές τις διαδικασίες η επιστημονική κοινότητα προσπάθησε και προσπαθεί να τις εντάξει σε μια καθολικά αποδεκτή θεώρηση. Ένα κοινά αποδεκτό επιστημονικό πλαίσιο που εμπεριέχει την λογική με την οποία λαμβάνονται οι σχετικές αποφάσεις είναι απαραίτητο για την εξέλιξη των διαδικασιών αυτών. Μην ξεχνάμε ότι ο προγραμματισμός δεσμάτων και ο σχεδιασμός ιδιοσυσκευών αποτελούν τον πυρήνα του τεχνολογικού προγραμματισμού ο οποίος κατέχει θεμελιώδη ρόλο στο σύστημα που ονομάζουμε Παραγωγή. Κάθε απόφαση για μια διεργασία επηρεάζει την διεργασία που ακολουθεί. Κάθε κατεργασία κατά την διάρκεια της κατασκευής θα πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι η αλυσίδα των κατεργασιών οδηγεί στην δημιουργία προϊόντων επιθυμητής ποιότητας σε ανταγωνιστικές τιμές [25]. Άρα οι σχετικές αποφάσεις ως προς τα δεσίματα και τις ιδιοσυσκευές δεν μπορεί να λαμβάνονται από τον τεχνητή αλλά από τον προγραμματιστή της παραγωγής ο οποίος έχει εικόνα της αλυσίδας. Πολλές απόψεις για την τύχη των ανθρώπινων ικανοτήτων στην εποχή του Industry 4 επισημαίνουν ότι ο ανθρώπινος παράγοντας είναι μια πηγή λαθών η οποία θα εξαλειφθεί μόνο μέσω της αυτοματοποίησης [26]. Μια πιο καθαρή ματιά αναγνωρίζει ότι μέσω της αυτοματοποίησης η εργασία θα αναδιοργανωθεί προς την κατεύθυνση του

συντονισμού και της λύσης προβλημάτων. Έτσι οι άνθρωποι θα αντιληφθούν τις απόλυτες δυνατότητές τους ως υπεύθυνοι λήψης απόφασης καθώς και της ικανότητάς τους να αποτελούν το πιο ευέλικτο σύστημα μέσα στην παραγωγή [25].

Ο προγραμματισμός που λαμβάνει υπόψη τις ιδιοσυσκευές έχει ως στόχο να καθορίσει τον ακριβή τρόπο με τον οποίο ένα τεμαχίο θα τοποθετηθεί και θα συσφιχθεί σύμφωνα με τις σχεδιαστικές απαιτήσεις του καθώς και τον τύπο της κατεργασίας που απαιτείται. Για παράδειγμα η κατάλληλη σύσφιξη επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια και την ποιότητα του τεμαχίου [16]. Το βήμα αυτό απαιτεί μεγάλη εμπειρία καθώς σχετίζεται με αποφάσεις όπως:

- Επιλογή του απαραίτητου αριθμού στοιχείων συγκράτησης.
- Επιλογή του κατάλληλου τύπου στοιχείου συγκράτησης.
- Επιλογή του κατάλληλου προσανατολισμού των στοιχείων που απαρτίζουν την ιδιοσυσκευή σε σχέση με τον προσανατολισμό της εκάστοτε κατεργασίας.
- Επιλογή των επιφανειών πάνω στις οποίες θα δράσουν τα στοιχεία της ιδιοσυσκευής.
- Επιλογή των σημείων συγκράτησης.

Στη συνέχεια εξετάζονται αναλυτικά οι αποφάσεις αυτές κατά το στάδιο του σχεδιασμού των ιδιοσυσκευών. Συγκεκριμένα, θα αναλυθούν διάφοροι ενδεικτικοί τύποι ευέλικτων ιδιοσυσκευών και ορισμένοι τρόποι τοποθέτησης και συγκράτησης τεμαχίων

3.2.2 Σχεδιασμός απαιτήσεων ιδιοσυσκευών - (Fixture requirements)

Σε κάθε βήμα του σχεδιασμού των ιδιοσυσκευών πολλές σχεδιαστικές απαιτήσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη ταυτόχρονα. Στον Πίνακα 3.1 παρατίθεται μια κατηγοριοποίηση και ανάλυση των σχεδιαστικών απαιτήσεων μιας ιδιοσυσκευής [20].

	Ανάλυση Απαιτήσεων
Φυσικές απαιτήσεις	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Η ιδιοσυσκευή πρέπει να είναι ικανή να δεχτεί την γεωμετρία του τεμαχίου και η στιβαρότητά της να είναι ανάλογη του βάρους του. ➤ Ο σχεδιασμός πρέπει να είναι κατάλληλος ώστε να επιτρέπει την κατεργασία των μορφολογικών χαρακτηριστικών του τεμαχίου.
Απαιτήσεις ανοχής	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Οι ανοχές της ιδιοσυσκευής πρέπει να είναι κατάλληλες ώστε οι ανοχές του τεμαχίου να ικανοποιούνται.
Περιοριστικές απαιτήσεις	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Η ιδιοσυσκευή θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι το τεμάχιο παραμένει σταθερό κατά την κατεργασία. ➤ Η ιδιοσυσκευή θα πρέπει να εξασφαλίζει την στιβαρότητα που απαιτείται ώστε να περιορίσει την εμφάνιση παραμορφώσεων στο τεμάχιο οι οποίες θα οδηγήσουν σε μη επιθυμητές ανοχές.
Οικονομικές απαιτήσεις	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Το κόστος της ιδιοσυσκευής δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα επιθυμητά επίπεδα. ➤ Η συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση της ιδιοσυσκευής δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα επιθυμητά επίπεδα χρόνου.
Αποφυγή τρακαρισμάτων	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ο σχεδιασμός της ιδιοσυσκευής πρέπει να είναι κατάλληλος ώστε να αποφεύγονται τα τρακαρίσματα μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και των στοιχείων της ιδιοσυσκευής.
Απαιτήσεις εύκολης χρήσης	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Το βάρος της ιδιοσυσκευής δεν πρέπει να ξεπερνά τα επιθυμητά όρια. ➤ Η ιδιοσυσκευή δεν πρέπει να προξενεί βλάβες λόγω επαφής στην επιφάνεια του τεμαχίου. ➤ Ο σχεδιασμός της ιδιοσυσκευής πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αποφεύγονται οι λανθασμένες τοποθετήσεις των τεμαχίων. ➤ Ο σχεδιασμός της ιδιοσυσκευής θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε τα υπολείμματα των κατεργασιών (όπως γρέζια) να απομακρύνονται.

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες απαιτήσεων ιδιοσυσκευών [20].

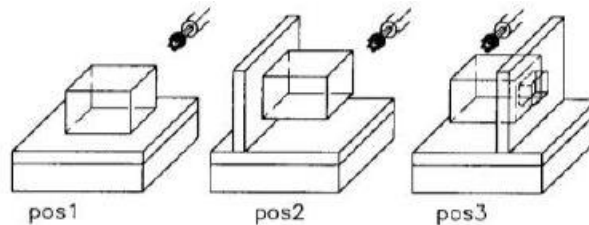
3.2.3 Σημεία και επιφάνειες συγκράτησης / Σημεία τοποθέτησης τεμαχίου - (Layout planning)

Αναφέρθηκε πως ο σχεδιασμός των ιδιοσυσκευών σχετίζεται τόσο με την επιλογή του κατάλληλου τύπου ιδιοσυσκευής, όσο και με την επιλογή του τρόπου τοποθέτησης και συγκράτησης του τεμαχίου προς κατεργασία. Όσον αφορά την τοποθέτηση και συγκράτηση του τεμαχίου, έχουν γίνει ορισμένες προσπάθειες στη βιβλιογραφία κωδικοποίησης της εμπειρικής γνώσης με σκοπό τη χρησιμοποίηση σε ένα σύστημα αυτόματων αποφάσεων.

Λόγω κυρίως της μεγάλης ποικιλίας των τεμαχίων ως προς το σχήμα το μέγεθος και το υλικό, θα χρειαζόταν ένα τεράστιο σύστημα για την κατάταξή τους και την εύρεση της κατάλληλης ιδιοσυσκευής για το κάθε ένα από αυτά [10].

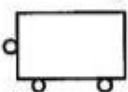

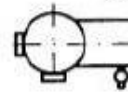
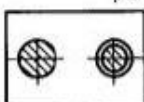
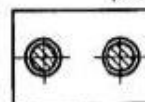
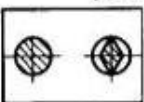

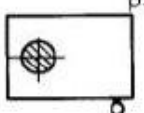
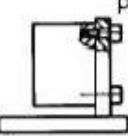
Στο άρθρο των Attila, Retfalvi γίνεται μια προσπάθεια συστηματοποίησης των επιλογών για την τοποθέτηση, συγκράτηση και υποστήριξη πρισματικών τεμαχίων [11]. Αυτό του είδους τα τεμάχια κατεργάζονται κατά τη συνήθη πρακτική, σύμφωνα με τη μελέτη, σε οριζόντια κέντρα κατεργασιών. Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζονται οι 3 τύποι υποστήριξης τέτοιου είδους τεμαχίων.

- (1)- pos 1: Οριζόντια
- (2)- pos 2: Κάθετη
- (3)- pos 3: Κάθετη με δυνατότητα μερικής επεξεργασίας στην επιφάνεια υποστήριξης

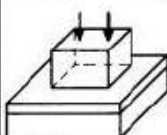
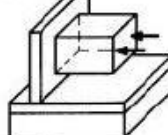
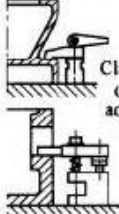
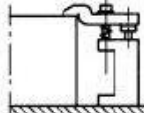
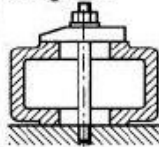
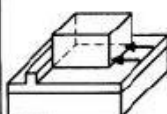
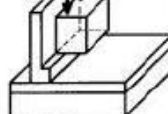
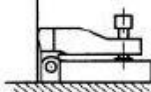
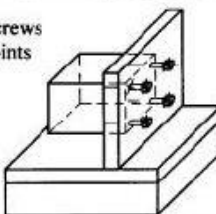


Σχήμα 3.4: Τύποι υποστήριξης τεμαχίων τύπου «κουτιού».

Στα Σχήματα 3.5 και 3.6 παρουσιάζονται οι πιθανοί τύποι τοποθέτησης και συγκράτησης τέτοιων τεμαχίων.

Type	Description	Sub-types			
p1	Locating by using surfaces which are on the adjoining faces of the plane locating face				
p2	Locating by using two inside diameter on the plane locating face				
p3	Locating by using one inside diameter on the plane locating face and a surface on one of the adjoining faces				
p4	Locating by using two threaded joints on the plane locating face				

Σχήμα 3.5: Τύποι τοποθέτησης τεμαχίων τύπου «κουτιού».

Type	Description of clamping type	Sub-types			
s1	Clamping perpendicular to the plane locating face	 	 Clamping on the adjoining faces	 Clamping on the opposite face	 Clamping on the through hole
s2	Clamping parallel to the plane locating face	 			
s3	Clamping by screws and threaded joints on the plane locating face				

Σχήμα 3.6: Τύποι συγκράτησης τεμαχίων τύπου «κουτιού».

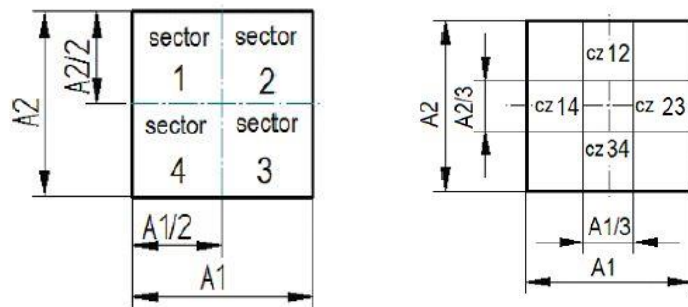
Υπάρχουν, λοιπόν 4 τρόποι τοποθέτησης όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 3.4, ενώ όσον αφορά τη διεύθυνση της δύναμης συγκράτησης μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κατηγορίες, την

κάθετη (s1) και την παράλληλη (s2). Η (s3) πρόκειται για μια ειδική κατηγορία συγκράτησης, που γίνεται με τη χρήση βιδών στην επιφάνεια τοποθέτησης.

Τέλος τα σημεία συγκράτησης μπορεί να είναι από 2 έως 4. Η ονομασία του τύπου συγκράτησης σε αυτή την περίπτωση είναι της μορφής sj,n, με n=2,3,4 που είναι ο συνολικός αριθμός των σημείων συγκράτησης, ενώ j είναι η αρίθμηση που χρησιμοποιείται για την κάθε κατηγορία από το Σχήμα 3.6.

Προσδιορισμός των σημείων συγκράτησης

Για μικρά τεμάχια είναι αρκετό το δέσιμο σε 2 σημείο, ενώ για μεγαλύτερα είναι απαραίτητη η συγκράτησή τους σε 3 τουλάχιστον σημεία. Αν υπάρχει αρκετός χώρος είναι επιθυμητό να γίνει ακόμα και σε 4 σημεία. Για την ισοκατανομή των δυνάμεων σύσφιξης η επιφάνεια σύσφιξης χωρίζεται σε τομείς όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7: Διαίρεση της επιφάνειας συγκράτησης σε τομείς ανάλογα των αριθμό των σημείων συγκράτησης, 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά).

The position of the clamping points at clamping type s11, s12 and s3	
Clamping in two points	<ul style="list-style-type: none"> sectors 1,3 sectors 2,4 central zones 1-4, 2-3 central zones 1-2, 3-4
Clamping in three points	<ul style="list-style-type: none"> sectors 1,2 and central zones 3-4 sectors 1,4 and central zones 2-3 sectors 3,4 and central zones 1-2 sectors 2,3 and central zones 1-4
Clamping in four points	<ul style="list-style-type: none"> sectors 1,2,3,4 central zones 1-2, 2-3, 3-4, 1-4

Πίνακας 3.2: Η θέση των σημείων συγκράτησης ανάλογα τον τύπο συγκράτησης (s1, s2, s3).

Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένα σύνολο κανόνων που ορίζει τη διαθεσιμότητα των σημείων συγκράτησης και τοποθέτησης (Rule-based).

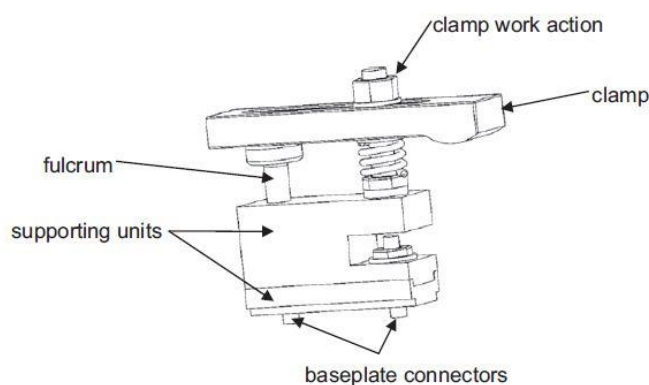
Άλλες προσεγγίσεις

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλες προσεγγίσεις με τη μέθοδο κανόνων, όπως αυτή των Attila Ritfalvi ([27], [28], [29]). Εκτός αυτής της μεθόδου, πολύ συχνά απαντάται η χρήση της μεθόδου CBR, η οποία στηρίζεται στην γνώση των λύσεων που δόθηκαν σε άλλες προηγούμενες περιπτώσεις. Τα σημεία συγκράτησης και τοποθέτησης για το εξεταζόμενο τεμάχιο, με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου λαμβάνονται από μια βάση δεδομένων η οποία περιέχει ορισμένα τεμάχια με τα αντίστοιχα σημεία. Γίνεται μια σύγκριση μεταξύ του τεμαχίου αναφοράς και αυτών της βάσης δεδομένων και αντιστοιχίζεται το τεμάχιο με ένα από τη βάση, με το οποίο ομοιάζει περισσότερο ([30], [31], [32]). Τέλος, οι Lin και Huang, χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα για να εξάγουν τα σημεία τοποθέτησης και συγκράτησης.[33]

Μεγαλύτερη ανάλυση στις μεθόδους CBR και Rule-based θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

3.3 Σχεδιασμός μονάδας - (Unit/ Configuration Design)

Ο σχεδιασμός της μονάδας περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των στοιχείων τοποθέτησης, σύσφιξης και υποστήριξης που βρίσκονται σε επαφή με το τεμάχιο. Επίσης μονάδα αποτελεί και η βάση πάνω στην οποία δένονται τα προαναφερόμενα στοιχεία. Παρακάτω παρατίθεται μια μονάδα σύσφιξης (ένας σφικτήρας) και τα στοιχεία που τον αποτελούν. Οι σφικτήρες χρησιμοποιούνται με σκοπό να περιορίσουν την εμφάνιση παραμορφώσεων λόγω των δυνάμεων κατεργασίας (Σχήμα 3.8).

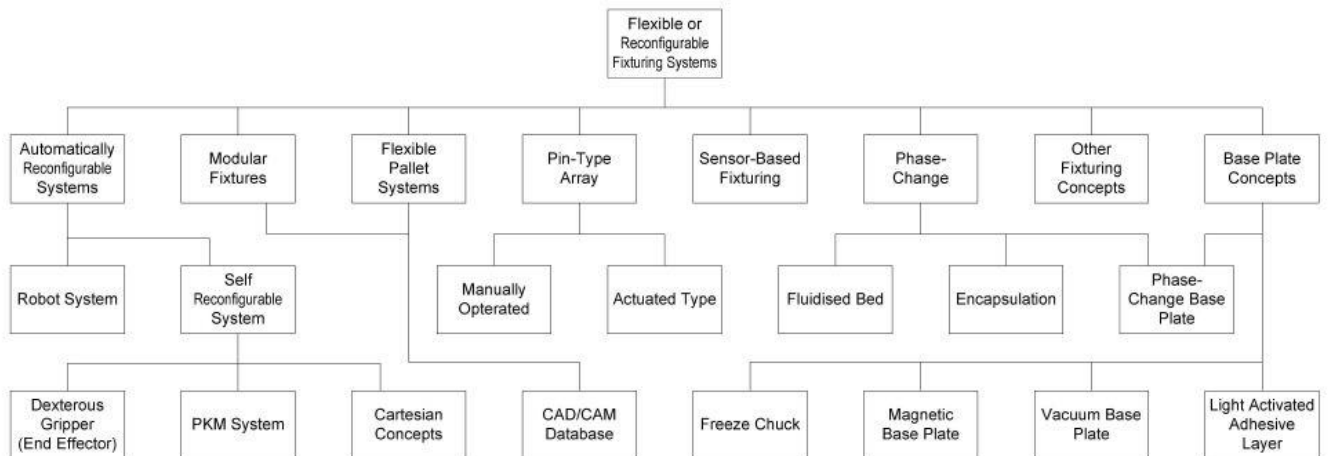


Σχήμα 3.8: Παράδειγμα μονάδας συγκράτησης.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι ενδεικτικότεροι τύποι ευέλικτων μονάδων ιδιοσυσκευών.

3.3.1 Τύποι ευέλικτων ιδιοσυσκευών συγκράτησης

Ιδιαίτερα σημαντική προσπάθεια έχει καταβληθεί για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών συγκράτησης, με αναφορά τη μεγαλύτερη ευελιξία κατά τα διάφορα στάδια της κατασκευής. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9, 7 (επτά) βασικές κατηγορίες συγκράτησης απαντώνται στη βιβλιογραφία ([34],[23]).

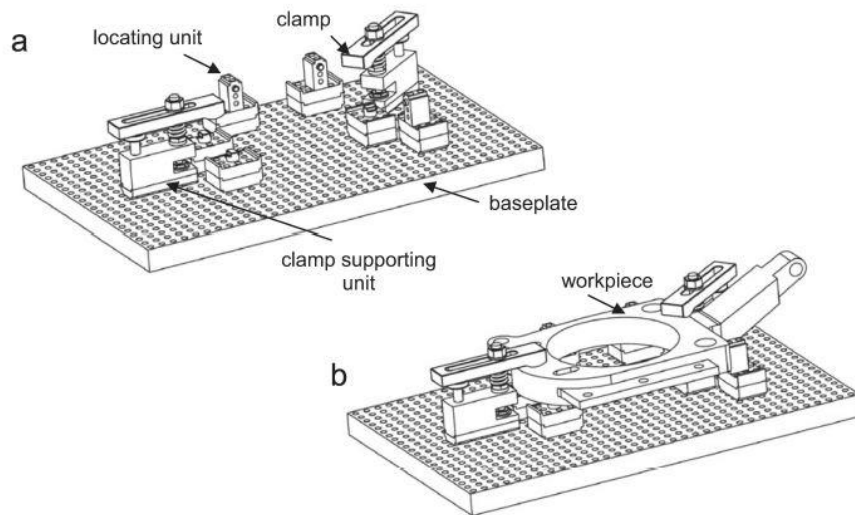


Σχήμα 3.9: Κατηγορίες ευέλικτων ιδιοσυσκευών συγκράτησης.

Στις επόμενες υποενότητες θα αναλυθούν με περισσότερες λεπτομέρειες αυτές οι κατηγορίες αυτές.

3.3.1.1 Ιδιοσυσκευές με διακριτά στοιχεία (Modular Fixtures)

Οι ιδιοσυσκευές αυτού του τύπου είναι κατασκευασμένες από βασικά στοιχεία και διακριτά στοιχεία συγκράτησης. Ένα παράδειγμα ιδιοσυσκευής αυτής της κατηγορίας απεικονίζεται στο Σχήμα 3.10. Τα στοιχεία συγκράτησης είναι συνδεδεμένα με εγκοπές τύπου T (T-slots), και οπές (holes).



Σχήμα 3.10: Παράδειγμα ιδιοσυσκευής με διακριτά στοιχεία - (a) χωρίς το κομμάτι και (b) με το κομμάτι τοποθετημένο.

Ιδιοσυσκευές που χρησιμοποιούνται για συναρμολόγηση, διαμόρφωση ή επιτήρηση είναι γενικότερα μεγαλύτερου μεγέθους και λιγότερο στιβαρές από αυτές που χρησιμοποιούνται σε μηχανές. Γενικά, για το κυρίως σώμα της ιδιοσυσκευής χρησιμοποιούνται διακριτά στοιχεία πρισματικού τύπου, κοίλες δοκοί ή σωληνωτά κομμάτια καθώς και στοιχεία σύνδεσης, για την ασφαλή σύνδεση των μερών του σώματος της ιδιοσυσκευής.

Τα μειονεκτήματα των ιδιοσυσκευών αυτής της κατηγορίας είναι:

- Το μεγάλο κόστος τους.
- Η ακρίβεια εντοπισμού είναι κατώτερη της κανονικής, σε ορισμένες περιπτώσεις, λόγω της ανακρίβειας που εισάγεται κατά το στάδιο συναρμολόγησης, τις ανοχές των στοιχείων της ιδιοσυσκευής καθώς και τις σχετικές μετατοπίσεις των στοιχείων αυτών κατά την επεξεργασία και τέλος την αλλοίωσή της με την πάροδο του χρόνου.

3.3.1.2 Ευέλικτα συστήματα παλετών

Τα ευέλικτα συστήματα παλετών, αποτελούνται από τα ίδια στοιχεία με αυτά της προηγούμενης κατηγορίας και βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλες μηχανές ή πολύ-αρθρωτούς σταθμούς και μπορούν να χειριστούν πολλαπλά κομμάτια ταυτόχρονα. Ο σχεδιασμός τους επιτρέπει την μεμονωμένη τοποθέτηση και ανάκτηση του δοκιμίου. Στο Σχήμα 3.11 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ευέλικτου συστήματος παλέτας.



Σχήμα 3.11: Παράδειγμα ευέλικτου συστήματος παλέτας.

3.3.1.3 Αυτοματισμοί συγκράτησης

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση στη χρήση ιδιοσυσκευών με αυτοματισμούς. Ο κύριος λόγος της διάδοσης των συστημάτων αυτών αποτελεί η μείωση των χρόνων για τα διάφορα set-up. Παραδοσιακά, τα κομμάτια δένονται στη μέγγενη μέσω ενός κοχλιωτού μηχανισμού. Με σκοπό την επιτάχυνση της σύσφιξης του κομματιού, αναπτύχθηκαν κι άλλοι τύποι σφικτήρων, οι οποίοι δεν παύουν να λειτουργούν χειροκίνητα. Η απόδοση των χειροκίνητων συστημάτων εξαρτώνται από την εμπειρία και τις ικανότητες του χειριστή. Αυτό το πρόβλημα λύνουν τα αυτόματα συστήματα δεσίματος του δοκιμίου, καθώς προσφέρουν αξιοπιστία και επαναληψιμότητα κατά τη λειτουργία. Επιπρόσθετα, τα συστήματα αυτά είναι αρκετά ελέγξιμα, καθώς η δύναμη που ασκείται μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια ανάλογα με τον τύπο της εργασίας. Επειδή αυτά τα συστήματα ενεργοποιούνται μέσω μιας εξωτερικής πηγής ενέργειας (πνευματικής, ηλεκτρικής, υδραυλικής), ο χειρισμός τους καθίσταται δυνατός εξ' αποστάσεως. Μειονέκτημά τους αποτελεί φυσικά το κόστος. [21]

3.3.1.4 Σχεδιασμός ιδιοσυσκευών συγκράτησης με χρήση αισθητήρων

Συστήματα αισθητήρων και τεχνητής όρασης, αξιοποιούνται με απώτερο σκοπό την εξασφάλιση πως το δοκίμιο τοποθετείται ορθά στην ιδιοσυσκευή. Αυτό είναι ένα σημαντικό βήμα προς την αυτοματοποίηση της εισαγωγής του δοκιμίου στην εκάστοτε ιδιοσυσκευή συγκράτησης. ([35],[36])

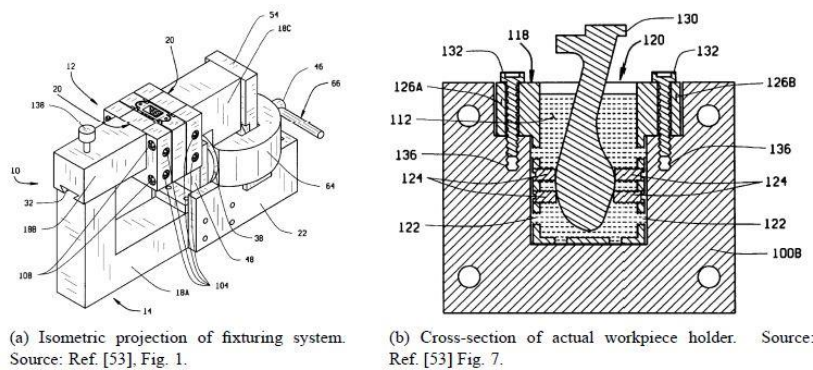
3.3.1.5 Ιδιοσυσκευές συγκράτησης, βασισμένες στα Υλικά Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ)

Σε αυτήν την κατηγορία ιδιοσυσκευών, η ακινητοποίηση του δοκιμίου επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός υλικού αλλαγής φάσης. Μετά την τοποθέτηση του δοκιμίου με ένα επιπρόσθετο εργαλείο, το ΥΑΦ στερεοποιείται γύρω από το δοκίμιο.

Τρεις τυπικές προσεγγίσεις αυτής της κατηγορίας είναι οι επόμενες:

- Ρευστοποιημένη βάση (fluidized bed) – Η ιδιοσυσκευή είναι το δοχείο που περιέχει το υγρό ΥΑΦ.
- Ενθυλάκωση (encapsulation) – Το στερεοποιημένο υλικό αλλαγής φάσης και το δοκίμιο αποσπώνται από το δοκίμιο και βυθίζονται σε μια άλλη ιδιοσυσκευή.
- Βάση ΥΑΦ (Phase-change Base plate) – Τα στοιχεία της ιδιοσυσκευής και όχι το δοκίμιο, εμβαπτίζονται σε υλικό αλλαγής φάσης σε αυτήν την προσέγγιση.

Στο Σχήμα 3.12 και στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζονται δύο παραδείγματα της προσέγγισης της ρευστοποιημένης βάσης.



Σχήμα 3.12: Ιδιοσυσκευή ρευστοποιημένης βάσης.

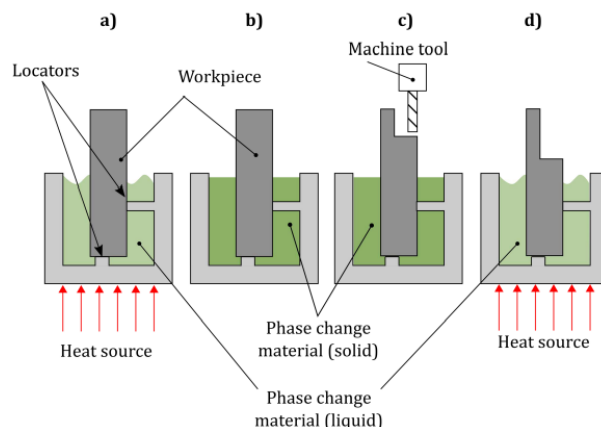
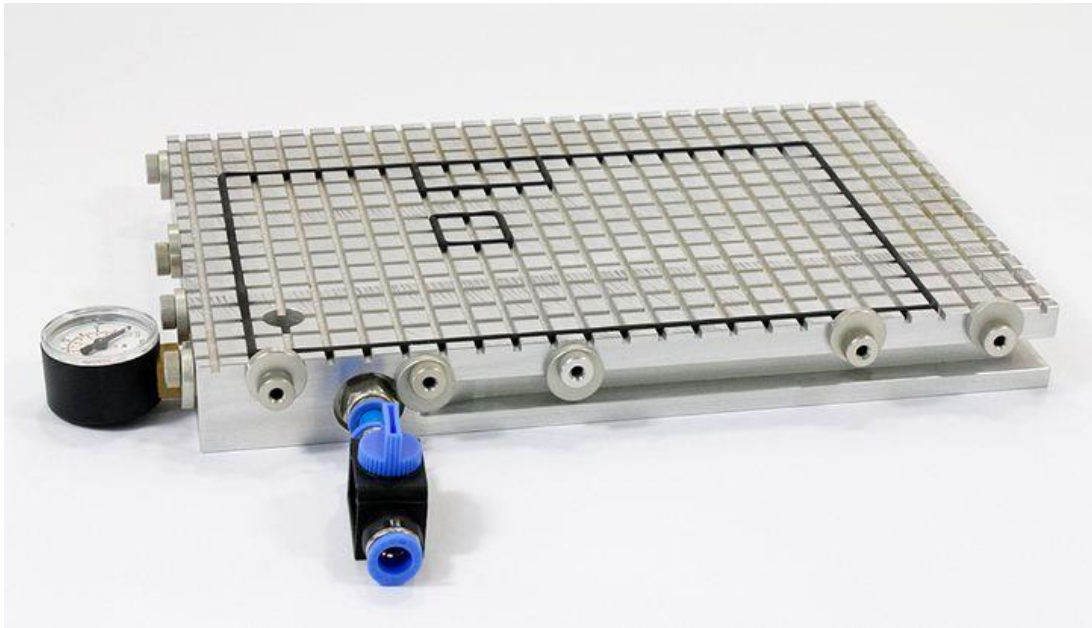


Figure 6 Authentic phase change fixturing process: A heat source melts the phase change material, thus permitting the insertion of the workpiece (a), after solidification (b) the manufacturing process can be carried out (c). Finally, the heat source re-melts the phase change material and permits the removal of the workpiece (d).

Σχήμα 3.13: Ιδιοσυσκευή ρευστοποιημένης βάσης.

3.3.1.6 Ιδιοσυσκευές συγκράτησης με χρήση σφιγκτήρων (Chuck-based)

Στην περίπτωση που οι δυνάμεις κατά την επεξεργασία είναι μικρές και μια πλευρά του δοκιμίου είναι επίπεδη, τότε μπορεί να αρκεί να συγκρατηθεί μόνο η επίπεδη πλευρά του με ένα μηχανισμό, του οποίου η ικανότητα συγκράτησης βασίζεται σε μαγνητικές δυνάμεις, δυνάμεις κενού ή το δοκίμιο να είναι παγωμένο επάνω στο μηχανισμό. Στο Σχήμα 3.14 παρουσιάζεται μια ιδιοσυσκευή συγκράτησης που λειτουργεί με δυνάμεις κενού. [21]



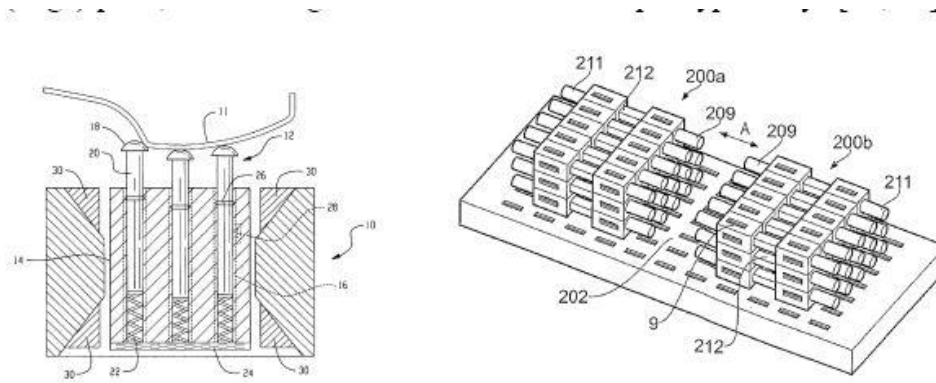
Σχήμα 3.14: Ιδιοσυσκευή συγκράτησης με εφαρμογή δυνάμεων κενού [37].

3.3.1.7 Διατάξεις τύπου «καρφίτσας» - (Pin-type)

Ένας μηχανισμός στη βάση επιτρέπει στην κορυφή των pin να τοποθετούνται στην αξονική διεύθυνση, έτσι ώστε η επιφάνεια του εργαλείου να είναι περιτυλιγμένα από τις κορυφές των pin.

Στη βιβλιογραφία απαντώνται τόσο παθητικά συστήματα των διατάξεων αυτών όσο και ενεργητικά. [38] Σε ορισμένες διατάξεις τα Pin χρησιμοποιούνται μόνο για την υποστήριξη και τοποθέτηση του δοκιμίου, ενώ σε άλλες χρησιμοποιούνται για τη συγκράτησή του, ενώ αυτά παραμένουν στη θέση τους μέσω κάποιου ΥΑΦ.

Τέλος, αναλόγως την εφαρμογή, οι διαστάσεις των pin είναι διαφορετικές (Σχήμα 3.15).



Σχήμα 3.15: Παραδείγματα διατάξεων τύπου «καρφίτσας».

3.3.1.8 Αυτόματα επαναρυθμιζόμενες ιδιοσυσκευές

Πέντε βασικές στρατηγικές σχεδιασμού, αυτόματων επαναρυθμιζόμενων ιδιοσυσκευών μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία. Όλες βασίζονται σε ρομποτικά συστήματα.

Οι ιδιοσυσκευές διακριτών στοιχείων, μπορούν να συναρμολογηθούν και να επαναρυθμιστούν μέσω ρομποτικών συστημάτων, όπου ένα ρομπότ τοποθετεί τα στοιχεία της ιδιοσυσκευής στις οπές της βάσης ή επάνω σε μαγνητικούς σφικτήρες. Η έλλειψη της ακρίβειας θέσης που αναφέρεται στις ιδιοσυσκευές διακριτών στοιχείων, μεταφέρεται και σε αυτή την περίπτωση καθώς εναπόκειται στην ακρίβεια εντοπισμού του ρομπότ.

Άλλες στρατηγικές στηρίζονται στη λογική του «ρομπότ ως ιδιοσυσκευή». Η πρώτη αυτών των στρατηγικών είναι οι ενεργητικοί τύποι των διατάξεων τύπου «καρφίτσας», όπως περιγράφηκε παραπάνω. Επίσης, στρατηγικές που βασίζονται σε αρπάγες, που πιάνουν το αντικείμενο. Συχνά τέτοιες στρατηγικές ακολουθούνται στην μικρο-μηχανική. Η ακρίβεια των ευκίνητων αρπάγων είναι γενικά μικρότερη αυτής των ιδιοσυσκευών.

Οι τελευταίες δύο στρατηγικές συγκράτησης είναι ρομπότ υπό τη μορφή παράλληλων κινηματικών μηχανισμών (PMKs – parallel kinematic mechanisms) και ρομπότ καρτεσιανών συντεταγμένων (Cartesian coordinate robots). [21]

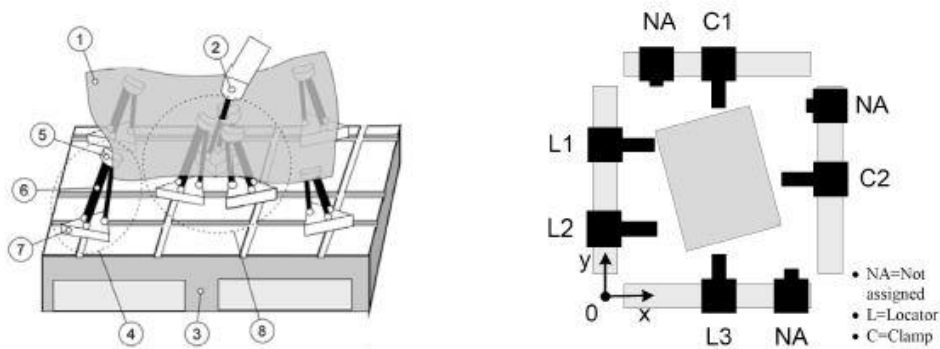
3.3.1.9 Άλλοι τύποι ιδιοσυσκευών συγκράτησης

Υπάρχουν και ορισμένοι ακόμα τύποι ιδιοσυσκευών συγκράτησης που έχουν αναπτυχθεί, οι οποίοι παρουσιάζουν κάποιες ομοιότητες σε σχέση με τις ευέλικτες ιδιοσυσκευές συγκράτησης. Οι περισσότερες εξ' αυτών αποκαλούνται προσαρμοζόμενες ιδιοσυσκευές.

Για παράδειγμα μια τέτοια ιδιοσυσκευή αξιοποιεί ένα σύστημα CMM (Coordinate Measurement Machine – Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων) για να εξετάσει ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά σε μπλοκ κινητήρων αυτοκινητοβιομηχανίας. Η πληροφορία από

το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για την εξαγωγή της ακριβής θέσης και προσανατολισμού των επιφανειών προς κατεργασία. Μια βάση με μικροπροσαρμογές θέσης εφαρμόζεται για την επανατοποθέτηση του δοκιμίου στην ιδανική θέση. [21]

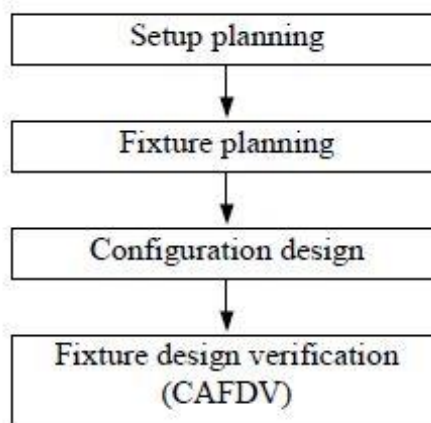
Στο Σχήμα 3.16 παρουσιάζονται τύποι προσαρμοζόμενων ιδιοσυσκευών συγκράτησης.



Σχήμα 3.16: Προσαρμοζόμενες ιδιοσυσκευές συγκράτησης.

3.4 Επαλήθευση - (Verification)

Το στάδιο της επαλήθευσης είναι απαραίτητο για να εξασφαλίσει ότι ο σχεδιασμός της ιδιοσυσκευής που έχει αναπτυχθεί κατά τα προηγούμενα στάδια, ικανοποιεί τις σχεδιαστικές απαιτήσεις. Είναι απαραίτητο στάδιο σε κάθε προσέγγιση σχεδιασμού ιδιοσυσκευών μέσω Η/Υ (Σχήμα 3.17).

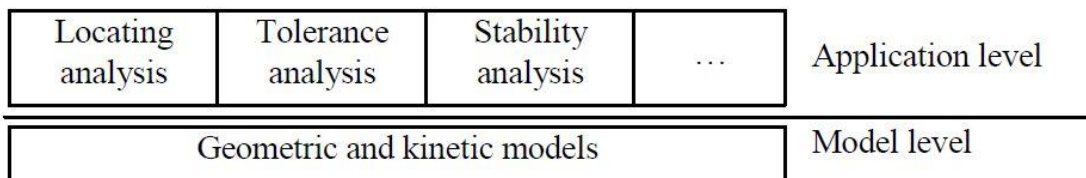


Σχήμα 3.17: Τα τέσσερα στάδια ενός αυτόματου συστήματος σχεδιασμού ιδιοσυσκευών.

Συνήθως η επαλήθευση σχετίζεται με τις εξής απαιτήσεις:

- Απαιτήσεις ανοχών
- Περιοριστικές απαιτήσεις
- Ανίχνευσης σύγκρουσης
- Απαιτήσεις εύκολης χρήσης
- Οικονομικές απαιτήσεις

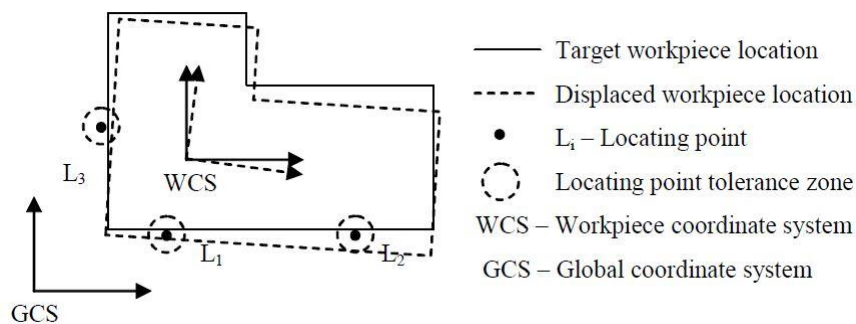
Δύο μοντέλα, μπορούν να δημιουργηθούν για να αναπαραστήσουν τη σχέση του τεμαχίου και της ιδιοσυσκευής. Το γεωμετρικό μοντέλο, περιγράφει τη σχετική μετακίνηση του τεμαχίου ως προς τα στοιχεία τοποθέτησης, ενώ το κινητικό μοντέλο περιγράφει την παραμόρφωση της ιδιοσυσκευής και τη μετακίνηση του τεμαχίου εξαιτίας των εξωτερικών δυνάμεων [32]. Και τα δύο μοντέλα χρησιμοποιούνται κατά το στάδιο της επαλήθευσης, για την εξασφάλιση των επιθυμητών απαιτήσεων (Σχήμα 3.18).



Σχήμα 3.18: Η δομή ενός συστήματος επαλήθευσης των CAFD.

3.4.1 Γεωμετρικό μοντέλο ιδιοσυσκευής

Ιδιαίτερα στην ανάλυση των απαιτήσεων ανοχών, η εύρεση των μετατοπίσεων του τεμαχίου, που προκλήθηκε από την μετατόπιση των στοιχείων τοποθέτησης είναι πολύ σημαντική. Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζονται τρία σημεία τοποθέτησης, με τις ανοχές τους. Δεδομένων των μετατοπίσεων των σημείων τοποθέτησης, πρέπει να προσδιοριστεί η μετατόπιση του τεμαχίου ή κάποιου συγκεκριμένου μορφολογικού χαρακτηριστικού του. Αν είναι γνωστή η μετατόπιση του τεμαχίου τότε ανακύπτει το αντίστροφο πρόβλημα.



Σχήμα 3.19: Γεωμετρικό μοντέλο ιδιοσυσκευής.

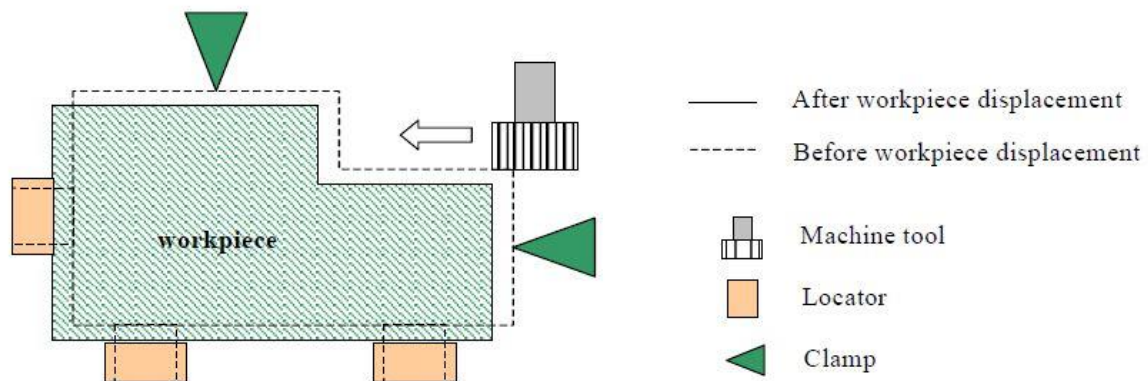
Το γεωμετρικό μοντέλο της ιδιοσυσκευής είναι ο σύνδεσμος μεταξύ των μετατοπίσεων του τεμαχίου και των σημείων τοποθέτησης. Βασίζεται στον Ιακωβιανό (Jacobian) πίνακα, του οποίου οι ιδιότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν, την ακρίβεια της τοποθέτησης. Όπως και σε προβλήματα ρομποτικών βραχιόνων ο πίνακας αυτός καθορίζει τη σχέση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου και των στοιχείων τοποθέτησης.

$$\{\Delta d\} = [J]\{\Delta q\} \quad (3.1)$$

Όπου: $\{\Delta q\} = \{\Delta x \Delta y \Delta z \Delta a \Delta \beta \Delta \gamma\}^T$ είναι η μετατόπιση του τεμαχίου.

3.4.2 Κινητικό μοντέλο ιδιοσυσκευής

Με την εφαρμογή εξωτερικών δυνάμεων στο τεμάχιο, αυτό θα παραμορφωθεί και θα μετατοπιστεί όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.20: Κινητικό μοντέλο ιδιοσυσκευής.

Το κινητικό μοντέλο της ιδιοσυσκευής χρησιμοποιείται για να περιγραφούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εξωτερικών δυνάμεων, της μετατόπισης του τεμαχίου, και της παραμόρφωσης. Δεδομένων το δυνάμεων συγκράτησης και των δυνάμεων της κατεργασίας, είναι δυνατό να υπολογιστεί η παραμόρφωση και η μετατόπιση του τεμαχίου.

Η εξίσωση ισορροπίας του τεμαχίου υπολογίζεται από την Εξίσωση (3.2).

$$[K]\{\Delta q\} = -\{We\} \quad (3.2)$$

Όπου: $\{\Delta q\} = \{\Delta x \Delta y \Delta z \Delta a \Delta \beta \Delta \gamma\}^T$ είναι η μετατόπιση του τεμαχίου.

$\{We\} = \{F_{ex} F_{ey} F_{ez} M_{ex} M_{ey} M_{ez}\}^T$ είναι οι εξωτερικές δυνάμεις στο τεμάχιο και

$[K]$, ο πίνακας ακαμψίας (stiffness) του τεμαχίου.

3.4.3 Προσεγγίσεις υλοποίησης σταδίου επαλήθευσης

Όσον αφορά τις περιοριστικές απαιτήσεις, η ερευνά εστιάζει στην επαλήθευση ενός σχεδιασμού που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις της σταθερότητας του τεμαχίου και της μη παραμόρφωσης κατά την κατεργασία, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Ενώ κάποιες από τις προσεγγίσεις της επαλήθευσης της σταθερότητας είναι πολύ αναλυτικές και εστιάζουν στην εξασφάλιση της ισορροπίας δυνάμεων στο τεμάχιο (Εξίσωση 3.2) ([39], [40]), άλλες υιοθετούν πιο ελαστικές μεθόδους που αναζητούν αν οι 6 βαθμοί ελευθερίας του τεμαχίου περιορίζονται ([41], [42]).

Σχετικά με τις απαιτήσεις ανοχών η εστίαση της έρευνας ποικίλει. Για παράδειγμα ο Camelio, ανέπτυξε μια μεθοδολογία, βασισμένη στη σύνδεση λαθών του τεμαχίου με τα σφάλματα της ιδιοσυσκευής, τα οποία προκαλούνταν μέσω ενός μεταβλητού μοντέλου κινηματικής για τη διαδικασία της κατεργασίας [42]. Σε αντίθεση με αυτή την προσέγγιση ο Wang [43], ανέπτυξε μια μέθοδο ανάλυσης ανοχών, η οποία στηρίζεται στον υπολογισμό των νέων θέσεων των μορφολογικών χαρακτηριστικών του τεμαχίου, σε σχέση με τη μετατόπιση λόγω σφάλματος της θέσης των στοιχείων τοποθέτησης.

Η εξασφάλιση πως δεν θα υπάρξει ανεπιθύμητη σύγκρουση μεταξύ της ιδιοσυσκευής και του τεμαχίου είναι σχετικά εύκολη, καθώς τα σύγχρονα συστήματα CAD είναι δυνατό να διεξάγουν έναν έλεγχο σύγκρουσης. Απεναντίας, η ανίχνευση πιθανής σύγκρουσης μεταξύ της διαδρομής των κοπτικών εργαλείων και της ιδιοσυσκευής αποτελεί πρόκληση. [44]

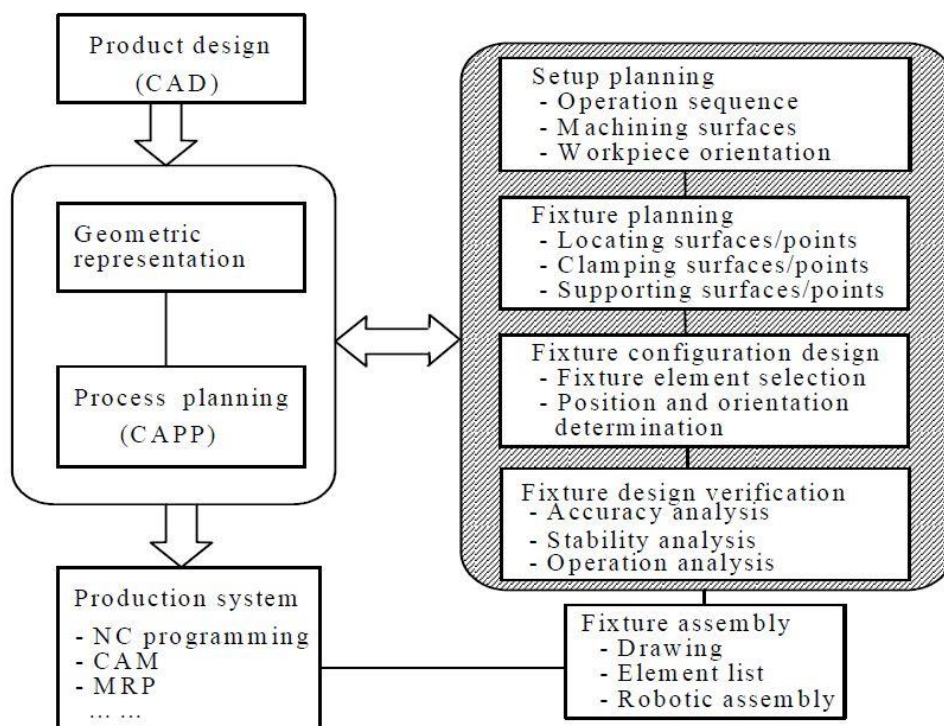
Πολύ μικρή έρευνα έχει γίνει στην επαλήθευση των οικονομικών απαιτήσεων και απαιτήσεων εύκολης χρήσης. Προσεγγίσεις βασισμένες σε κανόνες (Rule-based), μπορούν να δώσουν απάντηση στη δημιουργία τέτοιων συστημάτων [29].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΕΣΙΜΑΤΩΝ & ΙΔΙΟΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕΣΩ Η/Υ (COMPUTER AIDED FIXTURE DESIGN)

4.1 Γενικά

Με την ταχεία ανάπτυξη των διαδικασιών στην κατασκευή, ο σχεδιασμός των δεσιμάτων και ιδιοσυσκευών αποτέλεσε πολύ σημαντικό παράγοντα ελαχιστοποίησης του χρόνου και του κόστους. Τα συστήματα σχεδιασμού δεσιμάτων και ιδιοσυσκευών μέσω υπολογιστή αναπτύχθηκαν για την απλούστευση της διαδικασίας σχεδιασμού. Αν και τα συστήματα CAD/CAM έχουν εισαχθεί στη βιομηχανία, στα στάδια της σχεδίασης και της κατεργασίας, η πλήρης αυτοματοποίηση των συστημάτων CAFD δεν έχει ακόμα επιτευχθεί. Η πρόκληση έγκειται στην κωδικοποίηση της εμπειρικής γνώσης με σκοπό την αυτοματοποίηση αυτών των συστημάτων. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1, ένα σύστημα CAFD περιλαμβάνει, το σχεδιασμό των φάσεων (setup planning), το σχεδιασμό των ιδιοσυσκευών (fixture planning) και την επαλήθευση μέσω Η/Υ (verification), τα οποία εξετάστηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. [45]



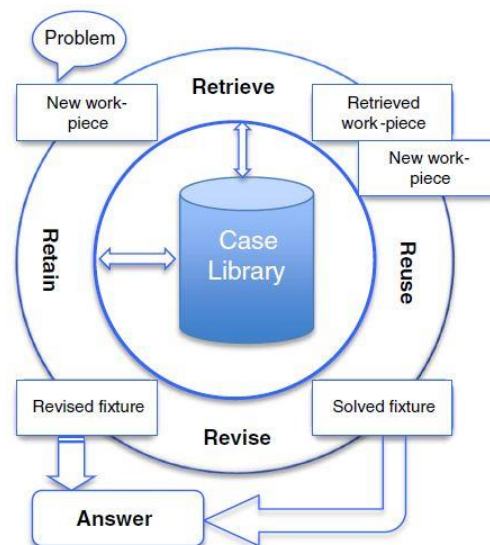
Σχήμα 4.1: Διαδικασίες που συμπεριλαμβάνονται σε ένα σύστημα CAFD [35]

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα περιγραφούν οι σημαντικότερες μέθοδοι για την κωδικοποίηση αυτής της γνώσης και του αυτοματισμού των συστημάτων σχεδιασμού δεσιμάτων και ιδιοσυσκευών, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

4.2 Μέθοδοι οδηγούμενες από προηγούμενες περιπτώσεις - Case Based Reasoning (CBR)

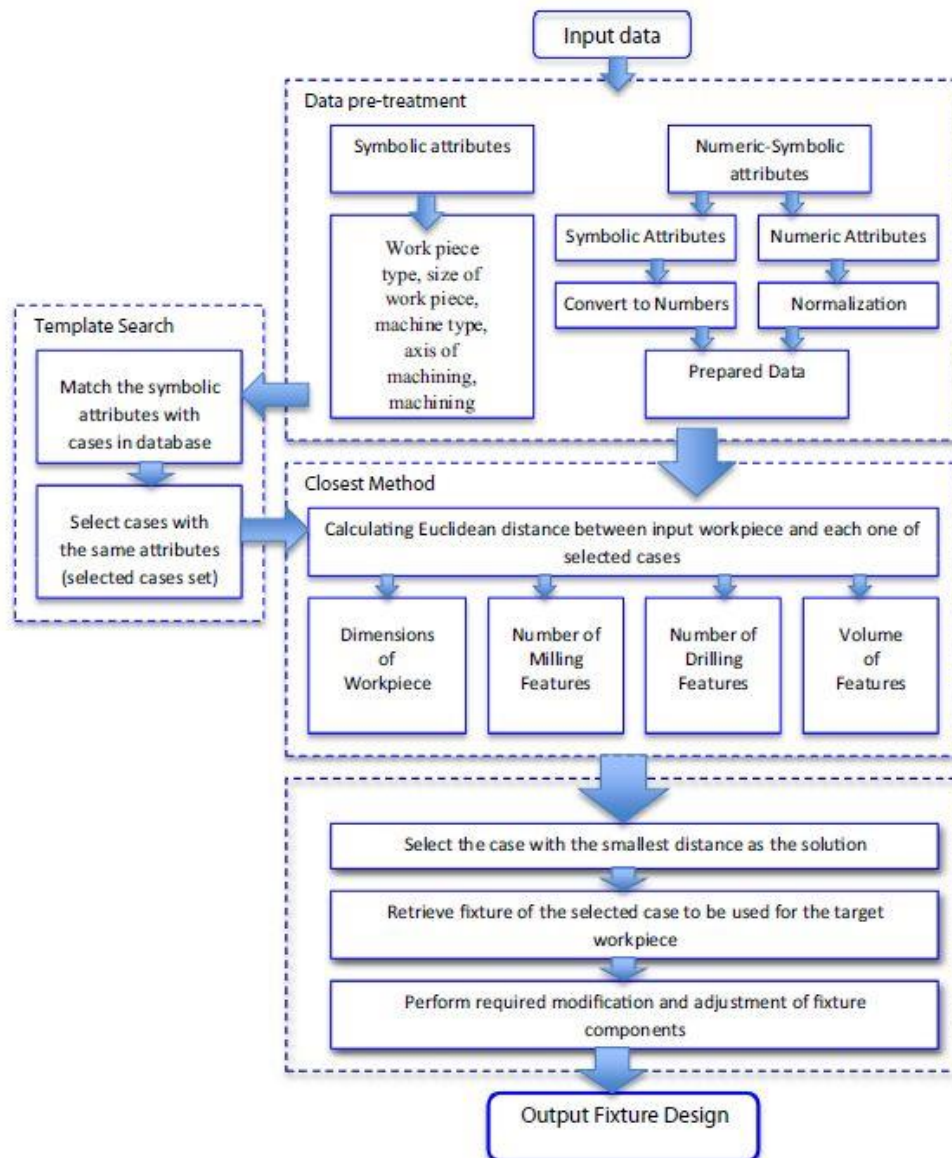
Η μέθοδος στηρίζεται στη σύγκριση του υπό εξέταση τεμαχίου με προηγούμενες περιπτώσεις τεμαχίων. Ο βαθμός ομοιότητάς του με κάποια από τις προηγούμενες περιπτώσεις θα καθορίσει το τελικό αποτέλεσμα. Είναι αυτονόητο πως για την υλοποίηση της μεθόδου απαιτείται να δομηθεί μια «βιβλιοθήκη περιπτώσεων» (case library), δηλαδή μια βάση δεδομένων. Αύτη θα περιέχει τόσο τα προηγούμενα προβλήματα π.χ. τεμάχια όσο και τις λύσεις τους (ιδιοσυσκευή συγκράτησης). Όσο μεγαλύτερη είναι η βάση δεδομένων τόσο πιο ακριβή θα είναι τα αποτελέσματα.

Για την ανάπτυξη της μεθόδου, κρίσιμα σημεία είναι ο τρόπος περιγραφής της κάθε περίπτωσης, η συνάρτηση που θα χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει και να αποδώσει τελικά το βαθμό ομοιότητας, και η οργάνωση των αριθμών των περιπτώσεων στη βάση δεδομένων. Τα απλουστευμένα βήματα για την υλοποίηση της μεθόδου παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2. Στην περίπτωση ενός συστήματος σχεδιασμού ιδιοσυσκευής, η μέθοδος θα πρέπει να αναγνωρίζει και να παρουσιάζει τη βέλτιστη περίπτωση από τη βάση δεδομένων, χρησιμοποιώντας κατάλληλα συστήματα περιγραφής και σύγκρισης-αντιστοίχισης των περιπτώσεων.



Σχήμα 4.2: Βήματα της μεθόδου CBR [46].

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί συνοπτικά η υλοποίηση της μεθόδου, για το σχεδιασμό ιδιοσυσκευής, από τον Hashemi [46]. Η αναζήτηση λύσεων από τη βάση δεδομένων σε αυτήν την περίπτωση γίνεται σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο αναζητείται ένα παρόμοιο τεμάχιο, ενώ στο δεύτερο αναζητείται η κατάλληλη ιδιοσυσκευή συγκράτησης. Κατά συνέπεια στο πρώτο επίπεδο της βάσης δεδομένων εμπεριέχονται τα τεμάχια και οι τρόποι κατεργασίας τους, ενώ στο δεύτερο οι ιδιοσυσκευές ανά περίπτωση. Στο Σχήμα 4.3 δίνεται το διάγραμμα ροής που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της μεθόδου.

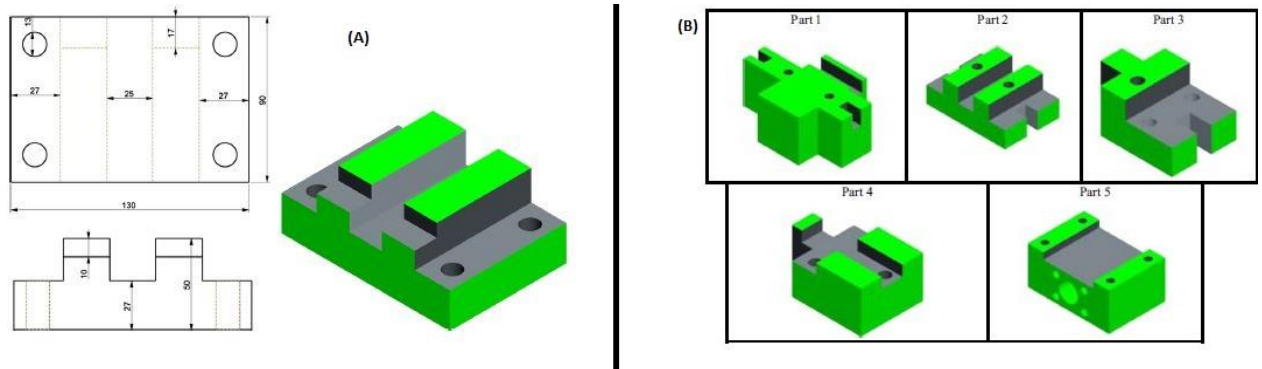


Σχήμα 4.3: Διάγραμμα ροής εφαρμογής της μεθόδου CBR από τον Hashemi [46].

Η βάση δεδομένων αποτελούταν συνολικά από 10 περιπτώσεις. Το πρώτο βήμα ήταν η εισαγωγή και περιγραφή του υπό μελέτη τεμαχίου. Στη συνέχεια γίνεται αναζήτηση για παρόμοια τεμάχια στη βιβλιοθήκη.

Αναζήτηση Μοτίβου – Template Search



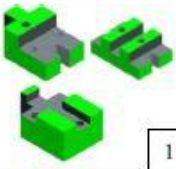












Κατά το πρώτο στάδιο γίνεται μια αναζήτηση μοτίβου, για την εύρεση παρόμοιων περιπτώσεων τεμαχίων. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται το πεδίο αναζήτησης καθώς με γρήγορο τρόπο αποκλείονται περιπτώσεις αντικειμένων που παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές, όπως για παράδειγμα τελείως διαφορετική γεωμετρία (κυλινδρικά - πρισματικά τεμάχια). Στο παρόν παράδειγμα χρησιμοποιούνται ως χαρακτηριστικά του τεμαχίου 5 ιδιότητες: (1) ο τύπος, (2) το μέγεθος, (3) ο άξονας κατεργασίας (4) ο τύπος της μηχανής και (5) η διαδικασία της κατεργασίας. Για το υπό δοκιμή τεμάχιο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4 (Α), οι παραπάνω παράμετροι είναι (1) πρισματικό, (2) μεσαίου μεγέθους, (3) κάθετος άξονας κατεργασίας (4) φρέζα και (5) φρεζάρισμα.



Σχήμα 4.4: (Α)- Τεμάχιο αναφοράς, (Β) – πιθανές αντιστοιχίσεις από βάση δεδομένων [46].

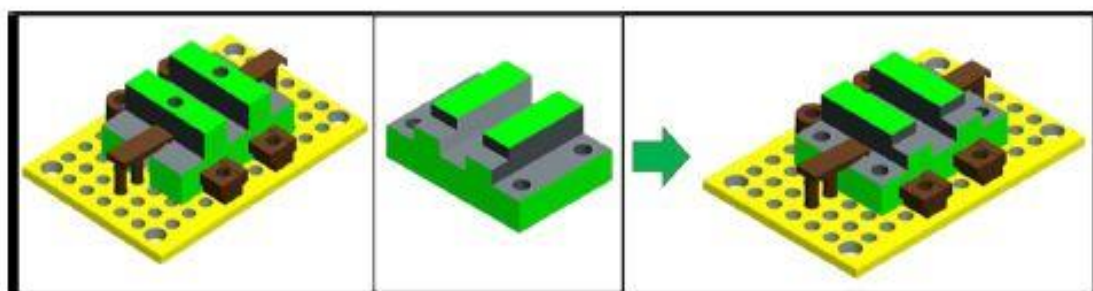
Αντιστοίχιση

Η αντιστοίχιση με το πιο ταιριαστό τεμάχιο της βάσης δεδομένων, γίνεται μέσω μιας συνάρτησης που υπολογίζει αποστάσεις, και τις χρησιμοποιεί ως μέτρο σύγκρισης. Στη μελέτη αυτή προκρίνεται η λύση των Ευκλείδειων αποστάσεων, αλλά μελετώνται και άλλοι 2 (δύο) πιθανοί εναλλακτικοί τρόποι. Κάθε περίπτωση που έχει απομείνει από το στάδιο της αναζήτησης μοτίβου χρησιμοποιείται συγκριτικά σε αυτό το στάδιο. Στο Σχήμα 4.4 (Β) παρουσιάζονται τα 5 τεμάχια της βάσης δεδομένων τα οποία δεν απορρίφθηκαν στο στάδιο της αναζήτησης μοτίβου. Συνεπώς κατά το στάδιο της αντιστοίχισης θα δοθεί μια τιμή συγγένειας στο διάστημα $[0,1]$ για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις σε σχέση με την αναφορά. Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του σταδίου αυτού για τους 3 τρόπους σύγκρισης που εξετάστηκαν. Τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε ο τρόπος υπολογισμού των ευκλείδειων αποστάσεων, ο οποίος και τελικά προκρίθηκε.

Rank ordering	Benchmark	The proposed method result (Euclidean Based)	The Chebyshev based method result (2011)	The cosine based method result (2008)
1				
2				
3				---
4			---	---
5			---	---

Σχήμα 4.5: (A)- Τεμάχιο αναφοράς, (B) – πιθανές αντιστοιχήσεις από βάση δεδομένων [46].

Τέλος δίνεται η λύση συγκράτησης στην περίπτωση του τεμαχίου που είναι καταχωρημένο στη βάση δεδομένων. Επειδή τα δύο τεμάχια παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό ομοιότητας η λύση μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση αυτή (Σχήμα 4.6). Σε αυτό το στάδιο μπορεί ο χειριστής να παρέμβει και να αποφανθεί αν η λύση που προτείνεται είναι ικανοποιητική ή όχι.

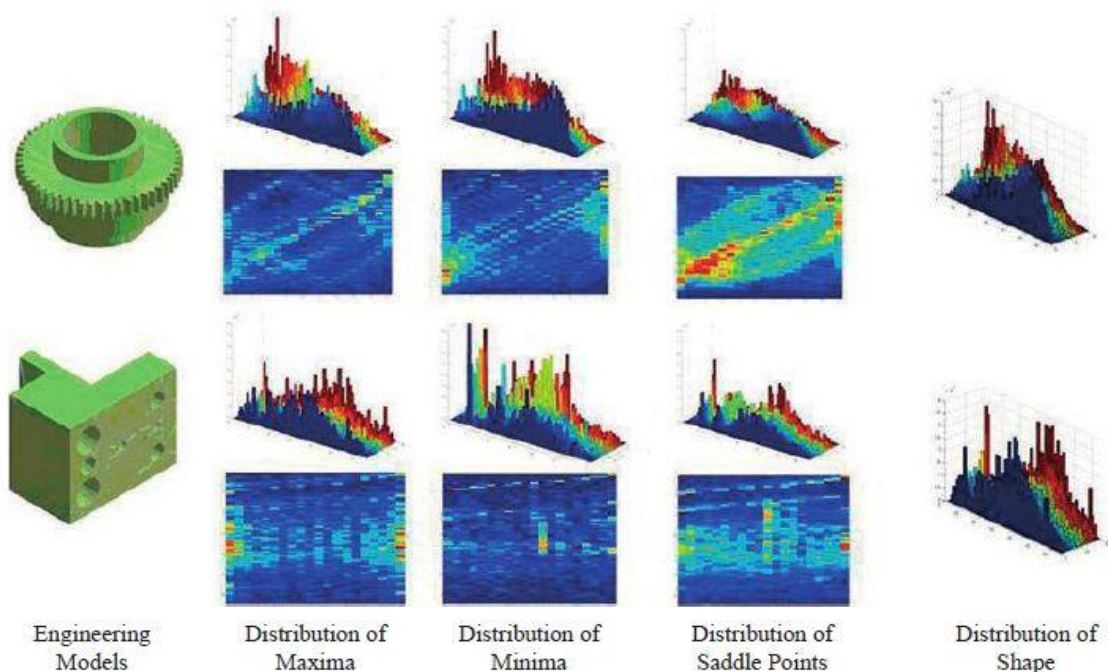


Σχήμα 4.6: Η προτεινόμενη λύση από τη βάση δεδομένων, το τεμάχιο αναφοράς, η προτεινόμενη λύση με το τεμάχιο αναφοράς [46].

Η μέθοδος αυτή απαντάται πολύ συχνά στη βιβλιογραφία με διάφορες παραλλαγές όσον αφορά τους τρόπους περιγραφής των χαρακτηριστικών των αντικειμένων και αντιστοίχισης. Μια περίπτωση είναι αυτή των Zhang, Peng, Hou, [47], οι οποίοι χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο τρισδιάστατου σχήματος (Shape-based 3d fixture model) αντί της τεχνικής

αναζήτησης μοτίβου. Στη συνέχεια η σύγκριση και αντιστοίχιση 2 τρισδιάστατων μοντέλων γίνεται χρησιμοποιώντας το πλέγμα τους. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα ακόλουθα:

- 1) Ορισμός μιας συνάρτησης σχήματος μέσω της Ευκλείδειας απόστασης.
- 2) Δειγματοληψία n σημείων των επιφανειών των μοντέλων των τεμαχίων
- 3) Υπολογισμός της συνάρτησης σχήματος (Ευκλείδειας απόστασης) για κάθε δειγματοληπτούμενο σημείο
- 4) Υπολογισμός της συνάρτησης κατανομής και σχεδίαση ιστογράμματος – κατανομή σχήματος H . (Σχήμα 4.7)
- 5) Υπολογισμός της διαφοράς μεταξύ των 2 κατανομών σχήματος.



Σχήμα 4.7: Κατανομές σχήματος για 2 τεμάχια [47].

Στη συνέχεια στο ίδιο άρθρο χρησιμοποιούνται οι γενετικοί αλγόριθμοι για να προσαρμοστούν οι λύσεις των περιπτώσεων της βάσης δεδομένων στο τεμάχιο αναφοράς. Περισσότερος λόγος για τους γενετικούς αλγορίθμους θα γίνει σε επόμενη ενότητα.

4.5 Μέθοδοι οδηγούμενες από κανόνες (Rule Based) - Ασαφής λογική (Fuzzy Logic)

Η ασαφής λογική αποτελεί γενίκευση της κλασσικής λογικής και παρέχει μηχανισμούς προσεγγιστικού συλλογισμού (approximate reasoning) και εξαγωγής συμπεράσματος (decision making). Ο προσεγγιστικός συλλογισμός είναι μία προσπάθεια να μοντελοποιηθεί ο ανθρώπινος τρόπος σκέψης και εξαγωγής συμπερασμάτων, καθώς είναι γνωστό ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος πραγματοποιεί περισσότερο προσεγγιστικούς συλλογισμούς με βάση

ποιοτικά κριτήρια αντίληψης, παρά ακριβείς συλλογισμούς βασισμένους σε πληθώρα δεδομένων.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8 στηρίζεται στη λογική IF-THEN.

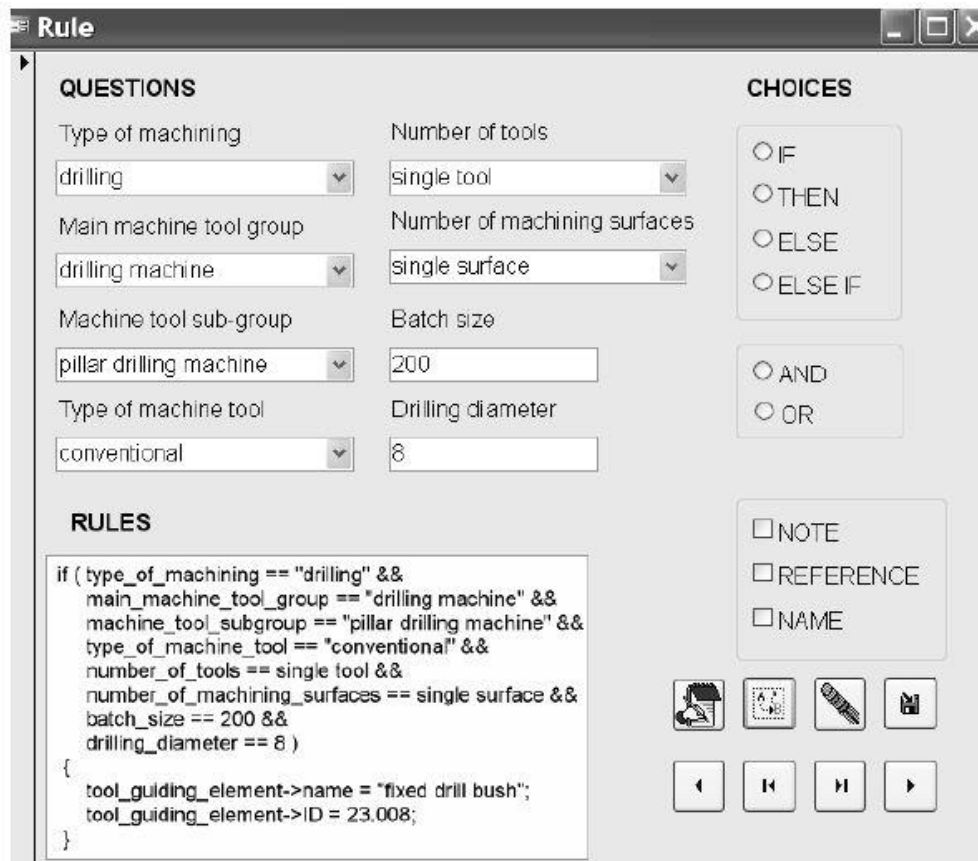
```
IF INPUT1= Degree-of-membership in INPUT1-SET AND  
INPUT2= Degree-of-membership in INPUT2-SET  
THEN OUTPUT=Degree-of-membership in OUTPUT-SET  
  
General forms of the base rules can be as follows:  
  
If <condition>then <consequence>  
  
If<condition1 and (or) condition2> then <consequence>  
  
If <condition1 and (or) condition2>then <consequence1 and (or)  
consequence2>
```

Σχήμα 4.8: Παράδειγμα κανόνων ασαφούς λογικής.

Κατά τη μέθοδο αυτή (Rule-Based), το σύστημα λαμβάνει εισόδους, οι οποίες προκύπτουν από τα μηχανολογικά σχέδια και το φασεολόγιο. Τα δεδομένα εισόδου κωδικοποιούνται με κατάλληλο τρόπο, ώστε το λογισμικό να μπορεί να τα χρησιμοποιήσει για την επιλογή των στοιχείων των ιδιοσυσκευών από τη βάση δεδομένων. Η κατάλληλη επιλογή γίνεται μέσω της επιβεβαίωσης ή μη διάφορων κανόνων που έχουν προκαθοριστεί [48].

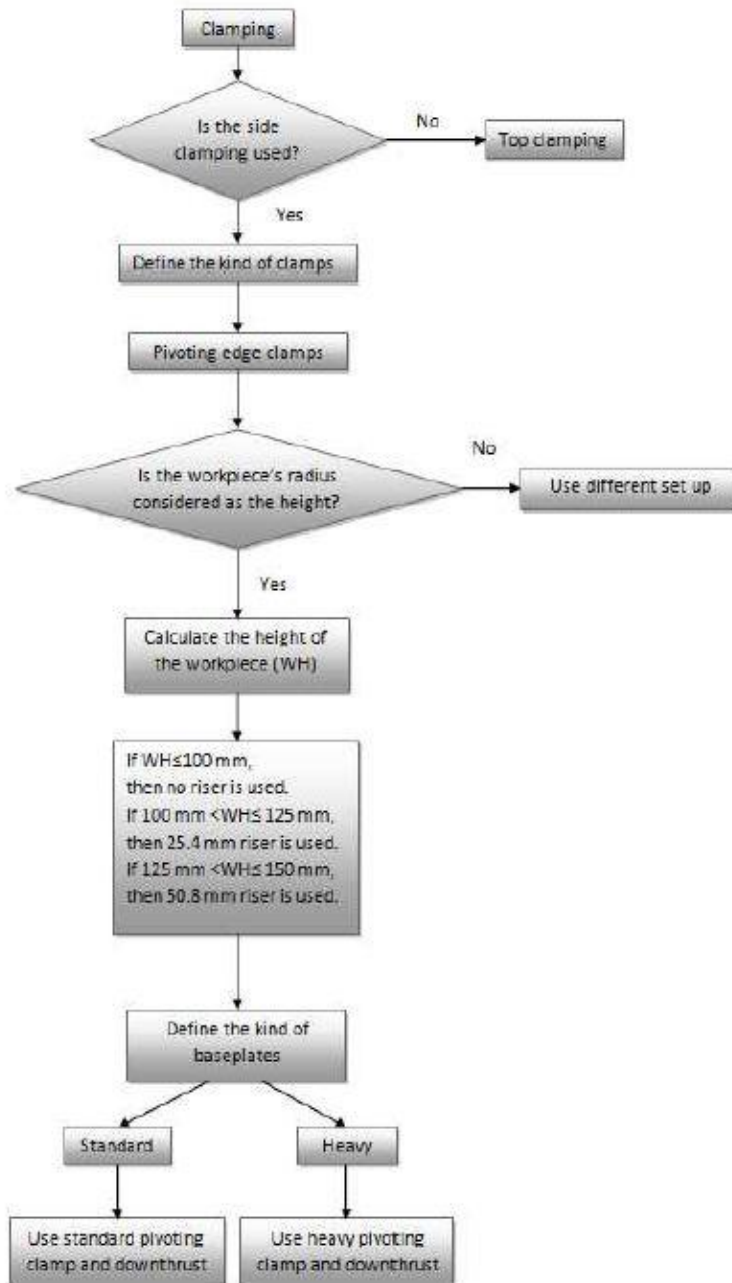
Η βάση δεδομένων κατέχει τρία είδη δεδομένων, τα τεμάχια, τις ιδιοσυσκευές και τα στοιχεία των ιδιοσυσκευών. Κάθε είδος δεδομένων συνοδεύεται με κάποια χαρακτηριστικά, όπως το είδος της κατεργασίας του εργαλείου, το υλικό κατασκευής το μέγεθος κ.α..

Η επιλογή γίνεται μέσω κανόνων που «απαντούν» στις ερωτήσεις της περίπτωσης που εξετάζεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9.



Σχήμα 4.9: Παράδειγμα κανόνων – βάσης γνώσης (knowledge base) [48].

Ένα άλλο παράδειγμα διαγράμματος ροής της μεθόδου αυτής παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.10. Το συγκεκριμένο χρησιμοποιείται για την επιλογή των στοιχείων συγκράτησης μιας ιδιοσυσκευής διακριτών στοιχείων στη μελέτη του Uday [49]. Μέσω του αλγορίθμου γίνεται προσπάθεια επιλογής του στοιχείου συγκράτησης για πλάγια σύσφιξη του τεμαχίου. Κρίσιμη παράμετρος είναι το ύψος του τεμαχίου, το οποίο εξετάζεται. Αναλόγως την τιμή λαμβάνονται αποφάσεις για το αν θα χρησιμοποιηθεί υποστήριξη.



Σχήμα 4.9: Παράδειγμα διάγραμμα ροής με λήψη αποφάσεων μέσω κανόνων – βάσης γνώσης (knowledge base) [49]

4.4 Γενετικοί αλγόριθμοι

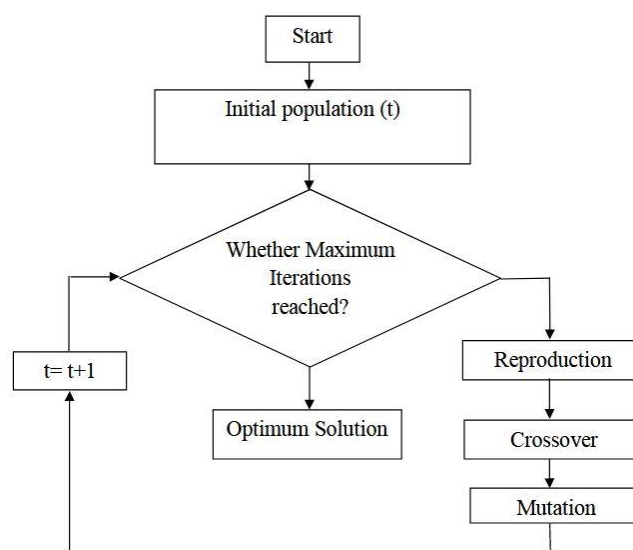
Οι Γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στο κλάδο της επιστήμης υπολογιστών και αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν ως μαθηματικό πρόβλημα. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους/διαστάσεις και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που να μπορεί να βρει το

βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά όσο το δυνατόν με το επιθυμητό τρόπο.

Ο τρόπος λειτουργίας των Γενετικών Αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από τη βιολογία. Χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης μέσω γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι είναι αρκετά απλοί στην υλοποίησή τους. Οι τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος πρέπει να κωδικοποιούνται με τρόπο ώστε να αναπαρασταθούν από μια μεταβλητή που περιέχει σειρά χαρακτήρων ή δυαδικών ψηφίων (0/1). Αυτή η μεταβλητή μιμείται το γενετικό κώδικα που υπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς. Αρχικά, ο Γενετικός Αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής/γεννητικού κώδικα, συνήθως με τυχαίες τιμές, δημιουργώντας ένα πληθυσμό λύσεων. Κάθε λύση (τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος) δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης που δίνει το μέτρο ικανότητας της λύσης και η οποία ονομάζεται συνάρτηση ικανότητας (Σ.Ι).

Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η Σ.Ι, αναπαράγονται στην επόμενη γενιά λύσεων και λαμβάνουν μια τυχαία μετάλλαξη. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για αρκετές γενιές, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την επιβίωση και αναπαραγωγή των γονιδίων/λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο/λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την Σ.Ι.

Τα προγράμματα εξελίσσονται μέχρι να φτάσουν, μέσω μεταλλάξεων, διασταυρώσεων και φυσικής επιλογής, σε μια αποτελεσματική φόρμουλα η οποία θα εκτελεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο μια συγκεκριμένη εργασία (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Αρχή λειτουργίας γενετικού αλγορίθμου [50].

Όσον αφορά το σχεδιασμό ιδιοσυσκευών έχει μελετηθεί στη βιβλιογραφία η χρήση των γενετικών αλγορίθμων για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας.[51]

4.6 Άλλες μέθοδοι

Άλλοι μελετητές χρησιμοποίησαν διαφορετικές προσεγγίσεις για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας σχεδιασμού των ιδιοσυσκευών.

Ο Babu, υλοποίησε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα σχεδιασμού διακριτών ιδιοσυσκευών (modular fixtures), το οποίο αξιοποιούσε την πλατφόρμα του AutoCAD, σε συνδυασμό με το λογισμικό AutoLISP. Η προσέγγιση αυτή στηρίχθηκε σε δισδιάστατα σχέδια. Τελικά προτάθηκε μια μεθοδολογία για τη φάση της αντιστοίχισης και του αυτοματισμού της ακολουθίας των σχηματισμού των διακριτών ιδιοσυσκευών [52].

Ο Dai σύστησε μια μέθοδο για την κατασκευή της βάσης δεδομένων των στοιχείων των ιδιοσυσκευών, που χρησιμοποιούσε το βασιζόμενο στη γνώση, σύστημα ICAD και ένα γραφικό περιβάλλον UGII για τη μοντελοποίηση του τεμαχίου [53].

Οι Hou και Trappey πρότειναν ένα CAFD σύστημα το οποίο είναι δυνατό να υποστηρίξει σχεδιασμούς ιδιοσυσκευών διαφόρων τύπων [54]. Υλοποίησαν ένα λογισμικό CAD και ένα σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων DBMS. Επίσης, δομήθηκε μια βάση γνώσης καθώς και μια βάση δεδομένων για τα στοιχεία των ιδιοσυσκευών τα οποία έδωσαν τη δυνατότητα για μια αποδοτικότερη διαχείριση των δεδομένων. Προτάθηκαν 3 (τρία) επίπεδα σχεδιασμού ιδιοσυσκευών. Η διαχείριση των δεδομένων των ιδιοσυσκευών, η επιλογή των στοιχείων των ιδιοσυσκευών και ο τελικός σχεδιασμός τους.

Οι Rong και Li ανέπτυξαν ένα ταχύ σύστημα σχεδιασμού ιδιοσυσκευών για το σχεδιασμό διακριτών ιδιοσυσκευών [55]. Το σύστημα έδινε τη δυνατότητα διαδραστικής επιλογής των στοιχείων τοποθέτησης – συγκράτησης καθώς και των υπόλοιπων μερών της ιδιοσυσκευής. Αναπτύχθηκε σε ένα περιβάλλον CAD, με την χρησιμοποίηση ενός “drop-down” μενού επιλογών των διαφόρων ιδιοσυσκευών και των διαφόρων στοιχείων τοποθέτησης και συγκράτησης. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν σχέσεις συναρμολόγησης μεταξύ των στοιχείων των ιδιοσυσκευών σε αυτό το σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Γενικά

Σε ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο και ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι βιομηχανίες αναζητούν τρόπους μείωσης του κόστους και αύξησης της παραγωγής. Οι βιομηχανίες στον τομέα της κατασκευής δεν μπορούσαν να αποτελέσουν εξαίρεση. Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών αποτελεί σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση αυτή. Η είσοδος των συστημάτων CAD/CAM αποτελεί ήδη μια πραγματικότητα στα στάδια της παραγωγής (σχεδίαση / κατεργασία). Τα συστήματα σχεδιασμού των φάσεων (setup planning) και των ιδιοσυσκευών (fixture design) με τη βοήθεια H/Y (CAFD), δεν έχουν βρει την ίδια απήχηση ακόμα. Αυτό συμβαίνει διότι αποτελεί ακόμα πρόκληση και πεδίο έρευνας η κωδικοποίηση της εμπειρικής γνώσης σε πληροφορία, διαχειρίσιμη από ηλεκτρονικά συστήματα.

Στην παρούσα εργασία, αρχικά γίνεται μια προσπάθεια διαχωρισμού των διαφόρων σταδίων των συστημάτων αυτών. Ο διαχωρισμός αυτός στη βιβλιογραφία δεν είναι απόλυτος. Διαφέρει από ερευνητή σε ερευνητή, αλλά οι πιο σύγχρονες θεωρήσεις συγκλίνουν στην προσέγγιση που υιοθετήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Τα κύρια στάδια ενός CAFD συστήματος θεωρήθηκε ότι είναι τα εξής:

- Σχεδιασμός φάσεων (Setup planning) - Σε αυτό το στάδιο ορίζονται οι απαραίτητες φάσεις κατεργασίας του τεμαχίου. Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν των απαιτούμενων setup.
- Σχεδιασμός ιδιοσυσκευών (Fixture planning) – Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζονται οι απαιτήσεις της ιδιοσυσκευής και καθορίζονται τα σημεία και τα στοιχεία τοποθέτησης και συγκράτησης.
- Σχεδιασμός μονάδας (Configuration design) – Στο στάδιο αυτό καθορίζεται ο τύπος της ιδιοσυσκευής που θα χρησιμοποιηθεί, λαμβάνοντας υπόψη της απαιτήσεις και τα απαραίτητα στοιχεία τοποθέτησης και συγκράτησης του προηγούμενου σταδίου.
- Στάδιο επαλήθευσης (Verification) – Είναι ζωτικό βήμα των συστημάτων CAFD. Σε αυτό το τελευταίο στάδιο εξασφαλίζεται πως ο σχεδιασμός της ιδιοσυσκευής ικανοποιεί τις σχεδιαστικές απαιτήσεις, κυρίως απαιτήσεις ανοχών ή διαφόρων περιορισμών.

Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν ορισμένες από τις προσεγγίσεις που γίνονται για κάθε επιμέρους στάδιο, στη βιβλιογραφία. Κάθε επιμέρους στάδιο αποτελεί ένα ξεχωριστό πεδίο έρευνας. Μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στο στάδιο της επαλήθευσης καθώς επίσης και στην επιλογή των κατάλληλων σημείων και στοιχείων τοποθέτησης. Μεγάλη προσπάθεια έχει γίνει στην δημιουργία ενός αυτόματου συστήματος σχεδιασμού των φάσεων καθώς επίσης και τη βελτιστοποίηση τέτοιων συστημάτων. Τέλος, οι τύποι ιδιοσυσκευών που χρησιμοποιούνται είναι πολλοί λίγοι, η πλειοψηφία των οποίων είναι οι ιδιοσυσκευές με διακριτά στοιχεία.

5.2 Προτάσεις

Εξαιτίας αυτού του ευρέως φάσματος στα διάφορα επιμέρους στάδια, δεν υπάρχει ακόμα ένα ολοκληρωμένο αυτοματοποιημένο σύστημα που να αντιμετωπίζει το πρόβλημα του σχεδιασμού των φάσεων και των ιδιοσυσκευών συγκράτησης. Πολλές από τις περιπτώσεις συστημάτων περιορίζονται σε κάποιο συγκεκριμένο τύπο τεμαχίων (πρισματικά – κυλινδρικά), άλλες από τους τύπους ιδιοσυσκευών που θα χρησιμοποιηθούν (π.χ. ιδιοσυσκευές με διακριτά στοιχεία) και άλλες από το είδος της κατεργασίας. Επίσης ένα σημαντικό εμπόδιο είναι η συμβατότητα των διαφορετικών λογισμικών που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση της γνώσης και των συστημάτων CAD για την εισαγωγή των μορφολογικών και σχεδιαστικών χαρακτηριστικών των τεμαχίων.

Εξετάζοντας λοιπόν κανείς, το καθολικό πρόβλημα της επιλογής του προσανατολισμού και του τρόπου συγκράτησης σε κέντρα κατεργασιών, είναι δύσκολο να προτείνει ένα συγκεκριμένο και καθολικό τρόπο λύσης. Απαιτείται, αρχικά, η εξέταση του προβλήματος τμηματικά, μελετώντας τα επιμέρους στάδια. Στη συνέχεια αφού δοθούν αξιόπιστες και αποδεκτές λύσεις σε κάθε στάδιο να γίνει μια προσπάθεια για τη δόμηση ενός πιο ολοκληρωμένου συστήματος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G. (George) Chryssolouris, *Manufacturing systems : theory and practice*. Springer, 2006.
- [2] M. Hazarika and U. S. Dixit, *SPRINGER BRIEFS IN APPLIED SCIENCES AND Setup Planning for Machining*, 2015 .
- [3] N. Xu, S. H. Huang, and Y. K. Rong, “Automatic setup planning : current state-of-the-art and future perspective,” *Int. J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 11, no. 2, pp. 193–208, 2007.
- [4] V. Abedini, M. Shakeri, and M. H. Siahmargouei, “Automatic Machining Setup Generation for Prismatic Components,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 445, pp. 953–958, 2012.
- [5] X. Sun, X. Chu, D. Xue, Y. Su, and C. Tang, “An integrated setup/fixture planning approach for machining prismatic parts,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 4, pp. 1009–1027, 2012.
- [6] M. Wakhare and D. Sormaz, “Hierarchical Sequencing of Operations with Consideration of Setups,” *Procedia Manuf.*, vol. 11, no. January 2017, pp. 1846–1855, 2017.
- [7] D. Šormaz, M. Wakh, and N. Arafat, “Rule-Based Process Planning and Setup Planning With Considerations of Gd & T Requirements,” *Adv. Qual.*, vol. 45, no. 1, pp. 13–20, 2017.
- [8] V. Abedini, M. Shakeri, M. H. Siahmargouei, and H. Baseri, “Automated process planning system: A new method for setup planning and a mathematical model for fixture design,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 227, no. 12, pp. 1849–1859, 2013.
- [9] H. Hajimiri, M. H. Siahmargouei, H. Ghorbani, and M. Shakeri, “A simple and robust setup planning scheme for prismatic workpieces,” *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 19, pp. 164–175, 2017.
- [10] A. Retfalvi and M. Stampfer, “The key steps toward automation of the fixture planning and design,” *Acta Polytech. Hungarica*, vol. 10, no. 6, pp. 77–98, 2013.
- [11] R. Attila, M. Stampfer, and S. Imre, “Fixture and setup planning and fixture configuration system,” *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 228–233, 2013.
- [12] M. Stampfer, “Automated setup and fixture planning system for box-shaped parts,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 45, no. 5–6, pp. 540–552, 2009.
- [13] A. Retfalvi and M. Stampfer, “Aspects of the use and automatic modification of extra locator elements of modular fixtures,” in *2015 IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*, 2015, pp. 73–77.
- [14] Krulikowski A., “Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing”, Delmar Cengage Learning, 1997.

- [15] S. H. Huang and Q. Liu, "Rigorous application of tolerance analysis in setup planning," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 21, no. 3, pp. 196–207, 2003.
- [16] S. Gothwal and T. Raj, "Different aspects in design and development of flexible fixtures: review and future directions," *Int. J. Serv. Oper. Manag.*, vol. 26, no. 3, p. 386, 2017.
- [17] S. H. Huang, H. C. Zhang, and W. J. B. Oldham, "Tolerance analysis for setup planning: A graph theoretical approach," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 35, no. 4, pp. 1107–1124, 1997.
- [18] X. Sun, X. Chu, Y. Su, and C. Tang, "A new directed graph approach for automated setup planning in CAPP," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 48, no. 22, pp. 6583–6612, 2010.
- [19] X. G. Ming and K. L. Mak, "Intelligent setup planning in manufacturing by neural networks based approach," *J. Intell. Manuf.*, vol. 11, no. 3, pp. 311–333, 2000.
- [20] I. Boyle, Y. Rong, and D. C. Brown, "A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 27, no. 1, pp. 1–12, 2011.
- [21] O. J. Bakker, T. Papastathis, S. Ratchev, and A. Popov, "Recent Research on Flexible Fixtures for Manufacturing Processes," *Recent Patents Mech. Eng.*, vol. 2212797611, no. 2, pp. 107–121, 2013.
- [22] H. Hashemi, A. M. Shaharoun, and S. Izman, "Fixture designers guidance: A review of recent advanced approaches," *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 8, no. 6, pp. 377–384, 2014.
- [23] Z. M. Bi and W. J. Zhang, "Flexible fixture design and automation: Review, issues and future directions," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 39, no. 13, pp. 2867–2894, 2001.
- [24] G. Qin, Z. Wu, S. Sun, and Z. Chen, "A new development approach to computer aided fixture design," *Proc. 2008 IEEE Int. Conf. Inf. Autom. ICIA 2008*, pp. 1671–1676, 2008.
- [25] M. Lundgren, M. Hedlind, G. Sivard, and T. Kjellberg, "Process Design as Fundament in Efficient Process Planning," *Procedia Manuf.*, vol. 25, pp. 487–494, 2018.
- [26] B. Khoshnevis and Q. M. Chen, "Integration of process planning and scheduling functions," *J. Intell. Manuf.*, vol. 2, no. 3, pp. 165–175, 1991.
- [27] C. Gologlu, "Machine capability and fixturing constraints-imposed automatic machining set-ups generation," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 148, no. 1, pp. 83–92, 2004.
- [28] A. JONEJA and T.-C. CHANG, "Setup and fixture planning in automated process planning systems," *IIE Trans.*, vol. 31, no. 7, pp. 653–665, 1999.
- [29] A. Y. C. Nee and A. S. kumar, "A Framework for an Object/Rule-Based Automated Fixture Design System," *CIRP Ann.*, vol. 40, no. 1, pp. 147–151, Jan. 1991.
- [30] Guang-Feng Chen and Wen-Jian Liu, "Variant fixture design with CBR," in *Proceedings. International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 3,

pp. 1465–1469.

- [31] W. Li, P. Li, and Y. Rong, “Case-based agile fixture design,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 128, no. 1–3, pp. 7–18, Oct. 2002.
- [32] H. Wang and Y. (Kevin) Rong, “Case based reasoning method for computer aided welding fixture design,” *Comput. Des.*, vol. 40, no. 12, pp. 1121–1132, Dec. 2008.
- [33] U. ROY and J. LIAO, “Geometric reasoning for re-allocation of supporting and clamping positions in the automated fixture design system,” *IIE Trans.*, vol. 31, no. 4, pp. 313–322, 1999.
- [34] A. Y. C. Nee, K. Whybrew, and A. Senthil kumar, *Advanced Fixture Design for FMS*. London: Springer London, 1995.
- [35] Y. Rong, S. H. Huang, and Z. Hou, *Advanced computer-aided fixture design*. Elsevier, 2005.
- [36] M. N. Sela, O. Gaudry, E. Dombre, and B. Benhabib, “A reconfigurable modular fixturing system for thin-walled flexible objects,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 13, no. 9, pp. 611–617, 1997.
- [37] “Horst Witte Asia.” [Online]. Available: <https://www.witteasia.com/>.
- [38] C. Munro and D. Walczyk, “Reconfigurable Pin-Type Tooling: A Survey of Prior Art and Reduction to Practice,” *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 129, no. 3, p. 551, Jun. 2007.
- [39] Y. Kang, Y. Rong, J. Yang, and W. Ma, “Computer-aided fixture design verification,” *Assem. Autom.*, vol. 22, no. 4, pp. 350–359, Dec. 2002.
- [40] Y. Wu, Y. Rong, W. Ma, and S. R. LeClair, “Automated modular fixture planning: Accuracy, clamping, and accessibility analyses,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 14, no. 1, pp. 17–26, Feb. 1998.
- [41] I. M. Boyle, K. Rong, and D. C. Brown, “CAFixD: A Case-Based Reasoning Fixture Design Method. Framework and Indexing Mechanisms,” *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 1, p. 40, Mar. 2006.
- [42] H. Song and Y. Rong, “Locating completeness evaluation and revision in fixture plan,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 21, no. 4–5, pp. 368–378, Aug. 2005.
- [43] M. Yu Wang, “Tolerance analysis for fixture layout design,” *Assem. Autom.*, vol. 22, no. 2, pp. 153–162, Jun. 2002.
- [44] A. S. kumar, J. Y. H. Fuh, and T. S. Kow, “An automated design and assembly of interference-free modular fixture setup,” *Comput. Des.*, vol. 32, no. 10, pp. 583–596, Sep. 2000.
- [45] S. Pehlivan, J. D. Summers, and F. Ameri, “An agent-based system approach to fixture design,” *Int. J. Comput. Appl. Technol.*, vol. 36, no. 3–4, pp. 284–296, 2009.
- [46] H. Hashemi, A. M. Shaharoun, and I. Sudin, “A case-based reasoning approach for design of machining fixture,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 74, no. 1–4, pp. 113–124, 2014.

- [47] X. Zhang, G. Peng, X. Hou, and T. Zhuang, "A knowledge reuse-based computer-aided fixture design framework," *Assem. Autom.*, vol. 34, no. 2, pp. 169–181, 2014.
- [48] Djordje Vukelic, "A rule-based system for fixture design," *Sci. Res. Essays*, vol. 6, no. 27, pp. 5787–5802, 2011.
- [49] U. Farhan, "An integrated computer-aided modular fixture design system for machining semi-circular parts," Edith Cowan University, 2013.
- [50] K. Krishnakumar and S. N. Melkote, "Machining fixture layout optimization using the genetic algorithm," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 40, no. 4, pp. 579–598, 2000.
- [51] A. Nalbandh and C. C. Rajyaguru, "FIXTURE DESIGN OPTIMIZATION USING GENETIC ALGORITHM-A REVIEW," *Information, Knowl. Res. Mech. Eng.*, 2013.
- [52] B. S. Babu, P. M. Valli, A. V. V Anil Kumar, and D. N. Rao, "Automatic Modular Fixture Generation in Computer-Aided Process Planning Systems," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 219, no. 10, pp. 1147–1152, Oct. 2005.
- [53] J. R. Dai, A. Y. C. Nee, J. Y. H. Fuh, and A. Senthil Kumar, "An approach to automating modular fixture design and assembly," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 211, no. 7, pp. 509–521, 1997.
- [54] J.-L. Hou and A. J. C. Trappey, "Computer-aided fixture design system for comprehensive modular fixtures," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 39, no. 16, pp. 3703–3725, Jan. 2001.
- [55] Y. Rong and X.-S. Li, "Locating method analysis based rapid fixture configuration design," in *1997 IEEE 6th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation Proceedings, EFTA '97*, pp. 27–32.