

12. ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ, ΑΝΟΧΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ

12.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του κάποιο υλικό δέχεται μηχανικές, φυσικές, θερμικές ή χημικές κατεργασίες, με αποτέλεσμα η τελική του επιφάνεια να προκύπτει σημαντικά διαφορετική από εκείνη του αρχικού ακατέργαστου τεμαχίου. Ενώ το αρχικό ακατέργαστο τεμάχιο και το υλικό του καθορίζουν κατά βάση την αντοχή του τελικού προϊόντος (κυρίως σε στατικά φορτία), η τελική επιφάνεια επιδρά σε διαφορετικές και σημαντικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος:

- Τριβή (μεταξύ του τεμαχίου και του εργαλείου διαμόρφωσης στη φάση της κατεργασίας, η μεταξύ συνεργαζόμενων τεμαχίων στη φάση της λειτουργίας)
- Αποτελεσματικότητα της λίπανσης (τόσο στη φάση της κατεργασίας όσο και στη φάση της λειτουργίας)
- Αντοχή σε δυναμική καταπόνηση (η ποιότητα της επιφάνειας και οι τυχόν υπάρχουσες μικρορωγμές και ατέλειες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μείωση του ορίου κόπωσης του τεμαχίου)
- Επίπτωση στην παραπέρα επεξεργασία της επιφάνειας (κάλυψη με βαφή, θερμική ή χημική επεξεργασία, κόλληση με συγκολλητικές ουσίες)
- Αντοχή στη διάβρωση
- Θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα σωμάτων που έρχονται σε επαφή (τραχείες επιφάνειες εμφανίζουν μεγαλύτερη θερμική και ηλεκτρική αντίσταση).

Όμως η ποιότητα της επιφάνειας παίζει σημαντικό ρόλο και στην αύξηση του κόστους κατασκευής, έτσι μεγαλύτερη ακρίβεια στις διαστάσεις ακολουθείται από αντίστοιχη «ακρίβεια» στο κόστος. Ο κανόνας που πρέπει να ακολουθείται στην περίπτωση αυτή κατά το σχεδιασμό του προϊόντος είναι: τόση ακρίβεια όση χρειάζεται για την εκπλήρωση της αποστολής, τόση ανακρίβεια όση επιτρέπεται.

Η εξέταση της τομής ενός μεταλλικού κατεργασμένου τεμαχίου κοντά στην επιφάνειά του φανερώνει την παρουσία διαδοχικών στρωμάτων με διαφορετική σύνθεση και μορφολογία. Ξεκινώντας από το εσωτερικό, συναντούμε τους κόκκους του μετάλλου, όπως αυτοί έχουν διαμορφωθεί κατά τη διάρκεια των κατεργασιών που έχει δεχτεί το σώμα (λεπτόκοκκο, κατευθυνόμενοι κόκκοι, ανακρυσταλλωμένο κ.λ.π.).

Πάνω από το κύριο σώμα του μετάλλου εμφανίζεται συνήθως ένα στρώμα ιδιαίτερα λεπτόκοκκο, το οποίο έχει προέλθει από την επιφανειακή πλαστική παραμόρφωση κατά τη διαδικασία της παραγωγής του υλικού. Η πλαστική αυτή παραμόρφωση έχει έτσι προκαλέσει μία ισχυροποίηση του υλικού στην επιφάνειά του. Το πάχος του στρώματος αυτού εξαρτάται από τη κατεργασία που εφαρμόστηκε και από την πιθανή παρουσία λίπανσης κατά την κατεργασία αυτή. Αιχμηρά κοπτικά εργαλεία προκαλούν μικρό ή μηδενικό πάχος της περιοχής

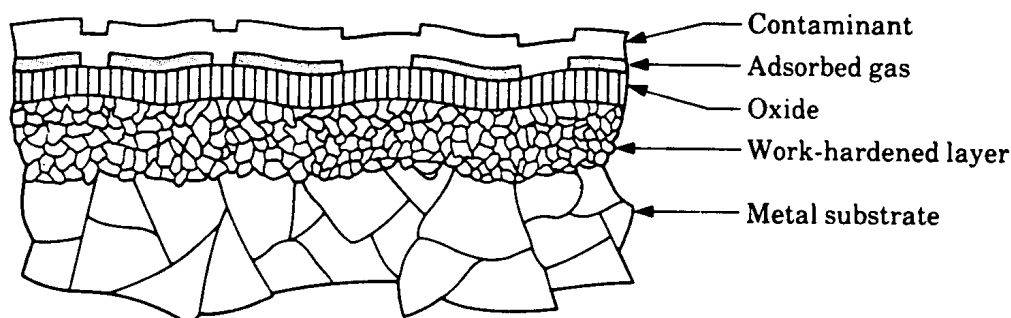
αυτής. Μη ομοιόμορφες παραμορφώσεις της επιφάνειας ή μεταβολές στη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, προκαλούν παραμένουσες τάσεις στο υπόστρωμα αυτό.

Σε περίπτωση που το μέταλλο δεν είναι ευγενές (χρυσός, πλατίνα κ.λ.π.), ή δεν συντηρείται σε ατμόσφαιρα χωρίς οξυγόνο, εμφανίζεται συνήθως πάνω από το λεπτόκοκκο υπόστρωμα ένα στρώμα οξειδίου. Ο σίδηρος εμφανίζει ένα στρώμα FeO πάνω από το καθαρό μέταλλο, ακολουθούμενο από στρώμα Fe₃O₄ και στη συνέχεια (επιφανειακά) ένα στρώμα Fe₂O₃. Το Αλουμίνιο εμφανίζει ένα πυκνό άμορφο (χωρίς κρυσταλλική δομή) στρώμα από Al₂O₃ ακολουθούμενο από παχύ στρώμα με πόρους από ένυδρο οξείδιο του Αλουμινίου.

Πάνω από το στρώμα των οξειδίων, η επιφάνεια καλύπτεται από στρώματα υγρασίας ή αερίων που έχουν προσροφηθεί. Τελικά το στρώμα αυτό συνήθως καλύπτεται από σκόνη, ρύπους, κατάλοιπα καθαριστικών ή λιπαντικών, και γράσο. Τα στρώματα αυτά έχουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες από το κύριο μέταλλο (για παράδειγμα τα οξείδια είναι αρκετά πιο σκληρά από το ίδιο το μέταλλο). Έτσι εμφανίζουν σημαντική επίδραση στις παραπέρα επιφανειακές κατεργασίες (κάλυψη με βαφή, ή επιμετάλλωση), στην αντοχή στη διάβρωση (αδρανοποίηση), καθώς και στην στη συνεργασία του τεμαχίου με άλλα τεμάχια στη στο τελικό συναρμολογημένο συγκρότημα (τριβή – λίπανση).

ΣΧΗΜΑ 12.1

Σχηματική παρουσίαση της επιφανειακής δομής ενός μεταλλικού τεμαχίου.



12.2 ΑΝΟΧΕΣ

Η κατασκευή των διαφόρων αντικειμένων συνδέεται με την τήρηση συγκεκριμένων διαστάσεων. Η απόλυτη ακρίβεια στην τήρηση των διαστάσεων αυτών δεν είναι δυνατή για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος αφορά σε σφάλματα που υπεισέρχονται στη διαδικασία παραγωγής, όπως φθορά εργαλείων, παραμορφώσεις λόγω δυνάμεων, κατασκευαστικοί περιορισμοί των εργαλειομηχανών κ.α. Ο δεύτερος λόγος αφορά σε σφάλματα μετρήσεων κατά τον έλεγχο των διαστάσεων, τα οποία δεν είναι δυνατόν να εξαλειφθούν. Έτσι η απόλυτη ακρίβεια στις διαστάσεις δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί. Στην πράξη όμως δεν είναι ούτε καν αναγκαία. Αυτό που πραγματικά απαιτείται είναι να υπάρχει η απαραίτητη ακρίβεια στις διαστάσεις ώστε το αντικείμενο να είναι λειτουργικό και να εξασφαλίζεται η εναλλαξιμότητα του αντικειμένου με άλλα ομοειδή, στα συγκροτήματα που χρησιμοποιείται. Για να εξασφαλιστεί αυτό πρέπει τα διάφορα σφάλματα διαστάσεων, μορφής και τραχύτητας επιφάνειας να περιορίζονται εντός συγκεκριμένων ορίων, ώστε με οποιαδήποτε τιμή εντός

αυτών των ορίων να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα του αντικειμένου και η συνεργασία του με άλλα τεμάχια.

Ο περιορισμός των επιτρεπτών σφαλμάτων μέσα σε ορισμένα αποδεκτά όρια επιβάλλεται με την υιοθέτηση των **ανοχών** (με καθορισμένα όρια) στις διαστάσεις του αντικειμένου που αναγράφονται στο κατασκευαστικό σχέδιο. Για να είναι έτσι αποδεκτό το αντικείμενο θα πρέπει η πραγματική τελική διάστασή του να βρίσκεται εντός των ορίων που ορίζει η κάθε ανοχή στις διαστάσεις. Έτσι με την υιοθέτηση των ανοχών, μία διάσταση μπορεί να λάβει μία συνεχή περιοχή τιμών (αυστηρά καθορισμένη) και όχι μόνο μία μοναδική τιμή (την ονομαστική τιμή του κατασκευαστικού σχεδίου). Η περιοχή αυτή περιορίζεται μεταξύ ενός ανώτερου και ενός κατώτερου ορίου. Θα παρατεθούν στη συνέχεια μερικοί ορισμοί για την πληρέστερη κατανόηση του αντικειμένου.

Ονομάζουμε **ονομαστική διάσταση**, τη διάσταση που αναγράφεται στο σχέδιο και στην οποία αναφέρονται οι αποκλίσεις (π.χ. Φ90). Με την ονομαστική διάσταση μπορούν να καθοριστούν ταυτόχρονα στο σχέδιο τα τμήματα που συνεργάζονται (**άξονας** και **τρύμα**).

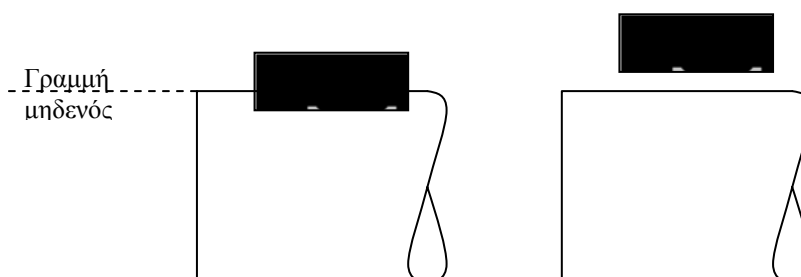
Ονομάζουμε **πραγματική διάσταση** τη διάσταση που βρίσκουμε μετά τη μέτρηση του αντικειμένου. Η πραγματική διάσταση περιλαμβάνει και το σφάλμα της μέτρησης (π.χ. 90.011).

Οριακές διαστάσεις (μέγιστη και ελάχιστη) είναι οι δύο διαστάσεις που ορίζουν την επιτρεπόμενη περιοχή στην οποία μπορεί να κινείται η πραγματική διάσταση (π.χ. 89.991 – 90.013).

Άνω απόκλιση είναι η διαφορά της μέγιστης διάστασης από την ονομαστική (π.χ. 13 μm) και **κάτω απόκλιση** είναι η διαφορά της ελάχιστης διάστασης από την ονομαστική (-9 μm). Γραμμή μηδενός είναι η γραμμή που αντιστοιχεί σε μηδενική απόκλιση και αναφέρεται στην ονομαστική διάσταση. Σε σχέση με αυτή σχεδιάζονται οι αποκλίσεις στα διαγράμματα ανοχών – συναρμογών.

Ανοχή είναι η διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη διάσταση (π.χ. 22 μm). Το μέγεθος αυτό, όπως θα φανεί στη συνέχεια, συμβολίζεται με ειδικούς τρόπους. Η σχηματική παράσταση της ανοχής (εύρος), μαζί με τη σχετική της θέση ως προς τη γραμμή μηδενός, υλοποιείται με το **πεδίο ανοχής**, το οποίο περιορίζεται μεταξύ των οριακών διαστάσεων (σχήμα 12.2).

ΣΧΗΜΑ 12.2:
Παράσταση του πεδίου
ανοχής.



Ένα πεδίο ανοχής μπορεί να έχει το ίδιο εύρος με κάποιο άλλο αλλά διαφορετική σχετική θέση ως προς τη γραμμή μηδενός. Προφανώς βέβαια

μπορεί να ισχύει και το αντίστροφο, δηλαδή να έχει την ίδια σχετική θέση με διαφορετικό εύρος. Στη γενική περίπτωση μπορούν να μεταβάλλονται και τα δύο μεταξύ δύο διαφορετικών ανοχών.

Το πεδίο ανοχών συμβολίζεται κατά ISO με την ποιότητα της ανοχής, η οποία λαμβάνει 20 διαφορετικές τιμές (IT01, IT0, IT1, IT2, ..., IT18). Με την αύξηση του αριθμού ποιότητας αυξάνει το εύρος της ανοχής (μείωση ακρίβειας). Για την ίδια ποιότητα ανοχής το εύρος της ανοχής αυξάνεται με την αύξηση της διαμέτρου. Το εύρος αυτό υπολογίζεται με βάση τη μονάδα ανοχής i , η οποία υπολογίζεται ως συνάρτηση της διαμέτρου D . Για διαμέτρους μικρότερες των 500 mm η σχέση υπολογισμού του i δίδεται:

$$i = 0.45 D^{1/3} + 0.001 D$$

ενώ για διαμέτρους μεγαλύτερες των 500 mm:

$$i = 0.004 D + 2.1$$

όπου D σε mm και i σε μm .

Σε κάθε ποιότητα αντιστοιχεί ένας αριθμός, ο οποίος κλιμακώνεται από την IT5 μέχρι την IT18 με βάση το λόγο 1,6. Ο αριθμός αυτός πολλαπλασιαζόμενος με τη μονάδα ανοχής i δίνει το εύρος ανοχής σε μm . Στον ακόλουθο πίνακα περιλαμβάνονται οι προκύπτουσες ανοχές για τις αντίστοιχες ποιότητες κατά ISO, μέχρι διαμέτρους 500 mm.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.1:

i		ΠΕΡΙΟΧΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (mm)												
		1	>3	>6	>10	>18	>30	>50	>80	>120	>180	>250	>315	>400
		3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
-	IT1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	3	4	5	6	7	8
-	IT2	2	2	2	2	2	3	3	4	5	7	8	9	10
-	IT3	3	3	3	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
-	IT4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
7	IT5	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
10	IT6	7	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
16	IT7	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
25	IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
40	IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
64	IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
100	IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
160	IT12	90	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
250	IT13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
400	IT14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
640	IT15	400	480	580	700	840	100	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
100	IT16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
1600	IT17	-	-	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	5700	6300
2500	IT18	-	-	-	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200	8100	8900	9700

Οι ποιότητες κατά ISO από IT1 έως και IT4 αφορούν σε μικρές ανοχές, από IT5 έως και IT11 σε μεσαίες ανοχές και από IT11 έως και IT18 σε μεγάλες ανοχές. Οι χρησιμοποιούμενοι ελεγκτήρες εμφανίζουν ανοχές μέχρι και ποιότητας IT7, ενώ από IT8 έως και IT14 είναι οι συνηθισμένες ποιότητες ανοχών για τα διάφορα κατασκευαζόμενα τεμάχια.

Η σχετική θέση του πεδίου ανοχής ως προς τη γραμμή μηδενός συμβολίζεται με ένα γράμμα. Τα κεφαλαία γράμματα αντιστοιχούν σε ανοχές

τρύματος ενώ τα πεζά σε άξονα. Για την ίδια ονομαστική διάμετρο ίδιο γράμμα (με διαφορετικό εύρος) αντιστοιχεί σε ίδια απόσταση του πεδίου ανοχής από την γραμμή μηδενός. Ο συνδυασμός του γράμματος με τον αριθμό ποιότητας κατά ISO δίνει τα ακριβή όρια της ανοχής.

Για παράδειγμα ο χαρακτηρισμός Φ30 z9 αναφέρεται σε άξονα ονομαστικής διαμέτρου 30 mm, με πεδίο ανοχής ποιότητας IT9 και θέσης από +88 έως +140 μm (εύρος 52 μm). Αντίστοιχα ο χαρακτηρισμός Φ30 z10 αναφέρεται σε άξονα ονομαστικής διαμέτρου 30 mm, με πεδίο ανοχής ποιότητας IT10 και θέσης από +88 έως +172 μm (εύρος 84 μm).

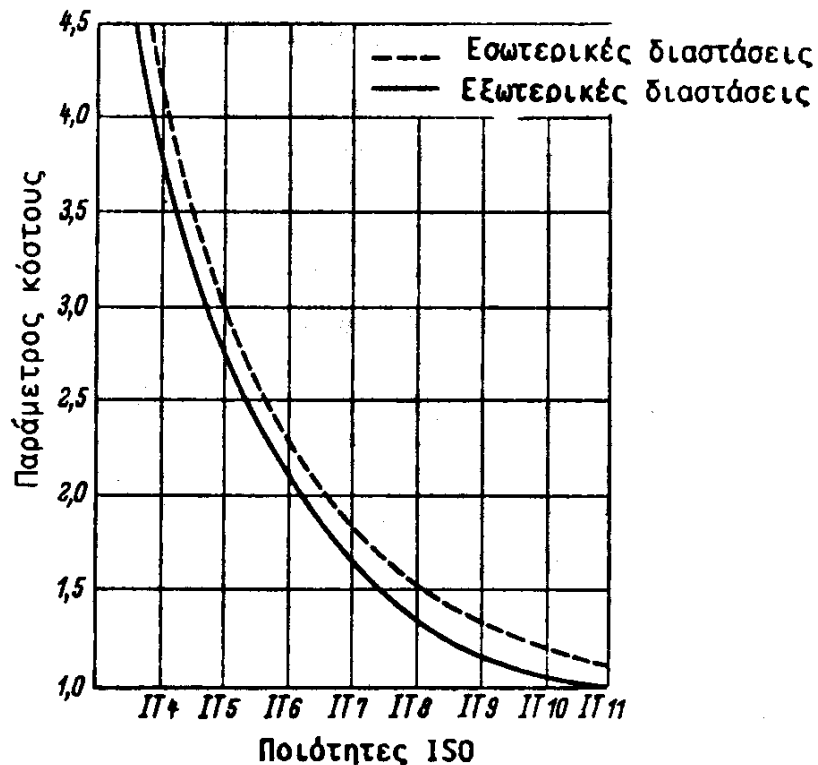
Αν αλλάξει η διάμετρος για το ίδιο γράμμα αλλάζει η απόσταση από τη γραμμή μηδενός και για τον ίδιο αριθμό αλλάζει το εύρος της ανοχής.

Με την μείωση των ανοχών (με την αύξηση δηλαδή της ακρίβειας των διαστάσεων) αυξάνεται και το κόστος κατασκευής. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους. Ο πρώτος έχει να κάνει με τις μεθόδους κατεργασίας. Ακρίβεια στις διαστάσεις επιβάλλει πολλές φορές συνδυασμό μεθόδων κατεργασίας ή αύξηση των φάσεων της κατεργασίας. Ο δεύτερος λόγος έχει να κάνει με τη χρήση ακριβών μετρητικών οργάνων και ελεγκτήρων, καθώς και τη λήψη πολλών μετρήσεων (απαίτηση επιπλέον χρόνου). Ο κανόνας που πρέπει να ακολουθείται για τη διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα είναι **τόση ακρίβεια όσο χρειάζεται , τόση ανακρίβεια όση επιτρέπεται.**

Στο σχήμα 12.3 παρουσιάζεται η μεταβολή του κατασκευαστικού κόστους με την μεταβολή της ποιότητας, για εξωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες. Από το σχήμα αυτό είναι φανερό ότι το κόστος της κατεργασίας εσωτερικών επιφανειών είναι (για την ίδια ποιότητα) μεγαλύτερο από αυτό της αντίστοιχης εξωτερική επιφάνειας. Το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζει τη μεγαλύτερη δυσκολία κατεργασίας εσωτερικών επιφανειών σε σχέση με τις εξωτερικές. Σαν πρακτικό αποτέλεσμα, οι ανοχές του άξονα εκλέγονται πάντα μικρότερες από τις ανοχές του αντίστοιχου συνεργαζόμενου τρύματος.

ΣΧΗΜΑ 12.3:

Μεταβολή του κατασκευαστικού κόστους με την ποιότητα.



Το εύρος του πεδίου ανοχής εξαρτάται άμεσα από το είδος της κατεργασίας και την επιθυμητή τραχύτητα επιφάνειας. Πρέπει δηλαδή οι εισαγόμενες μεταβολές στην επιφάνεια λόγω τραχύτητας να μην υπερβαίνουν το πεδίο ανοχών. Η ποιότητα της επιφάνειας παίζει επίσης σημαντικό ρόλο και κατά τη συνεργασία κινούμενων τεμαχίων. Κατά τη σχετική κίνηση των τεμαχίων (κύλιση ή ολίσθηση) επέρχεται φθορά, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα αλλαγή των διαστάσεων. Μεγάλη τραχύτητα επιφάνειας επιτείνει την φθορά με αποτέλεσμα πιθανή υπέρβαση των ορίων των ανοχών.

Η συσχέτιση μεταξύ τραχύτητας και ανοχών δεν έχει τυποποιηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του θέματος δίδεται από το ιταλικό πρότυπο UNI 3963 (1960), όπως φαίνεται στον πίνακα 12.2, όπου οι ποιότητες κατά ISO συσχετίζονται με τις επιτρεπόμενες τιμές του μέσου ύψους τραχύτητας R_a .

Άλλες σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθες, οι οποίες συνδέουν τη μέγιστη τιμή της τραχύτητας R_t με το πεδίο ανοχών T :

$$R_t = 0.25 T \text{ (για τραχείες επιφάνειες)}$$

$$R_t = 0.125 T \text{ (για λείες επιφάνειες)}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.2:

Συσχέτιση R_a – ανοχών
κατά ISO.

ISO	ΔΙΑΣΤΑΣΗ σε mm				
	<3	3-18	18-80	80-250	>250
	Επιτρεπόμενη R_a [μm]				
IT6	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
IT7	0,3	0,5	0,8	1,2	2
IT8	0,5	0,8	1,2	2	3
IT9	0,8	1,2	2	3	5
IT10	1,2	2	3	5	8
IT11	2	3	5	8	11
IT12	3	5	8	12	20
IT13	5	8	12	20	-
IT14	8	12	20	-	-

Το μέγεθος του πεδίου ανοχής εξαρτάται και από το είδος της κατεργασίας και το αντίστροφο. Δεν έχει δηλαδή νόημα να ζητά κανείς την ίδια ανοχή στο ξεχόνδρισμα και στη λείανση. Κατεργασίες όπως η έλαση, σφυρηλάτηση και επεξεργασία επιπέδου ελάσματος επιτυγχάνουν μεγάλες ανοχές, δηλαδή το λιγότερο ποιότητας IT12. Στον πίνακα 12.3 παρουσιάζονται οι συνηθισμένες ποιότητες ανοχών κατά ISO για διάφορες κατεργασίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.3:

Ποιότητες κατά ISO για
διάφορες κατεργασίες.

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ										
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΤΟΡΝΕΥΣΗ (ξεχόνδρισμα)										
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΛΑΣΗ										
ΤΟΡΝΕΥΣΗ (λεπτοκοπή)										
ΛΕΙΑΝΣΗ										
HONING										
ΣΤΙΑΒΩΣΗ										
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ										
ΔΙΑΤΡΗΣΗ										
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΛΑΣΗ										
ΤΟΡΝΕΥΣΗ (λεπτοκοπή)										
ΛΕΙΑΝΣΗ										
HONING										
ΣΤΙΑΒΩΣΗ										

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.4:

Σύνδεση της
κατεργασίας με την
ποιότητα των ανοχών.

ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΟΧΩΝ															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΛΑΝΙΣΗ									3	3	2	2	1	1	1	1
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΠΛΑΝΙΣΗ										3	3	2	2	1	1	
ΜΕΤΩΠΙΚΟ ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ							3	3	3	2	2	1	1			
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ								3	3	2	2	1	1			
ΛΕΙΑΝΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ					4	3	2	2	1	1						
ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΠΩΝ ΜΕ ΟΛΚΗΣΗ					4	3	3	2	2	2						
ΔΙΑΤΡΗΣΗ										2	2	2	2			
ΓΛΥΦΑΝΣΗ ΜΕ ΔΡΑΠΙΑΝΟ				4	4	3	3	2	2	2	2					
ΤΟΡΝΕΥΣΗ					4	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	
ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΠΩΝ ΣΕ ΦΡΕΖΑ – ΔΡΑΠΙΑΝΟ						4	4	3	3	2	2	1	1	1		
ΛΕΙΑΝΣΗ ΑΞΟΝΩΝ				4	4	3	2	2	1	1						
LAPPING	4	4	4	4												
HONING		4	4	4												
ΥΠΕΡΛΕΙΑΝΣΗ	4	4	4													
ΕΙΔΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ	1: Εγκόνδριση, 2: Μέσης ακρίβειας, 3: Ακρίβειας, 4: Μεγάλης ακρίβειας															

12.3 ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ

Συναρμογή είναι ένας γενικός χαρακτηρισμός της σχέσης μεταξύ συναρμολογημένων εξαρτημάτων (άξονος και τρύματος), η οποία προκύπτει από τις σχετικές τους διαστάσεις πριν τη συναρμολόγησή τους. Όταν η διάμετρος του τρύματος D_B είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο του άξονα D_W , τότε έχουμε **χάρη** ίση με τη διαφορά $D_B - D_W$. Όταν η διάμετρος του άξονα D_W είναι μεγαλύτερη της διαμέτρου του τρύματος D_B , τότε έχουμε σύσφιξη ίση με τη διαφορά $D_B - D_W$ (αρνητική χάρη). **Ανοχή της συναρμογής T** ονομάζουμε τη μέγιστη δυνατή μεταβολή της χάρης ή της σύσφιξης και είναι ίση με το άθροισμα των ανοχών του άξονα T_W και του τρύματος T_B . Η συναρμογή συμβολίζεται με ένα κλάσμα όπου ο αριθμητής είναι η ανοχή του τρύματος και παρανομαστής η ανοχή του άξονα (π.χ. $K7/h6$).

Οι συναρμογές διακρίνονται σε **ελεύθερες**, **σφικτές** και **αμφίβολης σύσφιξης**.

Σε ένα ζεύγος άξονα – τρύματος έχουμε **ελεύθερη συναρμογή** όταν η πραγματική διάμετρος του άξονα είναι πάντα μικρότερη της πραγματικής διαμέτρου του τρύματος. Στην περίπτωση αυτή, ο άξονας μπορεί να κινείται ελεύθερα εντός του τρύματος. Κατά ISO οι ελεύθερες συναρμογές διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ελεύθερες συναρμογές με καλή οδήγηση (H/fg, H/g, Fg/h, G/h).
- Ελεύθερες συναρμογές για έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα) στην περίπτωση που η θερμοκρασία λειτουργίας και κατασκευής δεν διαφέρουν σημαντικά (H/f, H/ef, H/e, H/d, F/h, EF/h, D/h).
- Ελεύθερες συναρμογές όπου η χάρη αυξάνεται αναλογικά με την ονομαστική διάμετρο (μείωση των κραδασμών σε πολύστροφες μηχανές). Χρησιμοποιούνται επίσης στις περιπτώσεις των εδράνων ολίσθησης όπου η θερμοκρασία λειτουργίας διαφέρει σημαντικά από τη θερμοκρασία κατασκευής (H/cd, H/c, H/d, H/a, CD/h, C/h, B/h, A/h).
- Ελεύθερες συναρμογές για αντικείμενα που σπάνια περιστρέφονται ή

δεν εκτελούν πλήρη περιστροφή (H/h).

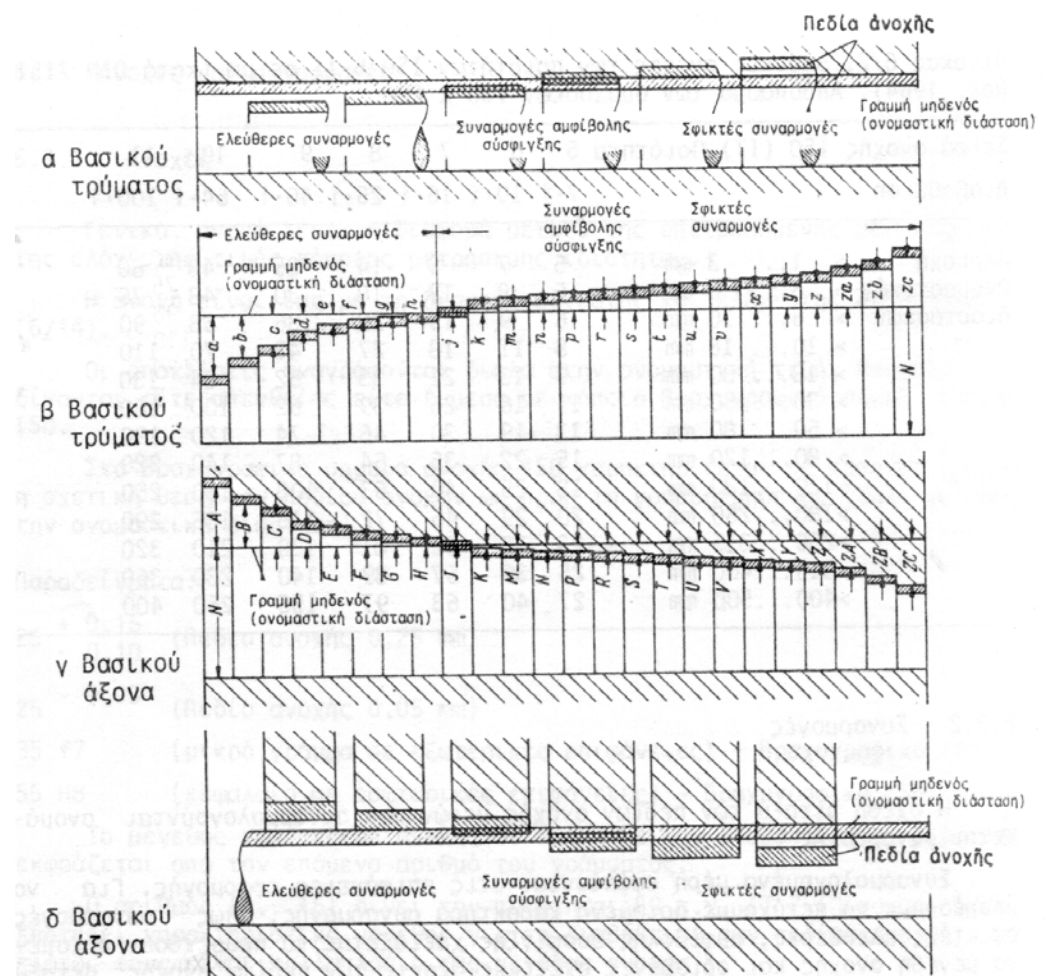
- Ελεύθερες συναρμογές για παλινδρομούντα εξαρτήματα (άξονες από a μέχρι h με τρύματα H και τρύματα από A μέχρι H με άξονες h).

Οι σφικτές συναρμογές προκύπτουν όταν η πραγματική διάμετρος του άξονα είναι πάντα μεγαλύτερη της πραγματικής διαμέτρου του τρύματος.

Στις συναρμογές αμφίβολης σύσφιξης, ανάλογα με την τιμή της πραγματικής διάστασης του άξονα και του τρύματος μέσα στο αντίστοιχο πεδίο ανοχής, έχουμε ελεύθερη ή σφιχτή συναρμογή (δηλαδή κατά την παραγωγή άλλα ζεύγη άξονα – τρύματος προκύπτουν με χάρη και άλλα με σύσφιξη). Συναρμογές αμφίβολης σύσφιξης έχουμε με άξονες j, js, k, m, n και τρύματα H ή τρύματα J, JS, K, M, N με άξονες h .

ΣΧΗΜΑ 12.4:

Συστήματα βασικού τρύματος και βασικού άξονα.



Στο σύστημα ISO δεν έχει καθοριστεί αυστηρά η μέθοδος εκλογής των ανοχών για την επίτευξη της επιθυμητής συναρμογής. Παρ' όλα αυτά χρησιμοποιούνται δύο συστήματα συναρμογών (τρόποι εκλογής), το σύστημα **βασικού άξονα** και το σύστημα **βασικού τρύματος**. Στο σύστημα βασικού άξονα η θέση του πεδίου ανοχών στον άξονα παραμένει πάντα η ίδια (κατηγορία h), ενώ οι διαφόρων τύπων συναρμογές επιτυγχάνονται με τις αποκλίσεις στο τρύμα (π.χ $K7/h6$). Αντίστοιχα, στο σύστημα βασικού τρύματος, το τρύμα πάντα

έχει ανοχή κατηγορίας H, ενώ οι συναρμογές επιτυγχάνονται με διαφορετικές θέσεις στα πεδία του άξονα (π.χ. H7/g6).

Η επιλογή του ενός ή του άλλου συστήματος εξαρτάται από τα υπάρχοντα μέσα παραγωγής, από τον αριθμό των αντικειμένων που θα παραχθούν, από την παραγωγική διαδικασία που θα ακολουθηθεί και από το κόστος των ελεγκτήρων που θα χρησιμοποιηθούν. Στο σύστημα βασικού τρύματος απαιτούνται λιγότεροι ελεγκτήρες τρυμάτων απ' ότι αξόνων. Το αντίθετο ισχύει για την περίπτωση του συστήματος βασικού άξονα.

Το σύστημα βασικού άξονα χρησιμοποιείται όταν σε ένα τμήμα άξονα σταθερής διαμέτρου συναρμολογούνται στοιχεία μηχανών με διαφορετικό χαρακτήρα συναρμογής. Το σύστημα βασικού άξονα χρησιμοποιείται αποκλειστικά στους άξονες μεταφοράς κίνησης, στις αγροτικές μηχανές, στις δομικές μηχανές, στις υφαντουργικές μηχανές, στα ανυψωτικά μηχανήματα, στα ηλεκτρικά μηχανήματα και στις λεπτουργικές κατεργασίες. Το σύστημα βασικού τρύματος χρησιμοποιείται στην κατασκευή μικρού αριθμού συσκευών και εξαρτημάτων, όπως για παράδειγμα οι εργαλειομηχανές διαμορφώσεων και αφαίρεσης υλικού.

Ο άξονας και το τρύμα μπορεί να είναι κατασκευασμένα από το ίδιο ή διαφορετικά υλικά, με διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής. Η διαφορετική επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας στα δύο υλικά θα έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της συναρμογής αν το συγκρότημα θερμανθεί ή ψυχθεί σε διαφορετική θερμοκρασία από αυτή της κατασκευής.

Αν β ο συντελεστής θερμικής διαστολής του υλικού και ΔT η μεταβολή της θερμοκρασίας, τότε η μεταβολή της διαμέτρου D θα είναι:

$$\Delta D = D \beta \Delta T$$

Επειδή η πραγματική διάμετρος δεν είναι ίση με D , αλλά βρίσκεται εντός της περιοχής της ανοχής, θα πρέπει να υπολογιστεί η μεταβολή της μέγιστης και της ελάχιστης διαμέτρου D_g και D_u αντίστοιχα. Τότε θα έχουμε:

$$\Delta D_g = D_g \beta \Delta T$$

$$\Delta D_u = D_u \beta \Delta T$$

Τότε η μεταβολή της ποιότητας της ανοχής θα δίνεται από τη διαφορά:

$$\Delta D_g - \Delta D_u = (D_g - D_u) \beta \Delta T$$

Όπου η διαφορά $(D_g - D_u)$ είναι το εύρος της αρχικής ανοχής. Επειδή ο όρος $(D_g - D_u) \beta \Delta T$ είναι συνήθως πάρα πολύ μικρός, στην πράξη το εύρος (δηλαδή η ποιότητα) της ανοχής ελάχιστα μεταβάλλεται με την μεταβολή της θερμοκρασίας. Αυτό όμως που μεταβάλλεται είναι η θέση της ανοχής, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της κατηγορίας της συναρμογής. Αυτό θα φανεί στο παράδειγμα που ακολουθεί.

Έστω αρχική συναρμογή Φ 50 H7/g6 , η οποία υπόκειται σε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 80° C. Ο άξονας έχει συντελεστή θερμικής διαστολής $\beta_W = 1,1 \mu\text{m}/100\text{mm}^\circ \text{C}$, ενώ το τρύμα $\beta_B = 2,0 \mu\text{m}/100\text{mm}^\circ \text{C}$.

Θεωρούμε την προσέγγιση ότι το εύρος της ανοχής δεν μεταβάλλεται σημαντικά, οπότε θα υπολογίσουμε μόνο τη μεταβολή της θέσης. Έχουμε λοιπόν για τον άξονα:

$$\Delta D_W = 50 \times 1,1 \times 10^{-2} \times 80 \mu\text{m} = 44 \mu\text{m}$$

Συνεπώς η ανοχή του άξονα Φ50 g6, η οποία αντιστοιχεί σε πεδίο από -25 έως -9, μετατρέπεται σε πεδίο από (-25+44) έως (-9+44), δηλαδή σε πεδίο (+17) έως (+35). Το πεδίο αυτό αντιστοιχεί στην ανοχή Φ50 n6. Δηλαδή δεν μεταβλήθηκε ο αριθμός (η ποιότητα) παρά μόνο το γράμμα (η θέση). Για ακριβέστερο υπολογισμό θα έπρεπε να υπολογίσουμε τη μεταβολή ξεχωριστά της ελάχιστης και της μέγιστης διαμέτρου, οπότε θα βλέπαμε και μια ελάχιστη μεταβολή του εύρους της ανοχής.

Αντίστοιχα για το τρύμα θα έχουμε:

$$\Delta D_B = 50 \times 2,0 \times 10^{-2} \times 80 \mu\text{m} = 80 \mu\text{m}$$

Συνεπώς η ανοχή του τρύματος Φ50 H7, η οποία αντιστοιχεί σε πεδίο από 0 έως +25, μετατρέπεται σε πεδίο από (0+80) έως (25+80), δηλαδή σε πεδίο (+80) έως (+105). Το πεδίο αυτό αντιστοιχεί στην ανοχή Φ50 D7. Για την εύρεση των αντίστοιχων γραμμάτων και πεδίων χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχοι πίνακες ανοχών.

Η αρχική (ελεύθερη) συναρμογή με ελάχιστη χάρη 9 μικρών, έγινε μία πιο ελεύθερη συναρμογή με ελάχιστη χάρη (80-35=) 45 μικρών.

12.4 ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η ποιότητα μιας επιφάνειας εκτός από την ομαλή συνεργασία μεταξύ συνεργαζόμενων τεμαχίων (συντελεστής τριβής, φθορά), έχει σημαντική επίδραση στην αντοχή του συγκεκριμένου τεμαχίου, ειδικά στην περίπτωση δυναμικής καταπόνησης (η ευπάθεια στην κόπωση αυξάνεται με την αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας). Επίσης έχει επίδραση στην ροή των υγρών πάνω στην επιφάνεια (λίπανση), στους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας, καθώς και στην αντίσταση στη διάβρωση. Η ποιότητα μιας επιφάνειας εξαρτάται τόσο από το υλικό κατασκευής όσο και από τη μέθοδο (ή τις μεθόδους) κατεργασίας. Επιπρόσθετα εξαρτάται από το υλικό του κοπτικού εργαλείου, τη φθορά του εργαλείου, τη γεωμετρία του (π.χ. καμπυλότητα ακής), την κινηματική της κοπής (π.χ. πρόωση, ταχύτητα κοπής), το υγρό κοπής, την ακρίβεια της εργαλειομηχανής και τις ταλαντώσεις που τυχόν εμφανίζονται.

Όπως φάνηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, η τραχύτητα της επιφάνειας συνδέεται με την επιθυμητή ανοχή. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απαίτηση μικρής τραχύτητας δεν σημαίνει και απαίτηση μικρής ανοχής, ενώ

αντίθετα η επίτευξη μικρής ανοχής, προϋποθέτει την ύπαρξη πολύ καλής ποιότητας επιφάνειας (πολύ μικρής τραχύτητας).

Για τον ορισμό διαφόρων εννοιών που αφορούν στην τραχύτητα των επιφανειών, θα θεωρήσουμε ότι η ονομαστική επιφάνεια αναφοράς (η θεωρητική επιφάνεια) είναι επίπεδη. Η πραγματική επιφάνεια παρουσιάζει διαφορετική μορφή από την ονομαστική επιφάνεια. Η μορφή της είναι συνήθως κυματοειδής και μπορεί να αναλυθεί αποκλίσεις διαφόρων τάξεων. Το άθροισμα των επιμέρους αποκλίσεων δίνει την πραγματική επιφάνεια. Τη συνέχεια παρατίθενται οι διάφορες τάξεις αποκλίσεων.

- **Αποκλίσεις πρώτης τάξης, ή αποκλίσεις μορφής.** Αναφέρονται σε σφάλματα στην επιπεδότητα ή την κυκλικότητα του κομματιού. Οφείλονται σε σφάλματα στους οδηγούς των εργαλειομηχανών, εσφαλμένη πρόσδεση του τεμαχίου, σε σφάλματα κατά την επιφανειακή βαφή (θερμική κατεργασία) κ.α.
- **Αποκλίσεις δεύτερης τάξης.** Έχουν τη μορφή κυματισμού με μεγάλο μήκος κύματος. Οφείλονται σε έκκεντρη ζεύξη του τεμαχίου ή του κοπτικού ή μορφικό σφάλμα κάποιας φρέζας, σε δονήσεις του κοπτικού ή της εργαλειομηχανής κ.α.
- **Αποκλίσεις τρίτης τάξεως.** Έχουν τη μορφή αυλακώσεων. Οφείλονται στη μορφή του κοπτικού εργαλείου (ακτίνα καμπυλότητας) και συνδέονται με την πρόωση.
- **Αποκλίσεις τέταρτης τάξεως.** Είναι μικρογεωμετρικές ανωμαλίες (ρωγμές, ραβδώσεις, φολίδες, κρατήρες) στην επιφάνεια που οφείλονται στη φθορά του εργαλείου, στη χάραξή του κατά την τρόχιση, στην παρουσία ψευδόκοψης, στην παραμόρφωση κατά την εκτόξευση άμμου (για επιφανειακή κατεργασία)
- **Αποκλίσεις ανώτερης τάξης.** Οφείλονται σε χημικές επιδράσεις στην επιφάνεια, σε μεταβολές του κρυσταλλικού ιστού, κ.α.

Οι μεταβολές **τρίτης και ανώτερης τάξης** είναι αυτές που ονομάζουμε **τραχύτητα επιφάνειας**. Οπότε για να βρεθεί η επιτυγχανόμενη τραχύτητα πρέπει να απομονωθούν οι πιθανές αποκλίσεις πρώτης και δεύτερης τάξης, το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων τραχυμέτρων.

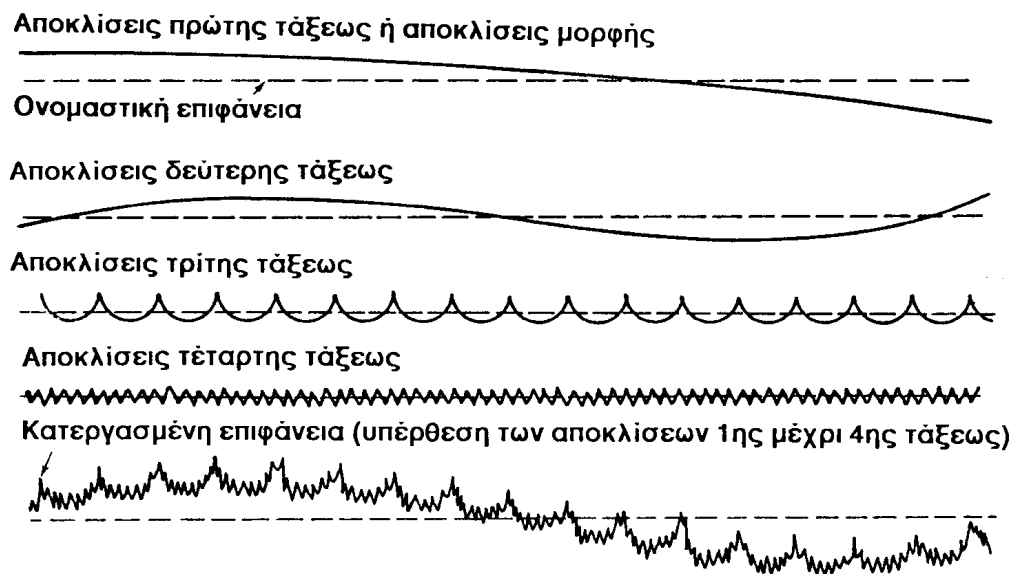
Η τραχύτητα μιας επιφάνειας μπορεί να χαρακτηριστεί με διάφορα μεγέθη. Τα μεγέθη αυτά αναφέρονται σε κάποιο χαρακτηριστικό μήκος L . Τα πιο συνηθισμένα μεγέθη είναι το μέγιστο βάθος τραχύτητας $R_{\max}$ ή R_t και η μέση τραχύτητα R_a , η οποία στις Αγγλοσαξωνικές χώρες ονομάζεται και CLA (Center Line Average). Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τα συγκεκριμένα μεγέθη με και τον τρόπο που υπολογίζονται.

- **Μέγιστο βάθος τραχύτητας $R_{\max}$ (R_t):** Στο συγκεκριμένο μήκος δειγματοληψίας (και μετά την αφαίρεση των αποκλίσεων πρώτης και δεύτερης τάξης), δίδεται από τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των ευθειών που ορίζουν το ανώτερο και κατώτερο ύψος της πραγματικής επιφάνειας.
- **Μέση τραχύτητα R_a :** Στο συγκεκριμένο μήκος δειγματοληψίας (και μετά την αφαίρεση των αποκλίσεων πρώτης και δεύτερης τάξης),

δίδεται από την αριθμητική μέση τιμή των αποκλίσεων όλων των σημείων του περιγράμματος από την κεντρική γραμμή (**απόλυτη τιμή**). Η **κεντρική γραμμή** ορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να χωρίζει το περίγραμμα της επιφάνειας σε δύο τμήματα ίσων εμβαδών.

- **Ενδιάμεσο βάθος τραχύτητας R_z** : Αφού αφαιρεθούν οι αποκλίσεις πρώτης και δεύτερης τάξης, το μήκος δειγματοληψίας χωρίζεται σε πέντε ίσα τμήματα. Σε κάθε τμήμα βρίσκουμε το μέγιστο βάθος τραχύτητας. Το ενδιάμεσο βάθος τραχύτητας είναι η μέση τιμή των πέντε μεγίστων βαθών.
- **Βάθος ομαλότητας R_p** : Ορίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως η μέση τραχύτητας, αφού όμως αφαιρέσουμε τις εξάρσεις από το προφίλ της επιφάνειας.

ΣΧΗΜΑ 12.5: Μορφή των αποκλίσεων 1^{ης} έως 4^{ης} τάξης και υπέρθεσή τους σε πραγματική επιφάνεια.



ΣΧΗΜΑ 12.6: Τεμάχιο σχεδιασμένο με το σύστημα βασικού άξονα.

