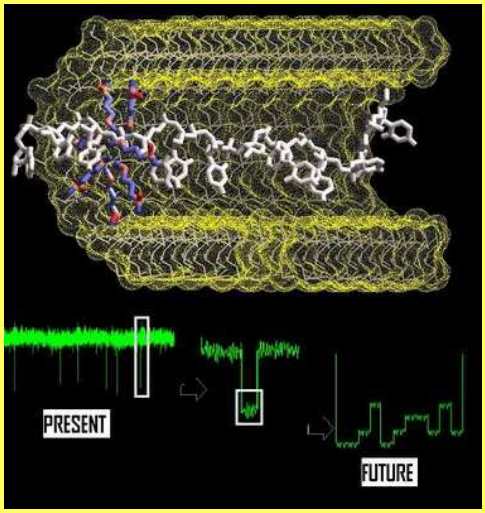
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Βικεντίου Μάριος

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Εισηγητής: Κουδουμάς Εμμανουήλ

Ηράκλειο
Μάιος 2010

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σελίδα

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ……2

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....6

ΠΕΡΙΛΗΨΗ……11

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**.....14**

Ιστορική αναδρομή-Ορισμός της Νανοτεχνολογίας

1.1 Ιστορική αναδρομή-Θεωρίες από τα παλιά στο σήμερα.....15

1.1.1 Προέλευση του όρου.....15

1.1.2 Οι πρώτοι νανοτεχνολόγοι ήταν υαλοτεχνίτες του μεσαίωνα.....15

1.1.3 Ο Πατέρας της Νανοτεχνολογίας-Η ατομική Θεωρία του John Dalton.....15

1.1.4 Richard Feynman.....16

1.1.5 Eric Drexler.....17

1.2 Ορισμός της Νανοτεχνολογίας.....17

1.2.1 Ορισμός της Νανοτεχνολογίας από τον Norio Taniguchi.....18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**.....19**

Τομείς της νανοτεχνολογίας

2.1 Επιστρώσεις θερμικού ψεκασμού.....20

2.1.1 Τεχνικές παρασκευής πουδρών για τη χρήση τους σε επιστρώσεις θερμικού ψεκασμού.....20

2.1.1.1 Θερμοπλαστική μορφοποίηση πουδρών τιτανίου για παραγωγή βιο-εμφυτευμάτων (BIOTIP)……21

2.1.1.2 Βιο-εμφυτεύματα τιτανίου(Ti)……21

2.1.1.3 Άλεση υψηλής ενέργειας σε σφαιρόμυλο για την παραγωγή πουδρών σκληρών κραμάτων, κεραμικών και συνθετικών υλικών (ACTIVATION)……..22

2.1.2 Αρχή της μεθόδου.....23

2.1.3 Τεχνικές του θερμικού ψεκασμού.....23

2.1.3.1 Ψεκασμός φλόγας……...24

2.1.3.2 Ψεκασμός υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου (HVOF)……..26

2.1.3.3 Ψεκασμός σύρματος με φλόγα……...26

2.1.3.4 Ατμοσφαιρικός ψεκασμός πλάσματος (APS)…….28
2.1.3.5 Ψεκασμός σύρματος με ηλεκτρικό τόξο…….29
2.1.3.6 Ψεκασμός πλάσματος σε κενό (VPS)…….31
2.1.4 Άλλες μορφές θερμικού ψεκασμού.....32
2.1.4.1 Ψυχρός ψεκασμός……...32
2.1.4.2 Τεχνική εναπόθεσης επικαλύψεων με τη χρήση ηλιακής ενέργειας……..33
2.1.5 Σύγκριση συμβατικής πούδρας με νανοκρυσταλλική πούδρα με τη χρήση ψεκασμού φλόγας υψηλής ταχύτητας (HVOF).....37
2.2 Τι είναι τα νανοσύνθετα υλικά.....44
2.2.1 Εισαγωγή στα πολυμερικά-νανοσύνθετα υλικά.....44
2.2.1.1 Μέθοδοι επεξεργασίας πολυμερικών νανοσύνθετων.....45
2.2.1.1.1 Υγρή εναπόθεση (Wet lay-up)…….45
2.2.1.1.2 Μέθοδος έλξης (Pultrusion)…….47
2.2.1.1.3 Καλούπια παραγωγής θερμοσκληραινόμενου πλαστικού με τη χρήση ρητίνης……48
2.2.1.1.4 Καλούπωμα με μεταφορά ρητίνης υποβοηθούμενη από κενό (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)……...51
2.2.1.1.5 Επεξεργασία σε αυτόκλειστο σύστημα (Autoclave processing)…….....52
2.2.1.1.6 Περιέλιξη νήματος (Filament winding)……...53
2.2.1.1.7 Τοποθέτηση ινών (Fiber placement)……55
2.2.1.2 Τεχνικές χαρακτηρισμού νανοσύνθετων.....57
2.2.1.2.1 XRD (X-ray diffraction techniques)……58
2.2.1.2.2 SEM/EDX (Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray)….....60
2.2.1.2.3 AES (Auger Electron Spectroscopy)……...61
2.2.1.2.4 XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)……...66
2.2.1.2.5 RBS (Rutherford BackScattering)……...68
2.2.1.2.6 SIMS (Secondary-Ion Mass Spectroscopy)……71
2.2.1.2.7 Περίθλαση ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας (Low energy electron diffraction-LEED)……74
2.2.1.2.8 Ανάκλαση ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας (reflection high energy electron diffraction-RHEED)……76
2.3 Νανοσωλήνες άνθρακα.....79
2.3.1 Δομή και ιδιότητες νανοσωλήνων άνθρακα.....81
2.3.2 Σύνθεση νανοσωλήνων άνθρακα.....84
2.3.2.1 Ηλεκτρική εκκένωση (arc-discharge)…….84

2.3.2.2 Εξάχνωση γραφίτη με τη χρήση δεσμών λέιζερ (Laser Ablation)…….....85
2.3.2.3 Χημική εναπόθεση μέσω ατμών (CVD-Chemical Vapor Deposition)……...86
2.3.2.4 Μετατροπή του CO με υψηλή πίεση (HiPCO- high-pressure conversion of carbon monoxide)……87
2.3.3 Νανοσωλήνες άνθρακα ως ενισχυτικό μέσο σε σύνθετα υλικά.....87
2.3.3.1 Απαιτήσεις για μηχανική ενίσχυση.....88
2.3.3.2 Τρέχουσες τεχνικές παρασκευής νανοσύνθετων με ενσωματωμένα CNTs.....89
2.3.3.3 Τεχνολογικά προβλήματα σε πολυμερικά σύνθετα με ενίσχυση νανοσωλήνων άνθρακα.....90
2.3.3.4 Η αναγκαιότητα επιφανειακής τροποποίησης των νανοσωλήνων.....92
2.3.3.5 Εναλλακτική μέθοδος παρασκευής πολυμερών σύνθετων υλικών με τη χρήση νανοσωλήνων άνθρακα.....93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**.....95**

Εφαρμογές...

3.1 Τομείς εφαρμογών των επιστρώσεων θερμικού ψεκασμού.....96
3.1.1 Αυτοκινητοβιομηχανία.....96
3.1.2 Αεροπλάνα-Στροβιλομηχανές.....96
3.1.3 Ναυπηγία.....100
3.1.4 Χημική-Πετροχημική βιομηχανία.....100
3.1.5 Αεροναυπηγική.....101
3.1.6 Χαρτοβιομηχανία.....101
3.1.7 Μεταλλουργία.....102
3.1.8 Ιατρική.....105
3.1.9 Ηλεκτρονική.....107
3.1.10 Βιομηχανία τροφίμων.....109
3.1.11 Θερμικές επικαλύψεις σε άνθρακα και οπλισμένα πολυμερή.....110
3.1.12 Αντλίες-Υδραυλικά συστήματα.....112
3.1.13 Μεταφορά βιομηχανικών ορυκτών και μεταλλευμάτων.....112
3.1.14 Γεωργικά μηχανήματα-Εργαλεία.....113
3.1.15 Εργαλεία μεταλλείων-Ορυχείων.....113
3.2 Εφαρμογές των σύνθετων και νανοσύνθετων υλικών.....114
3.2.1 Εφαρμογές σύνθετων υλικών.....114

3.2.2 Εφαρμογές νανοσύνθετων υλικών.....116
3.3 Νανοσωλήνες άνθρακα.....119
3.4 Νανοτεχνολογία στα αυτοκίνητα.....123
3.4.1 Ανεμοθώρακες.....123
3.4.2 Βαφές φανοποιείας.....124
3.4.3 Καταλυτές.....124
3.4.4 Κυψέλες καυσίμου.....124
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....126
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....132

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1: Διαδικασία παραγωγής πούδρας τιτανίου.....21
Εικόνα 2.: Σφαιρικά μόρια τιτανίου τα οποία χρησιμοποιούνται στον ψεκασμό πλάσματος.....21
Εικόνα 3: Επικάλυψη με την τεχνική του ψεκασμού πλάσματος της σκόνης νανομετρικής κλίμακας Al_2O_3 22
Εικόνα 4.: Μύλος άλεσης υψηλής ενέργειας.....22
Εικόνα 5.: Κυλινδρικό εξάρτημα στο οποίο έγινε χρήση των τεχνικών θερμικού ψεκασμού.....23
Πίνακας 2.α: Τεχνικές θερμικού ψεκασμού διαχωρισμένες ανάλογα με την πηγή θερμότητας που χρησιμοποιούν.....24
Εικόνα 6: Εργάτης που χρησιμοποιεί την τεχνική θερμικού ψεκασμού με φλόγα.....24
Εικόνα 7: Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του θερμικού ψεκασμού με φλόγα.....24
Εικόνα 8: Επιφανειακή δομή της επικάλυψης θερμικού ψεκασμού με φλόγα.....25
Εικόνα 9: Μηχανισμός υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου.....26
Εικόνα 10: Μηχανισμός ψεκασμού σύρματος με φλόγα.....27
Εικόνα 11: Επιφανειακή δομή της επικάλυψης σύρματος με τη χρήση φλόγας.....27
Εικόνα 12: Μηχανισμός ατμοσφαιρικού ψεκασμού πλάσματος.....28
Εικόνα 13: Κατεργασμένη επιφανειακή δομή με τη χρήση της τεχνικής του ατμοσφαιρικού ψεκασμού πλάσματος.....29
Εικόνα 14: Μηχανισμός ψεκασμού σύρματος με ηλεκτρικό τόξο.....30
Εικόνα 15: Μορφή επικάλυψης με τη χρήση άνθρακα C 276.....31
Εικόνα 16: Μηχανισμός ψεκασμού πλάσματος.....31
Εικόνα 17: Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με την κεραμο-μεταλλική πούδρα cermet.....34
Εικόνα 18: Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με την κεραμο-μεταλλική πούδρα cermet.....34
Εικόνα 19: Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με την κεραμο-μεταλλική πούδρα cermet.....35
Εικόνα 20: Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με τη χρήση πούδρας μολυβδαινίου.....35
Εικόνα 21: Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με τη χρήση πούδρας μολυβδαινίου.....36

Πίνακας 2.β: Πίνακας αναλυτικών στοιχείων για τους τύπους της πούδρας που χρησιμοποιήθηκαν.....37
Εικόνα 22: Συμβατική πούδρα με μεγέθυνση X1000.....37
Εικόνα 23: Νανοκρυσταλλική πούδρα σε μεγέθυνση X1000.....38
Εικόνα 24: Συμβατική πούδρα σε μεγέθυνση X200.....39
Εικόνα 25: Συμβατική πούδρα σε μεγέθυνση X500.....39
Εικόνα 26: Συμβατική πούδρα σε μεγέθυνση X1500.....40
Πίνακας 2.γ: Χαρακτηριστικά της συμβατικής πούδρας.....40
Εικόνα 27: Νανοκρυσταλλική πούδρα σε μεγέθυνση X200.....41
Εικόνα 28: Νανοκρυσταλλική πούδρα σε μεγέθυνση X500.....41
Εικόνα 29: Νανοκρυσταλλική πούδρα σε μεγέθυνση X1500.....42
Πίνακας 2.δ: Χαρακτηριστικά της νανοκρυσταλλικής πούδρας.....42
Εικόνα 30: Μηχανισμός τοποθέτησης ζελέ πολτού.....47
Εικόνα 31: Μηχανισμός συστήματος έλξης σωματιδίων (Pultrusion).....48
Εικόνα 32: Μηχανισμός παραγωγής καλουπιών από θερμοσκληραινόμενου πλαστικό με τη χρήση ρητίνης.....49
Εικόνα 33: Αναλυτικός μηχανισμός καλουπιών παραγωγής θερμοσκληραινόμενου πλαστικού με τη χρήση ρητίνης.....49
Εικόνα 34: Μηχανισμός καλουπιών συμπίεσης.....50
Εικόνα 35: Αυτόκλειστο σύστημα.....52
Εικόνα 36: Ελικοειδής νημάτωση με άτρακτο.....54
Εικόνα 37: Μηχανισμός τοποθέτησης ινών σε άτρακτο τύπου ισοσκελούς τριγώνου.....56
Εικόνα 38: (Αριστερά): Σχεδιαστική εναπόθεση ινών σε πολύπλοκου σχήματος σωλήνα.....57
Εικόνα 39: (Δεξιά): Εναπόθεση ινών σε άτρακτο πολύπλοκου σχήματος.....57
Πίνακας 2.ε: Ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι χαρακτηρισμού της χημικής σύστασης επιφανειών και επιστρώσεων.....58
Εικόνα 40: Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).....61
Εικόνα 41: Ο μηχανισμός παραγωγής ηλεκτρονίων Auger ή ακτίνων X μετά από την δημιουργία οπής σε εσωτερικό φλοιό του ατόμου που ιονίζεται από διεγείρουσα δέσμη ηλεκτρονίων.....62
Εικόνα 42: Οι ενέργειες των ηλεκτρονίων Auger για στοιχεία με ατομικό αριθμό 5-90.....63
Εικόνα 43: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος για μετρήσεις AES & XPS.....64

Εικόνα 44: (α) Φαινόμενα που συνοδεύουν την αλληλεπίδραση της προσπίπτουσας δέσμης ηλεκτρονίων με την ύλη (β) ενεργειακή κατανομή των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται από την επιφάνεια του δείγματος…….....64
Εικόνα 45: Depth profile ενός πολυστρωματικού δείγματος που αποτελείται από υπόστρωμα Si, ένα ενδιάμεσο στρώμα TiW και ένα επιφανειακό υμένιο Au. Οπως φαίνεται στο φάσμα συμβαίνει διάχυση του Au μέσω του TiW και συσσώρευση του στη διεπιφάνεια Si/TiW……65
Πίνακας 2.ζ: Πίνακας πλεονεκτημάτων και μεινεκτημάτων AES…….....66
Πίνακας 2.η: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου XPS……68
Εικόνα 46: Η μεταβολή της διακριτικής ικανότητας της RBS σαν συνάρτηση της μάζας των ανιχνευομένων στοιχείων…….....69
Εικόνα 47: Η αρχή λειτουργίας της RBS……...70
Εικόνα 48: Φάσμα RBS που καταγράφεται από υμένιο PtSi πάχους 900μm, σε υπόστρωμα Si…….....70
Πίνακας 2.ι: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής RBS…….....71
Εικόνα 49: Τυπική διάταξη για μετρήσεις SIMS. (1) πηγή ιόντων (3-10 keV) (2) δείγμα (3) ηλεκτρόδια για την επιτάχυνση & εστίαση των δευτερογενών ιόντων (4) φασματογράφος μάζης (5)σχισμή εξόδου για την επιλογή κατάλληλου λόγου m/e (6) φανταστικό είδωλο. Σύστημα απεικόνησης: (7,8,9,10)…….....72
Εικόνα 50: Ανάλυση SIMS υμενίου InGaAs σε υπόστρωμα InP. Στο ένθετο φαίνεται η μεταβολή του βάθους του κρατήρα σαν συνάρτηση της χρονικής διάρκειας βομβαρδισμού. Η αλλαγή της ταχύτητας βομβαρδισμού φαίνεται σαν αλλαγή της κλίσης της ευθείας και οφείλεται σε αλλαγή της χημικής σύστασης σε βάθος που αντιστοιχεί σε t=280s…….....73
Πίνακας 2.κ: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα SIMS……74
Εικόνα 51: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος για μετρήσεις LEED……75
Εικόνα 52: Η γεωμετρία της τεχνικής RHEED……..76
Εικόνα 53: Οι ταλαντώσεις RHEED που εμφανίζονται μόνον όταν η κάλυψη της επιφάνειας αντιστοιχεί σε θ=0 ή θ=1, οπότε η επιφάνεια είναι ατομικά επίπεδη……...77
Πίνακας 2.λ: Εφαρμογές των αναλυτικών μεθόδων χαρακτηρισμού στην φυσική επιφανειών και την τεχνολογία επιστρώσεων…….77
Εικόνα 54: Κρυσταλλική δομή μορίων γραφίτη.....79
Εικόνα 55: Κρυσταλλική δομή διαμαντιού.....80
Εικόνα 56: Κρυσταλλική δομή φουλλερενίου.....80
Εικόνα 57: Μονοφλοιϊκός νανοσωλήνας άνθρακα.....81
Εικόνα 58: Συστοιχία μονοφλοιϊκών νανοσωλήνων άνθρακα.....82

Εικόνα 59: Πολυφλοιϊκός νανοσωλήνας άνθρακα.....82
Εικόνα 60: Πολυφλοιϊκός ή πολλαπλών τοιχίων νανοσωλήνας άνθρακα.....83
Πίνακας 2.μ: Πίνακας σύγκρισης των ιδιοτήτων των νανοσωλήνων άνθρακα έναντι των συμβατικών υλικών.....83
Εικόνα 61: Μηχανισμός ηλεκτρικής εκκένωσης.....84
Εικόνα 62: Τομή της συσκευής παραγωγής νανοσωλήνων άνθρακα με τη χρήση της τεχνικής ηλεκτρικής εκκένωσης.....85
Εικόνα 63: Μηχανισμός για την παρασκευή νανοσωλήνων άνθρακα μέσω της τεχνικής Laser Ablation σε τομή.....86
Εικόνα 64: Αριστερά η σχηματική διάταξη της χημικής εναπόθεσης ατμών (CVD) και στα δεξιά η μορφή της συσκευής.....86
Εικόνα 65: Επιφανειακή δομή του backypaper.....93
Εικόνα 66: Διατομή του backypaper.....93
Εικόνα 67: Το υλικό πριν τη διάχυση της ρητίνης.....94
Εικόνα 68: Το υλικό μετά τη διάχυση της ρητίνης.....94
Εικόνα 70: Σύστημα προσγείωσης αεροπλάνου.....97
Εικόνα 71: Δομή επικάλυψης σε στροβιλομηχανές.....98
Εικόνα 72: Περιοχές που επικαλύπτονται σε ένα στροβιλοκινητήρα.....98
Εικόνα 73: Διάφορες εικόνες στροβιλοκινητήρων.....99
Εικόνα 74: Αντλία που διαθέτει κατεργασμένες φλάντζες με την τεχνική HVOF.....101
Εικόνα 75: Γέφυρα (αριστερά) και ανεμογεννήτριες (δεξιά) όπου στα μεταλλικά τους μέρη χρησιμοποιούνται μεταλλικές επικαλύψεις.....103
Πίνακας 3.α: Πίνακας που παρουσιάζει συγκριτικά το ποσοστό της αντίστασης σε διάβρωση των διαφόρων πουδρών που χρησιμοποιούνται στις τεχνικές θερμικού ψεκασμού έναντι της σκληρής επιχρωμίωσης.....105
Εικόνα 76: Ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο έχει επικαλυφθεί με διηλεκτρική επικάλυψη.....109
Εικόνα 77: Τέσσερις σωλήνες από πολυμερισμένο άνθρακα, οι οποίες έχουν επεξεργαστεί με διαφορετικές πούδρες θερμικού ψεκασμού.....110
Εικόνα 78: Ψεκασμός πλάσματος με οξείδιο του χρωμίου σε επιφανειακή δομή πολυμερισμένων ινών γυαλιού.....111
Εικόνα 79: Ψεκασμός πλάσματος με γκρίζα αλουμίνα σε επιφανειακή δομή πολυμερισμένων ινών άνθρακα.....112

Εικόνα 80: Αθλητικά είδη όπου χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά. Αριστερά ποδήλατο και δεξιά ρακέτες.....114
Εικόνα 81: Πολεμικό αεροσκάφος (αριστερά) και σκελετός πολιτικού αεροσκάφους δεξιά όπου γίνεται εφαρμογή συνθετικών υλικών.....115
Εικόνα 82: Σκάφος αναψυχής όπου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του συνθετικά υλικά.....115
Εικόνα 83: Πιεστικά δοχεία και δοχεία διαστολής κατασκευασμένα από συνθετικά υλικά.....116
Πίνακας 3.β: Εφαρμογές των νανοσωλήνων στον ευρύτερο επιστημονικό τομέα.....120
Εικόνα 84: Εφαρμογή των νανοσωλήνων άνθρακα ως νανογραναζιών σε διάφορα μηχανικά ή ηλεκτρικά κυκλώματα.....121
Εικόνα 85: Εφαρμογή των νανοσωλήνων άνθρακα ως νανοκαλωδίων σε νανοκυκλώματα……...121
Εικόνα 86: Στην αριστερή εικόνα φαίνεται μια δημοσίευση αμερικανικού επιστημονικού περιοδικού η οποία αναφέρεται σε μια πιθανή σύνδεση της γης με διαστημικούς δορυφόρους οι οποίοι θα συγκρατούνται από νανοσωλήνες άνθρακα…….122
Εικόνα 87: Επιφανειακή δομή του ανεμοθώρακα στον οποίο εφαρμόστηκε η τεχνική sol-gel……123
Εικόνα 88: Αριστερά μια κυψέλη καυσίμου και δεξιά ένας επιστήμονας ο οποίος κατασκευάζει μια κυψέλη καυσίμου.....124

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η επίδραση των νανο-επιστημών υπήρξε καταλυτική σε όλα σχεδόν τα τεχνολογικά επιστημονικά πεδία και οδήγησε σε πληθώρα καινοτόμων εφαρμογών. Μεταξύ άλλων, η αξιοποίηση της νανοτεχνολογίας για την ανάπτυξη νέων πρωτοπόρων υλικών ή τη βελτίωση των ιδιοτήτων κλασσικών υλικών επηρέασε σημαντικά τον τομέα της μηχανικής. Για παράδειγμα, με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας και σχετικά απλών τεχνικά προσεγγίσεων, οι ιδιότητες των επιφανειών των υλικών μπορούν να τροποποιούνται και να βελτιστοποιούνται, έτσι ώστε τα υλικά αυτά να παραμένουν σταθερά σε εξωτερικούς παράγοντες όπως το περιβάλλον (όξινο ή βασικό), ή να μη χαράσσονται, ή να έχουν καλή προσκόλληση. Σαν αποτέλεσμα, μπορούν να βελτιωθούν σε σημαντικό βαθμό οι επιδόσεις των υλικών σε ακραίες συνθήκες προς όφελος π.χ. των μηχανολογικών εφαρμογών.

Στο πλαίσιο της προτεινόμενης πτυχιακής εργασίας, πραγματοποιήθηκε μια εκτενής βιβλιογραφική έρευνα αναφορικά με τις δυνατότητες που προσφέρει η νανοτεχνολογία σε διαδικασίες και υλικά προς την κατεύθυνση της βελτίωσης των επιφανειακών ιδιοτήτων υλικών που προορίζονται για μηχανολογικές εφαρμογές. Δίνεται έμφαση αφενός στις τεχνικές επιφανειακής επίστρωσης που χρησιμοποιούνται και τα αποτελέσματα που επιδεικνύονται ανά περίπτωση και αφετέρου στις τεχνικές χαρακτηρισμού των επιστρώσεων και τις τελικές τεχνολογικές εφαρμογές.

ABSTRACT

In recent years, nanosciences had a very serious impact on almost all fields of science and technology and led to numerous innovative applications. Among other applications, the employment of nanotechnology in the development of novel materials or the improvement of the properties of classic material has significantly influenced the field of engineering. For example, using nanotechnology and relatively simple technical approaches, the properties of the surface of various materials can be modified and optimized so that these materials can remain unaffected by external factors such as the environment (acidic or basic) or not engraved, or exhibit good adhesion. As a result, the performance of the materials under extreme conditions can be significantly improved, a condition that can benefit their applications in mechanical engineering.

For the scopes of this diploma thesis, a comprehensive literature search was carried out regarding the possibilities nanotechnology can offer for the improvement of the surface properties of materials for engineering applications. The thesis is focused on both the surface coating techniques used and the results attained in each case, indicated by the characterization of the coatings and the final engineering applications.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υλικά υπήρξαν πάντα άμεσα συνδεμένα με τον ανθρώπινο πολιτισμό. Ιστορικά, η ανάπτυξη και η πρόοδος των κοινωνιών καθοριζόταν από την ικανότητα των μελών τους να παράγουν και να χειρίζονται υλικά ώστε να εξυπηρετούν τις ανάγκες τους. Ωστόσο, μόλις πρόσφατα έγινε κατανοητή σε ικανοποιητικό βαθμό η σχέση μεταξύ των δομικών στοιχείων των υλικών και των ιδιοτήτων τους. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η ανάπτυξη δεκάδων χιλιάδων διαφορετικών υλικών τα τελευταία χρόνια με σχετικά πιο εξειδικευμένα χαρακτηριστικά που ανταποκρίνονται στις σύγχρονες ανάγκες του ανθρώπου.

Ωστόσο η επιτακτική ανάγκη για τη δημιουργία όλο και πιο ¨τέλειων¨ υλικών ώθησε τους επιστήμονες να στραφούν στην εύρεση σύγχρονων μεθόδων βελτιστοποίησης των ιδιοτήτων των υλικών.

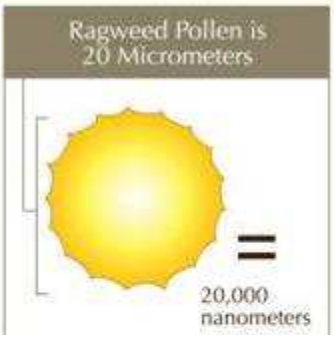
Μια από τις σύγχρονες μεθόδους βελτιστοποίησης των ιδιοτήτων είναι η επεξεργασία των επιφανειών των διαφόρων υλικών με τη χρήση της νανοτεχνολογίας.

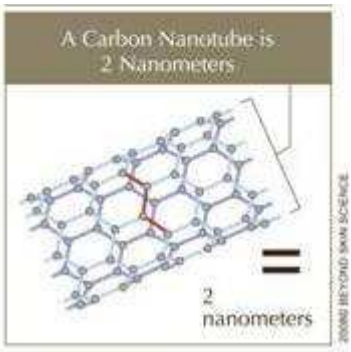
Στην επιστήμη και την τεχνολογία, το πρόθεμα «νανο» (από την ελληνική λέξη νάνος) σημαίνει 0,000000001. Ένα νανόμετρο (nm) δηλαδή, ισούται με ένα δισεκατομμυριοστό του μμέτρου και είναι δεκάδες χιλιάδες φορές μμικρότερο από το πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας.

Η νανοτεχνολογία είναι μια νέα προσέγγιση για την κατανόηση και την άρτια γνώση των ιδιοτήτων της ύλης σε νανοκλίμακα καθώς και για επεμβάσεις στην κλίμακα αυτή. Θεωρητικά, η νανοτεχνολογία αναφέρεται στην επιστήμη και τεχνολογία που αναπτύσσονται σε κλίμακα ατόμων και μορίων (νανοκλίμακα). Αναφέρεται επίσης σε νέες ιδιότητες που μπορούμε να παρατηρήσουμε και να εκμεταλλευτούμε.

Στον τομέα της τεχνολογίας των υλικών και κυρίως της μηχανικής, η νανοτεχνολογία καλείται να μας δώσει λύση προς την κατεύθυνση της αλλαγής των ιδιοτήτων τους, έτσι ώστε να έχουμε υλικά που να μη χαράσσονται ή να μην επηρεάζονται από τη φυσική ή τεχνητή φθορά.

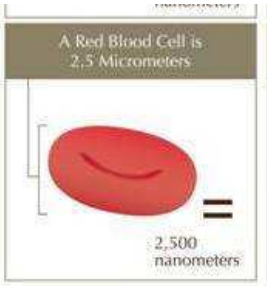
Πάντως, οι εφαρμογές στον τομέα των υλικών με τη χρήση της νανοτεχνολογίας έχουν ήδη αρχίσει να γίνονται πραγματικότητα με διάφορες μεθόδους, στις οποίες βασίζονται οι ελπίδες των επιστημόνων για ένα νέο κόσμο υλικών που υπόσχεται πολλά.

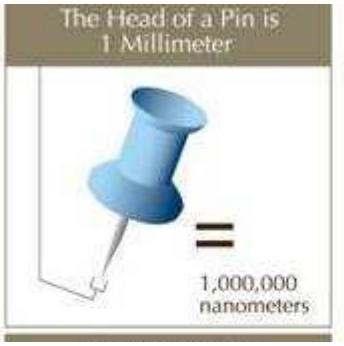




Κεφάλαιο 1

Ιστορική αναδρομή-Ορισμός της Νανοτεχνολογίας





Στην ενότητα αυτή θα δούμε μία ιστορική αναδρομή για το πώς γεννήθηκε ο όρος νανοτεχνολογία και το πώς εξελίχθηκε μέχρι σήμερα μέσα από τις διάφορες θεωρίες των Norio Taniguchi, Eric Drexler, John Dalton και Richard Feynman.

1.1 **Ιστορική αναδρομή-Θεωρίες από τα παλιά στο σήμερα:**

1.1.1 Προέλευση του όρου:

Ο όρος *Νανοτεχνολογία* προήλθε για πρώτη φορά από τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Επιστημών του Τόκιο Norio Taniguchi το έτος 1974 σε μία διατριβή του με τίτλο «Σχετικά με τη βασική έννοια της ‘Νανοτεχνολογίας’» , που αφορούσε την περιγραφή σχετικά με την ακρίβεια κατασκευής υλικών με ανοχές νανόμετρου. Πάντως η πιο δημοφιλής αναφορά έγινε από τον Αμερικάνο μηχανικό Eric Drexler (ο οποίος δεν γνώριζε το προγενέστερο ορισμό του όρου), για να παραπέμψει έτσι στη σύλληψη μιας "συναρμολογητής μηχανής" με την ικανότητα να αναπαράγεται μόνη της και την οικοδόμηση όλο και πιο μεγαλυτέρων και πιο πολύπλοκων στοιχείων.

1.1.2 Οι πρώτοι νανοτεχνολόγοι ήταν υαλοτεχνίτες του μεσαίωνα:

Η προέλευση και η διαχρονική ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας είναι ασαφείς. Οι πρώτοι νανοτεχνολόγοι μπορεί και να ήταν τεχνίτες γυαλιού του μεσαίωνα που χρησιμοποιούσαν καμίνια για την επεξεργασία του. Βέβαια οι υαλοτεχνίτες δεν καταλάβαιναν γιατί αυτό που έκαναν με το χρυσό δημιουργούσε τα χρώματα. Και όμως, η διαδικασία της νανοκατασκευής, ειδικά στην παραγωγή χρυσών νανο-κουκκίδων, χρησιμοποιήθηκε αρκετά σε Βικτοριανές και μεσαιωνικές εκκλησίες, που ήταν και είναι διάσημες για τα υπέροχα βιτρό στα παράθυρά τους. Το ίδιο ισχύει και για διάφορα σμάλτα που βρέθηκαν σε αρχαία τζάμια.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα σ’ αυτά τα είδη είναι το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά της νανοκλίμακας μπορεί να είναι τελείως διαφορετικά από τα χαρακτηριστικά της μικροκλίμακας. Αν αρκετές νανοκουκκίδες είναι κοντά η μια στην άλλη (αλλά όχι μέσα στα όρια της συνένωσης), τότε μπορούμε να δούμε το κόκκινο χρώμα απλά με το μάτι.

1.1.3 Ο Πατέρας της Νανοτεχνολογίας-Η ατομική Θεωρία του John Dalton:

Αν και η ιδέα ότι όλη η ύλη φτιάχνεται τελικά από πολύ μικρά και αδιαίρετα άτομα είχε ξεκινήσει από τον αρχαίο φιλόσοφο Δημόκριτο, εντούτοις ο John Dalton ήταν αυ-

τός που απέδειξε ότι τα άτομα πρέπει να υπάρχουν όταν στις 21 Οκτωβρίου του 1803 σε μία συνεδρίαση της Φιλοσοφικής Εταιρίας του Μάντσεστερ, ανακοίνωσε την ατομική του Θεωρία ξεκινώντας μία επανάσταση. Ο Dalton με την θεωρία του υποστήριξε ότι η ύλη φτιάχνεται από άτομα τα οποία είναι όμοια σε κάθε στοιχείο, έχουν ξεχωριστές μάζες και ιδιότητες, είναι αδιαίρετα και ακατάλυτα και συνδυάζονται σε ακέραιους αριθμούς.

Ουσιαστικά ο Dalton επέστρεψε όχι μόνο στην θεωρία του Δημόκριτου αλλά χρησιμοποίησε και το ίδιο όνομα με αυτόν για το μικρότερο σωματίδιο της ύλης «άτομο». Μόνο που η θεωρία του Δημόκριτου βασιζόταν σε υποθέσεις, ενώ ο Dalton βασίστηκε σε 150 χρόνια παρατηρήσεων. Η ύπαρξη του ατόμου αποδείχθηκε 100 χρόνια αργότερα το 1908 από τον Γάλλο φυσικό Jean Perrin.

Ακόμη και σήμερα, ο ορισμός που διδάσκεται στα σχολεία της μέσης εκπαίδευσης, είναι εκείνος που αναφέρεται από τον Dalton το 1808:

"Διάλεξα τη λέξη άτομο για να αποδώσω τα ελάχιστα σωματίδια, αντί για τις αντίστοιχες λέξεις σωματίδιο, μόριο ή οτιδήποτε άλλο, επειδή πιστεύω πως αυτή είναι πιο εκφραστική, αφού εμπεριέχει την έννοια της αδιαιρετότητας την οποία οι άλλες δεν εμπεριέχουν. Μπορεί να φανεί ότι επεκτείνω αρκετά τον ορισμό όταν μιλάω για σύνθετα άτομα. Ονομάζω το στοιχειώδες σωματίδιο του ανθρακικού οξέος ως σύνθετο άτομο. Αυτό το άτομο, μπορεί φυσικά να διαιρεθεί, αλλά τότε παύει να είναι πλέον άτομο ανθρακικού οξέος, αφού έχει αναλυθεί σε άνθρακα και οξυγόνο. Με την έννοια αυτή θεωρώ ότι δεν υπάρχει ανακολουθία όταν αναφέρομαι σε σύνθετα άτομα και αυτό που εννοώ γίνεται σαφές."

1.1.4 Richard Feynman:

Η πρώτη επιστημονική αναφορά στη νανοτεχνολογία (χωρίς τη χρήση αυτού του ονόματος) έγινε σε μια ομιλία που έκανε ο Richard Feynman, το 1959, με τίτλο **«*Υπάρχει Πολύς Χώρος στον Πάτο*».**

Παρά τις επιτεύξεις άλλων, ο Richard P. Feynman είναι εκείνος στον οποίον αποδίδεται περισσότερο το ξεκίνημα του όλου θέματος. Ο Richard P. Feynman, αυτός που θα βραβευόταν στο μέλλον με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής, έκανε μια ομιλία κατά τη διάρκεια ενός δείπνου το 1959 περίπου 43 χρόνια πριν, στην Αμερικάνικη Φυσική Εταιρεία, όπου φαίνεται να έχει χρησιμοποιήσει ή εμφανίσει την ιδέα στο κοινό. Η ομιλία βασιζόταν στην ιδέα ότι κάποιος θα μπορούσε να γράψει ολόκληρη την Εγκυκλοπαίδεια Μπριτάνικα πάνω στο κεφάλι μιας καρφίτσας, που αντιστοιχεί σε 1/25.000 του

κανονικού μεγέθους. Μίλησε επίσης για την πιστή αντιγραφή μεμονωμένων ατόμων σχετικά με τη συρρίκνωση των μεγεθών των υπολογιστών *(οι υπολογιστές ήταν πολύ μεγαλύτεροι απ' ότι είναι σήμερα, αλλά πιθανά να εννοούσε ακόμα μικρότερους)* και για έναν τρόπο ανάπτυξης της ικανότητας χειρισμού ατόμων και μορίων «απευθείας», αναπτύσσοντας ένα σετ εργαλείων στην κλίμακα του ενός δέκατου, ανάλογων με εκείνων που βρίσκουμε σε οποιοδήποτε μηχανουργείο. Αυτά τα μικρά εργαλεία θα βοηθούσαν στο να αναπτυχθεί και λειτουργήσει μια επόμενη γενιά εργαλείων της κλίμακας του ενός εκατοστού και ούτω καθεξής. Όσο τα μεγέθη θα μικραίνουν, θα πρέπει να ανασχεδιάζονται μερικά εργαλεία διότι η σχετική αντοχή διαφόρων δυνάμεων θα άλλαζε. Η βαρύτητα θα αποκτούσε μικρότερη σημασία, η ένταση επιφάνειας θα γινόταν πιο σημαντική, η έλξη Van der Waals θα γινόταν σημαντική κλπ.

1.1.5 Eric Drexler:

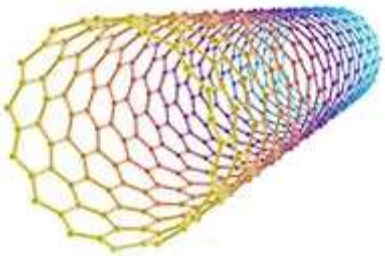
Ο Eric Drexler είναι πιο γνωστός σαν αυτός που έφερε την επανάσταση της νανοτεχνολογίας, στο σημείο που βρίσκεται σήμερα. Αύξησε την αναγνώριση του κόσμου σχετικά με την έρευνα, εκπαίδευσε αυτούς που στο μέλλον θα ερευνούσαν και θα ανέπτυσσαν τη νανοτεχνολογία, φώτισε τον τομέα αυτό και του προσφέρθηκε το πρώτο PhD στη νανοτεχνολογία. Το 1992 ο Drexler προέτρεψε μια επιτροπή νομοθετών να λάβουν υπόψη το θέμα αυτό. Έγραψε επίσης πολλά βιβλία σχετικά με τη νανοτεχνολογία.
Το 1981, εξερευνώντας ένα όραμα που είχε διατυπώσει ο Richard Feynman, ο Drexler περιέγραψε τις αρχές της φυσικής των μοριακών συστημάτων παρασκευής (χρησιμοποίηση νανομηχανών για την κατασκευή προϊόντων με ατομική ακρίβεια) σε μια διατριβή που εκδόθηκε στα *Πρακτικά της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών των ΗΠΑ*.

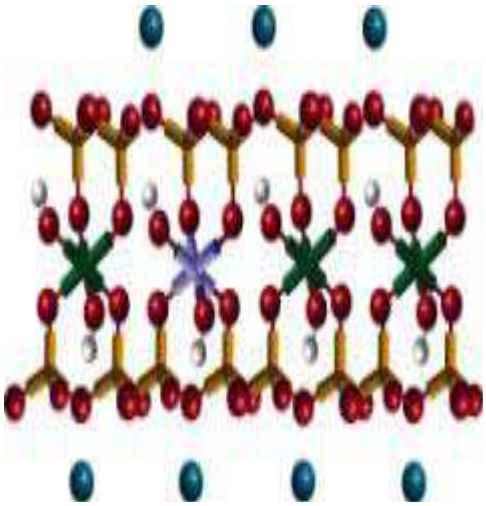
1.2 Ορισμός της Νανοτεχνολογίας:

Με τον όρο νανοτεχνολογία εννοούμε τη δυνατότητα ελέγχου ή χειρισμού υλικών σε ατομική κλίμακα με στόχο την παραγωγή δομών με πρωτότυπες ιδιότητες και λειτουργίες που οφείλονται στο μέγεθός τους, στο σχήμα τους ή στη σύνθεσή τους. Η αρχή της νανοτεχνολογίας είναι απλή: αντί να μικραίνει η ύλη έως ότου επιτευχθεί η μικρότερη μονάδα, η τελευταία αυτή αποσπάται απ' ευθείας από την ύλη. Οι δομές αυτές είναι σε μέγεθος μικρότερες από 100 nm.

1.2.1 Ορισμός της Νανοτεχνολογίας από τον Norio Taniguchi:

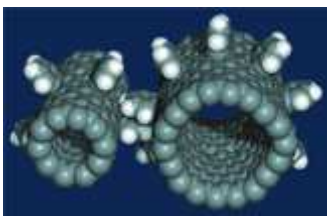
Η Νανοτεχνολογία» είναι η τεχνολογία παραγωγής με σκοπό την υπέρτατη ακρίβεια και τις υπέρ άριστες διαστάσεις. Για παράδειγμα, η ακρίβεια και η αρτιότητα στην κλίμακα 1 nm (νανόμετρο), 10^{-9} μέτρα μήκους. Το όνομα "Νανοτεχνολογία" επομένως πηγάζει από αυτό το νανόμετρο. Στην επεξεργασία των υλικών, η μικρότερη ποσότητα απομάκρυνσης αποθέματος, επισώρευσης ή ροής υλικών είναι πιθανώς ενός ατόμου ή ενός μορίου δηλαδή 0.1~0.2 nm σε μήκος. Επομένως, το αναμενόμενο όριο μεγέθους αρτιότητας θα είναι της κλίμακας του 1 nm. Κατά συνέπεια η "Νανοτεχνολογία" κυρίως έγκειται κυρίως στην επεξεργασία διαχωρισμού, εδραίωσης και παραμόρφωσης υλικών κατά ένα άτομο ή ένα μόριο. Περιττό να λεχθεί ότι οι τεχνικές μέτρησης και ελέγχου της ακρίβειας και της αρτιότητας 1 nm παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο σ' αυτή την τεχνολογία.





Κεφάλαιο 2

Τομείς της νανοτεχνολογίας





Στην ενότητα αυτή θα δούμε κάποιες τεχνικές με τις οποίες μια επιφάνεια μπορεί να τροποποιηθεί με βάση την νανοτεχνολογία έτσι ώστε να υπάρξει βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων της με απώτερο σκοπό την κάλυψη των αναγκών σε τεχνικό, επιστημονικό και βιομηχανικό επίπεδο.

Η τροποποίηση των επιφανειακών δομών με νανοϋλικά έχει ως σκοπό την αναδόμηση της επιφανειακής δομής έτσι ώστε να παρουσιάζουν πιο εξελιγμένες ιδιότητες για την κάλυψη των αυξημένων τεχνολογικών απαιτήσεων του σήμερα.

2.1 Επιστρώσεις θερμικού ψεκασμού:

Οι επιστρώσεις θερμικού ψεκασμού είναι υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη επιφανειών, έτσι ώστε οι επιφάνειες αυτές να αποκτήσουν πιο βελτιωμένες ιδιότητες.

Τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση των τεχνικών θερμικού ψεκασμού είναι τα εξής:

- Βελτίωση των επιφανειακών μηχανικών ιδιοτήτων των διαφόρων εξαρτημάτων.
- Μεγαλύτερη απόδοση.
- Εξοικονόμηση υλικού.
- Μείωση του κόστους συντήρησης.
- Μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των συντηρήσεων.

2.1.1 Τεχνικές παρασκευής πουδρών για τη χρήση τους σε επιστρώσεις θερμικού ψεκασμού:

Οι τεχνικές παρασκευής επιστρώσεων θερμικού ψεκασμού αφορούν τις διαδικασίες παρασκευής πουδρών για την εναπόθεση τους σε επιφάνειες.

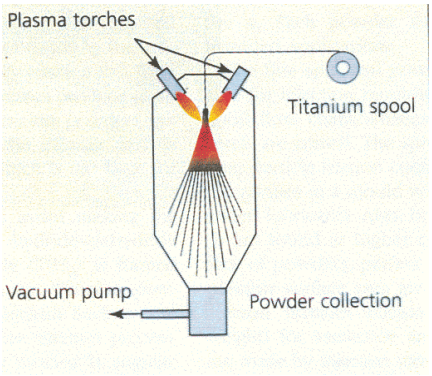
Οι επιστρώσεις θερμικού ψεκασμού είναι υλικά επεξεργασμένα με διάφορες μεθόδους, οι οποίες τα καθιστούν ενεργά και τους παρέχουν διάφορες ιδιότητες όπως την καλή προσκόλληση και την ομοιόμορφη κατανομή πάνω στο υλικό επικάλυψης, καθώς και την ικανότητα προστασίας του υλικού από τους εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. συνθήκες περιβάλλοντος ή οξειδωτικό περιβάλλον) και φυσικά τις τριβές με άλλα εξαρτήματα.

Η ενεργοποίηση των σωματιδίων σε πούδρες επικάλυψης επιφέρει την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της πούδρας πάνω στο υλικό και την απαίτηση για μικρότερα πάχη επικάλυψης. Σαν παράδειγμα η πούδρα σφαιρικών σωματιδίων τιτανίου επικαλύπτει ένα εξάρτημα σε πάχος 0,04 mm.

Οι τεχνικές αυτές και ο τρόπος παρασκευής των διαφόρων πουδρών φαίνονται πιο κάτω:

2.1.1.1 Θερμοπλαστική μορφοποίηση πουδρών τιτανίου για παραγωγή βιο-εμφυτευμάτων (BIOTIP):

Η τεχνική της θερμοπλαστικής μορφοποίησης πουδρών τιτανίου για την παραγωγή βιο-εμφυτευμάτων αποσκοπεί στην χρήση μεταλλικής έκχυσης τόσο για την παραγωγή ατομοποιημένης πούδρας τιτανίου όσο και για την παραγωγή εξαρτημάτων τιτανίου.



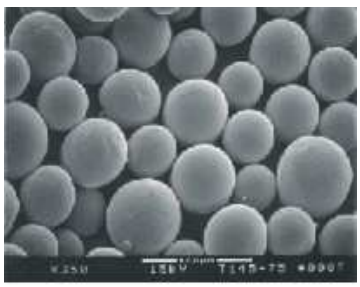
⇨ Εικόνα 1: Διαδικασία παραγωγής πούδρας τιτανίου.

2.1.1.2 Βιο-εμφυτεύματα τιτανίου(Ti):

Τα βιο-εμφυτεύματα τιτανίου παρασκευάζονται με τη τεχνική της εναπόθεσης πούδρας τιτανίου με τη βοήθεια λέιζερ. Σε αυτή την τεχνική δεν εμφανίζεται «μόλυνση» του εμφυτεύματος από οξείδια (ενώσεις δηλαδή οξυγόνου με το τιτάνιο) και παρουσιάζονται μηδαμινές απώλειες, σε σύγκριση με άλλες εφαρμοζόμενες τεχνικές χύτευσης. Αξιόλογο αναφοράς είναι το ότι η δέσμη λέιζερ τροφοδοτείται από την πούδρα τιτανίου.

Εικόνα 2:

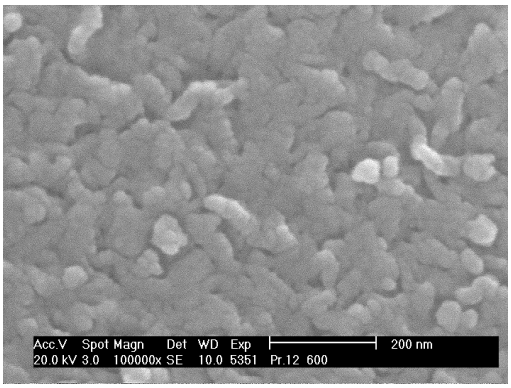
Σφαιρικά μόρια τιτανίου τα οποία χρησιμοποιούνται στον ψεκασμό πλάσματος:



2.1.1.3 Άλεση υψηλής ενέργειας σε σφαιρόμυλο για την παραγωγή πουδρών σκληρών κραμάτων, κεραμικών και συνθετικών υλικών (ACTIVATION):

Η άλεση υψηλής ενέργειας σε σφαιρόμυλο για την παραγωγή πουδρών σκληρών κραμάτων, κεραμικών και συνθετικών υλικών είναι μια τεχνική η οποία έχει σαν στόχο την αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας και την καλή απόδοση των υλικών της πούδρας.

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται για την παραγωγή νέων τεχνολογιών και νέων υλικών πούδρας. Επίσης, η τεχνική είναι βασισμένη στην ελάττωση του μεγέθους των σωματιδίων και στην ενεργοποίησης τους.



Εικόνα 3: Επικάλυψη με την τεχνική του ψεκασμού πλάσματος της σκόνης νανομετρικής κλίμακας Al_2O_3.



Εικόνα 4: Μύλος άλεσης υψηλής ενέργειας.

2.1.2 Αρχή της μεθόδου του θερμικού ψεκασμού:

Ο θερμικός ψεκασμός είναι μια μέθοδος όπου με τη χρήση φλόγας ή άλλων θερμικών παραγόντων επικαλύπτονται με κατάλληλες επιστρώσεις διάφορα αντικείμενα, όπως εξαρτήματα μηχανών ή επιφάνειες οι οποίες πρέπει να προστατευτούν από τυχόν διαβρώσεις.

Εικόνα 5:

Κυλινδρικό εξάρτημα στο οποίο έγινε χρήση των τεχνικών θερμικού ψεκασμού



2.1.3 Τεχνικές θερμικού ψεκασμού:

Οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού εφαρμόζονται σε εξαρτήματα τα οποία έχουν διαβρωθεί από απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας, από όξινο, βασικό ή φυσικό περιβάλλον ή έχουν υποστεί φθορές από διάφορες τριβές.

Ο θερμικός ψεκασμός ενός υλικού γίνεται με τη χρήση πίδακα θερμότητας (φλόγα ή πλάσμα) υψηλής κινητικής και θερμικής ενέργειας. Κατά τον θερμικό ψεκασμό χρησιμοποιείται πούδρα με το υλικό της πούδρας να τήκεται πλήρως ή μόνο στο εξωτερικό του στρώμα. Το φαινόμενο αυτό, η τήξη δηλαδή του υλικού της πούδρας εξαρτάται από τη δομή του υλικού, από την ταχύτητα με την οποία διοχετεύεται η πούδρα ή το σύρμα και από την θερμοκρασία της φλόγας ή του πλάσματος.

Έτσι κατά την ψυχρή προσκόλληση των τηγμένων σωματιδίων της πούδρας πάνω στην ψυχρότερη επιφάνεια επικάλυψης, το υλικό επικάλυψης στερεοποιείται ακαριαία και δημιουργεί μια παρόμοια δομή με το υλικό που επικαλύπτεται.

Κατά τον ψεκασμό η επιφάνεια του υλικού που επικαλύπτεται θερμαίνεται. Έτσι κατά την διάρκεια του θερμικού ψεκασμού και κατά την ψύξη του υλικού επικάλυψης παρατηρείται μια θερμοδυναμικά μετασταθής κατάσταση η οποία επηρεάζει την νανοκρυσταλλική δομή του υλικού προς μια σταθερότερη θερμοδυναμικά κατάσταση. Αποτέλεσμα αυτού είναι η εμφάνιση νανοκρυστάλλων μεγαλύτερης κοκκομετρίας. Η μεγέθυνση της νανοκρυσταλλικής δομής του υλικού μπορεί να συνοδεύεται και από μετασχηματισμό των αρχικών φάσεων, δηλαδή αν πχ το υλικό που επικαλύπτεται είναι χάλυβας θα μετασχηματίζεται ξανά σε φερρίτη, ωστενίτη, μαρτενσίτη κτλ, αλλάζοντας κυριολεκτικά έτσι και την κρυσταλλική δομή του επικαλυπτόμενου υλικού.

Οι τεχνικές του θερμικού ψεκασμού που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι συνήθως φυσικές ή χημικές τεχνικές εναπόθεσης ατμών, ηλεκτρο-αποθέσεις ή τεχνικές sol-gel.

Πίνακας 2.α:

Τεχνικές θερμικού ψεκασμού διαχωρισμένες ανάλογα με την πηγή θερμότητας που χρησιμοποιούν:

Κύριες τεχνικές θερμικού ψεκασμού	
Πηγή θερμότητας **Καύση**	*Πηγή θερμότητας* **Ηλεκτρική ενέργεια**
Ψεκασμός φλόγας	Ατμοσφαιρικός ψεκασμός πλάσματος (APS)
Ψεκασμός υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου (HVOF)	Ψεκασμός σύρματος με ηλεκτρικό τόξο (WAS)
Ψεκασμός σύρματος με φλόγα (FS)	Ψεκασμός πλάσματος σε κενό (VPS)

Ανάλυση των πιο πάνω κύριων τεχνικών θερμικού ψεκασμού:

- Τεχνικές θερμικού ψεκασμού με πηγή θερμότητας την καύση:

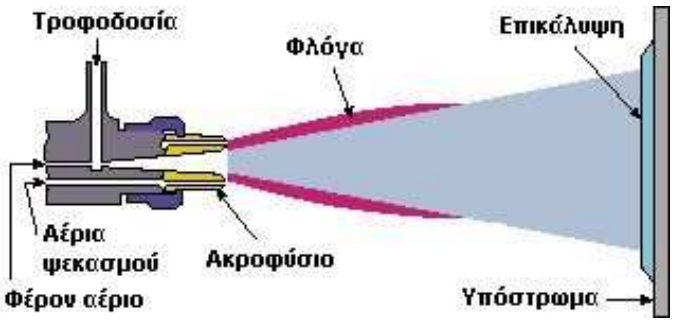
2.1.3.1 Ψεκασμός φλόγας:

Η τεχνική του ψεκασμού φλόγας είναι η τεχνική κατά την οποία γίνετε χρήση φλόγας υψηλής θερμοκρασίας. Τα υλικά επικάλυψης, όπως μεταλλικά, κεραμικά ή συνθετικά τίκονται και προσκρούουν στην επιφάνεια του υλικού που επικαλύπτεται με αποτέλεσμα να δημιουργείτε επιφανειακή επίστρωση.

Εικόνα 6:



Εικόνα 7:



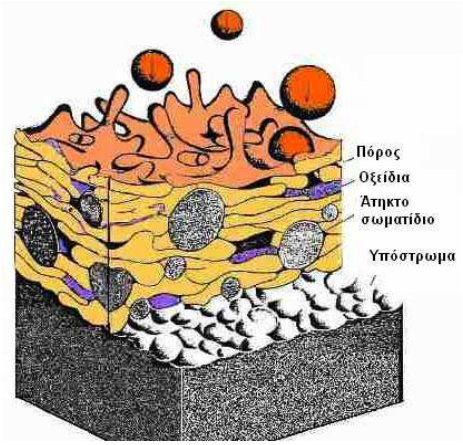
Επεξήγηση των πιο πάνω εικόνων:

Στις πιο πάνω εικόνες φαίνονται ένας άντρας (Εικόνα 6) ο οποίος χρησιμοποιεί τη μέθοδο θερμικού ψεκασμού με φλόγα για την επικάλυψη ενός εξαρτήματος, ενώ στα δεξιά (Εικόνα 7) φαίνεται ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την επικάλυψη μιας επιφάνειας με την τεχνική του θερμικού ψεκασμού φλόγας.

Στον πιο πάνω μηχανισμό παρατηρείται ότι η τροφοδοσία γίνεται από το πάνω μέρος της συσκευής, ενώ τα αέρια που αναμιγνύονται εισέρχονται από το πίσω μέρος.

Εικόνα 8:

- Η επιφανειακή δομή της επικάλυψης με θερμικό ψεκασμό φλόγας:



Περιγραφή εικόνας:

Στη πιο πάνω εικόνα παρουσιάζεται το υπόστρωμα του υλικού (επιφάνεια πρόσκρουσης του υλικού επικάλυψης) και το υλικό που επικαλύπτεται. Στο υλικό επικάλυψης φαίνονται τα άτηκτα σωματίδια, τα οποία παρασύρονται από τον πεπιεσμένο αέρα και το τιγμένο υλικό επικάλυψης. Επίσης φαίνονται και ανοικτοί πόροι και οξείδια.

Οι πόροι που παρατηρούνται δημιουργούνται από τα μεγάλα άτηκτα σωματίδια τα οποία επικάθονται στο τηγμένο υλικό επικάλυψης. Τα τηγμένα σωματίδια είναι σίδηρος και άνθρακας, ενώ τα άτηκτα είναι μολυβδαίνιο.

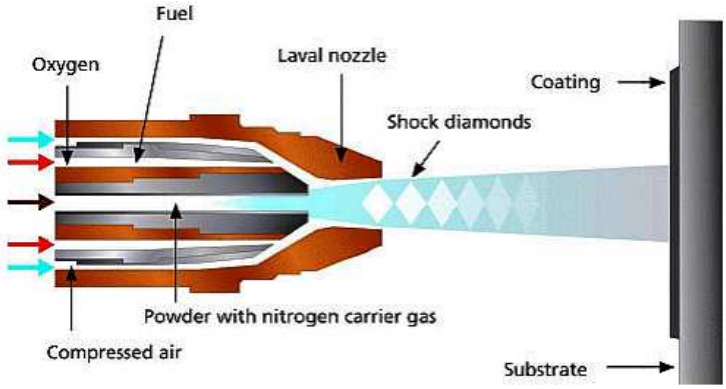
Επίσης τα οξείδια που δημιουργούνται μέσα στην επικάλυψη, επιδρούν σαν φυσικό λιπαντικό.

2.1.3.2 Ψεκασμός υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου (HVOF):

Η τεχνική του ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου αναφέρεται στην έμφυση οξυγόνου με υψηλή ταχύτητα σε συνδυασμό με καύσιμο αέριο (συνήθως ασετιλίνη), πούδρα επικάλυψης με φέρον αέριο άζωτο και πεπιεσμένο αέρα.

Εικόνα 9:

Μηχανισμός θερμικού ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου



Η μέγιστη θερμοκρασία φλόγας κυμαίνεται στους 2900^0C, η θερμοκρασία των σωματιδίων στους 2000^0C ενώ η ταχύτητα των σωματιδίων κυμαίνετε μεταξύ $200-1000\frac{m}{\sec}$.

Η τεχνική του ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου παρέχει μεγαλύτερη θερμοκρασία φλόγας, που έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω θέρμανση των σωματιδίων επικάλυψης.

2.1.3.3 Ψεκασμός σύρματος με φλόγα:

Ο ψεκασμός σύρματος με φλόγα είναι η τεχνική όπου χρησιμοποιείται σύρμα αντί για πούδρα. Τα τηγμένα σωματίδια του σύρματος ψεκάζονται με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα.

Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται τα αέρια:

A. Οξυγόνο
B. Ασετιλίνη

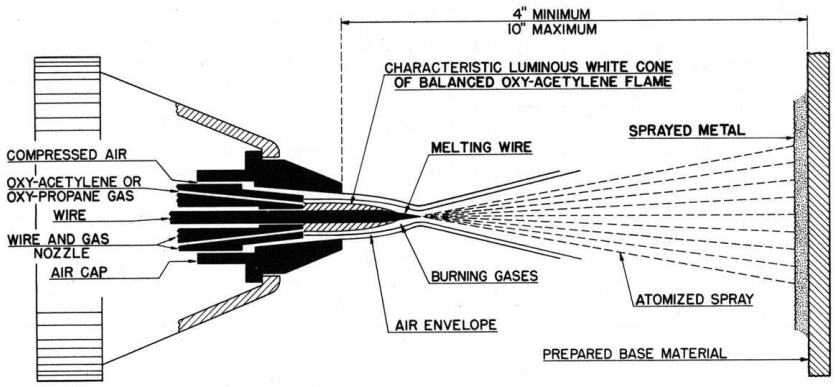
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι χαμηλότερες από τις άλλες μεθόδους και είναι της τάξεως των 2000 έως και 2500^0C. Επίσης είναι χαμηλότερη και η ταχύτητα των σωματιδίων κατά τον ψεκασμό.

Είναι εύχρηστη μέθοδος και σχετικά εύκολη στον χειρισμό της.

Έχει υψηλούς ρυθμούς εναπόθεσης και γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές κατά της διάβρωσης και της φθοράς.

Εικόνα 10:

Μηχανισμός ψεκασμού σύρματος με φλόγα

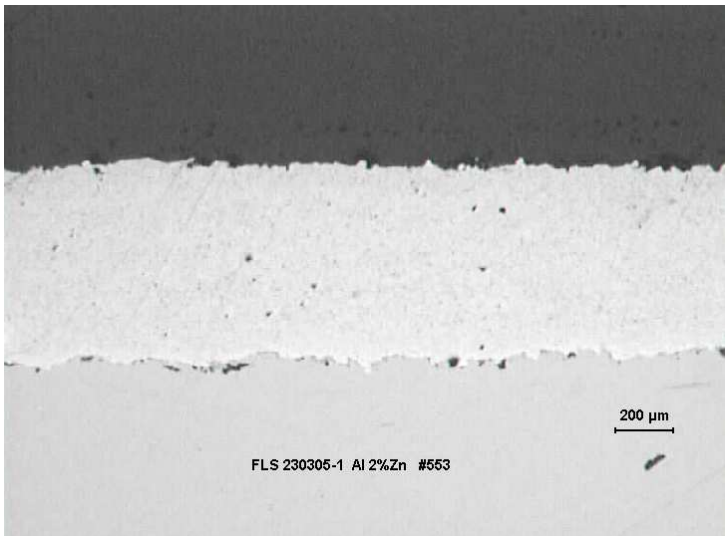


Τα υλικά εναπόθεσης που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή είναι κυρίως μεταλλικά όπως:

- Ψευδάργυρος (Zn).
- Αλουμίνιο (Al).
- Μολυβδαίνιο (Mo).
- Χρωμονικελίνη (NiCr).
- Χάλυβες.

Εικόνα 11:

Επιφανειακή δομή της επικάλυψης σύρματος με τη χρήση φλόγας



Στην πιο πάνω εικόνα παρουσιάζεται η επικάλυψη, με την τεχνική του ψεκασμού σύρματος με τη χρήση φλόγας, όπου φαίνεται η επικάλυψη αλουμινίου (Alloy-Al).
Η επικάλυψη έχει μεγάλο πάχος ενώ δεν παρατηρούνται πολλά πορώδη σημεία, καθώς η πορώδης επιφάνεια είναι του <0,5%. Η μικροσκληρότητα είναι 50 HV_{300}.

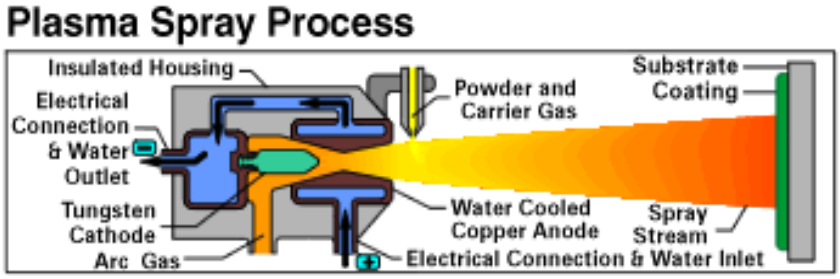
- Τεχνικές θερμικού ψεκασμού με θερμική πηγή την ηλεκτρική ενέργεια:

2.1.3.4 Ατμοσφαιρικός ψεκασμός πλάσματος (APS):

Ο ατμοσφαιρικός ψεκασμός πλάσματος είναι η τεχνική όπου το θερμό ιονισμένο αέριο περνά από το ηλεκτρικό τόξο το οποίο σχηματίζεται μεταξύ δύο μη αναλώσιμων ηλεκτροδίων.
Για το σχηματισμό του πλάσματος συνήθως χρησιμοποιούνται αργό, ήλιο, υδρογόνο, άζωτο και άλλα αέρια κατά περίπτωση. Η θερμοκρασία στο πλάσμα μπορεί να ξεπεράσει τους 10000°C, ενώ στην έξοδο του πλάσματος τους 5500°C, είναι δηλαδή πολύ υψηλότερη από την θερμοκρασία τήξης οποιουδήποτε δύστηκτου υλικού.
Η ταχύτητα ψεκασμού είναι της τάξης των 250 — 600 m/s. Ωστόσο, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο υπόστρωμα κατά τον ψεκασμό είναι χαμηλές (< 200°C), συνεπώς δεν υπόκειται σε έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές.

Εικόνα 12:

Μηχανισμός ατμοσφαιρικού ψεκασμού πλάσματος

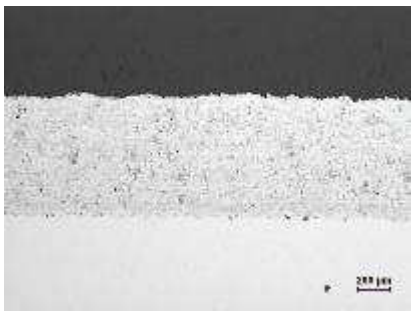


Περιγραφή λειτουργίας:

Η συσκευή πλάσματος λειτουργεί ως εξής:

Εφόσον η συσκευή λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια έχει δύο ηλεκτρόδια (+ και -) απ' όπου παράγεται το ηλεκτρικό τόξο για τον ιονισμό του θερμού αερίου. Το θερμό αέριο εξέρχεται υπό μορφή τόξου, παρασύροντας και το υλικό επικάλυψης το οποίο είναι υπό μορφή σκόνης. Η σκόνη μεταφέρετε μέσω σωλήνωσης και συμπαρασύρεται από το αέριο. Η συσκευή διαθέτει και σύστημα ψύξης το οποίο χρησιμοποιεί ως ψυκτικό μέσο το νερό.

Εικόνα 13:
Κατεργασμένη επιφανειακή δομή με τη χρήση της τεχνικής του ατμοσφαιρικού ψεκασμού πλάσματος



Επεξήγηση εικόνας:

Στην πιο πάνω εικόνα φαίνετε η επικάλυψη μιας μεταλλικής επιφάνειας, που έγινε με την τεχνική του ατμοσφαιρικού ψεκασμού πλάσματος. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επικάλυψη είναι σίδηρος, χρώμιο, μαγνήσιο και άνθρακας (κράμα FeCrMnC). Η επικάλυψη είναι πορώδης κατά 1,5-2,0%.

Τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη επικαλύψεων πλάσματος είναι:

- Μεταλλικά (μέταλλα, κράματα, χάλυβες κλπ.).
- Κεραμικά (Al_2O_3, Cr_2O_3, ZrO_2-Y_2O_3, κλπ.).
- Σύνθετα κεραμομεταλλικά υλικά.

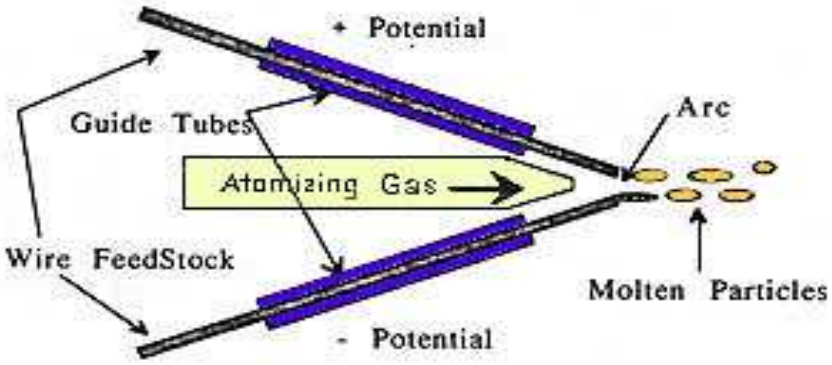
2.1.3.5 Ψεκασμός σύρματος με ηλεκτρικό τόξο:

Ο ψεκασμός σύρματος με ηλεκτρικό τόξο είναι η τεχνική εναπόθεσης επικαλύψεων κατά την οποία χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρόδια που αναλώνονται-τήκονται (καταναλισκόμενα ηλεκτρόδια) με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτρικό τόξο), ενώ η εναπόθεση γίνεται με πεπιεσμένο αέρα.

Η θερμοκρασία που δημιουργείται από το ηλεκτρικό τόξο μπορεί να ξεπεράσει τους $5000^0 C$.

Εικόνα 14:

Μηχανισμός ψεκασμού σύρματος με ηλεκτρικό τόξο



Είναι ταχεία μέθοδος και πολύ αποτελεσματική.

Με τη χρήση αυτής της μεθόδου παράγονται επικαλύψεις κατά της φθοράς και της διάβρωσης. Επίσης χρησιμοποιείται για την αναγόμωση φθαρμένων περιοχών.

Εφαρμογή της μεθόδου:

Η μέθοδος του ψεκασμού σύρματος με ηλεκτρικό τόξο εφαρμόζεται σε επικαλύψεις μεταλλικών και συνθετικών υλικών (σύρματα με προσμείξεις).

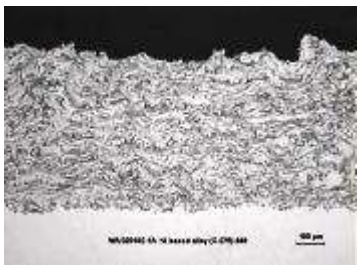
Τα υλικά επικάλυψης που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα εξής:

- Χρωμιούχος σίδηρος (Fe-Cr) ο οποίος είναι βασικό υλικό στην επικάλυψη.
- Χρωμονικελίνη (NiCr).
- Άνθρακας C 276 ο οποίος χρησιμοποιείται κατά της διάβρωσης.
- Άνθρακας C 22 ο οποίος χρησιμοποιείται επίσης κατά της διάβρωσης.
- Παλλάδιο (Pd-101 και 102) το οποίο χρησιμοποιείται κατά της εκτριβής και της διάβρωσης.
- Αλουμίνιο (Al).
- Χαλκός (Cu).
- Σίδηρος (Fe) ο οποίος χρησιμοποιείται ως βάση στα ηλεκτρόδια τα οποία είναι περιέχουν καρβίδια. Μερικά από τα καρβίδια που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής: WC-Co, Cr_3C_2 κ.τ.λ.

Τα πιο πάνω καρβίδια που αναφέρθηκαν, είναι ενώσεις που χρησιμεύουν στην σκλήρυνση της επικάλυψης.

Εικόνα 15:

Μορφή επικάλυψης με τη χρήση άνθρακα C 276:



Στην πιο πάνω εικόνα επικάλυψης με τη χρήση άνθρακα C 276, παρατηρούμε ότι έχουμε μια επιφάνεια υψηλού βαθμού τραχύτητας. Η πορώδης επιφάνεια της επικάλυψης είναι <1,0%, η αντοχή πρόσφυσης είναι >40 MPa και η μικροσκληρότητα είναι 350 HV_{300}.

2.1.3.6 Ψεκασμός πλάσματος σε κενό (VPS):

Η τεχνική του ψεκασμού πλάσματος σε κενό είναι η τεχνολογία η οποία πραγματοποιείται σε σφραγισμένο θάλαμο με ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος σε ένα μέσο κενό της τάξης των 13-65 Pa, ενώ η θερμοκρασία κυμαίνεται από $39-120^{0}C$ για να αποφεύγεται η θερμική βλάβη.

Το αέριο ή το μίγμα αερίων που χρησιμοποιούνται, ενεργοποιείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο από ρεύμα DC σε συχνότητες μικροκυμάτων. Η ισχύς του συστήματος μπορεί να φτάσει από 1-500W, ενώ η τάση λειτουργίας του είναι στα 50V. Επίσης τα στοιχεία που επεξεργάζονται είναι συνήθως ηλεκτρικά μονωμένα.

Εικόνα 16:

Μηχανισμός ψεκασμού πλάσματος



Η τεχνική του ψεκασμού πλάσματος σε κενό χρησιμοποιείται για:

1. Τη δημιουργία πορωδών επιφανειών με υψηλή αναπαραγωγιμότητα.
2. Τροποποίηση επιφανειών.

3. Βελτίωση των επιφανειακών ιδιοτήτων όπως είναι η τριβή, η συμπεριφορά, η ηλεκτρική αγωγιμότητα της επιφάνειας, η λιπαντική συνεκτική δύναμη ταινιών, η διηλεκτρική σταθερά
4. Τροποποίηση της δομής επιφανειών έτσι ώστε να γίνουν υδρόφιλες ή υδρόφοβες.

Επίσης μπορεί να προκαλέσει μη θερμικά ενεργοποιημένες επιφανειακές αντιδράσεις, που προκαλούν με τη σειρά τους επιφανειακές αλλαγές οι οποίες δεν μπορούν να εντοπιστούν με τη μοριακή χημεία σε περιβάλλον ατμοσφαιρικής πίεσης.

2.1.4 Άλλες μορφές ψεκασμού:

2.1.4.1 Ψυχρός ψεκασμός:

Η τεχνική του ψυχρού ψεκασμού βασίζεται στην ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων στα σωματίδια επικάλυψης με τη χρήση αερίου όπου, μέσω αναγκαστικής συγκλίνουσας-αποκλίνουσας de Laval και τη χρήση ακροφυσίου τα σωματίδια επιταχύνονται. Στη συνέχεια τα σωματίδια με επαρκή κινητική ενέργεια παραμορφώνονται πλαστικά και προσκρούοντας στην επιφάνεια επικάλυψης δημιουργούν ένα επίχρισμα. Η κρίσιμη ταχύτητα που απαιτείται για την ενσωμάτωση και τη δημιουργία του επιχρίσματος εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού της επικάλυψης, το μέγεθος των κόκκων της σκόνης και τη θερμοκρασία.

Τα μεταλλικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επίστρωση σε ψυχρό ψεκασμό είναι τα εξής:

- Μαλακά μέταλλα:

1. Χαλκός (Cu).
2. Αλουμίνιο (Al).

- Σκληρά μέταλλα και καρβίδια:

1. Βολφράμιο (W).
2. Ταντάλιο (Ta).
3. Τιτάνιο (Ti).
4. Καρβίδια των τύπων: Μολυβδαίνιο-Χρώμιο-Αλουμίνιο-Ύτριο (MCrAlY) και Βολφράμιο-Άνθρακας-Κοβάλτιο (WCCo).

Απόδοση της τεχνικής του ψυχρού ψεκασμού:

Η απόδοση της τεχνικής του ψυχρού ψεκασμού είναι χαμηλή και οι παράμετροι που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν είναι περιορισμένες. Βασικά, η απόδοση του όλου συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων της σκόνης επικάλυψης που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς, όσο μεγαλύτεροι είναι οι κόκκοι, τόσο μεγαλύτερη ταχύτητα επιτάχυνσης θα χρειαστεί, ενώ όσο πιο μικροί είναι οι κόκκοι τόσο το καλύτερο. Για καλύτερα αποτελέσματα οι κόκκοι θα πρέπει να είναι <20 μm.

Τα αέρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το φυσικό αέριο, το ήλιο και το άζωτο. Ωστόσο το αέριο που βελτιώνει την ικανότητα επιτάχυνσης είναι το άζωτο, όταν αυτό θερμαίνεται στους 900^0C περίπου. Αποτέλεσμα της θέρμανσης του αζώτου είναι η αύξηση της απόδοσης εναπόθεσης και η παρουσίαση μέγιστης αντοχής σε εφελκυσμό της επικάλυψης.

2.1.4.2 Τεχνική εναπόθεσης επικαλύψεων με τη χρήση ηλιακής ενέργειας:

Η τεχνική εναπόθεσης επικαλύψεων με τη χρήση ηλιακής ενέργειας είναι μια πρωτοποριακή μέθοδος εναπόθεσης επικαλύψεων.

Για την λειτουργία αυτής της μεθόδου χρησιμοποιούνται ηλιακοί φούρνοι οι οποίοι, διαθέτουν διπλά κάτοπτρα και περσίδες (για τον έλεγχο της ροής της ηλιακής ακτινοβολίας). Η δέσμη του ηλίου, μετά από διαδοχικές εστιάσεις και αντανακλάσεις, φτάνει στο δοκίμιο, το οποίο βρίσκεται στο κέντρο του φούρνου. Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει τα $300\frac{KW}{m^2}$, ενώ η θερμοκρασία και ο χρόνος είναι δύο μεταβλητές παράμετροι της κατεργασίας.

Οι επικαλύψεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από το υλικό της επικαλυπτόμενης επιφάνειας. Σαν παράδειγμα, όταν το υλικό που επικαλύπτεται είναι χάλυβας χρησιμοποιούνται καρβίδια (όπως είναι οι κεραμομεταλλικές πούδρες cermet οι οποίες αποτελούνται από καρβίδια βολφραμίου και κοβαλτίου) και πούδρες με βάση το μολυβδαίνιο και με μίγμα νικελίου, χρωμίου, βορίου, πυριτίου και σιδήρου.

Η τεχνική εναπόθεσης επικαλύψεων με τη χρήση ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται σε τριβολογικές μελέτες, όπου δοκίμια χάλυβα επικαλύπτονται με τις προαναφερθείσες επικαλύψεις.

Οι διάφορες τριβολογικές μελέτες που έχουν γίνει δείχνουν ότι σε δοκίμια του χάλυβα που εναποτέθηκαν κεραμομεταλλικές πούδρες cermet έχουν υψηλότερο συντελεστή τριβής από την εναπόθεση πούδρας με βάση το μολυβδαίνιο.

Αυτό συμβαίνει γιατί οι διάφορες επικαλύψεις τήκονται και κατανέμονται διαφορετικά σε επίπεδο μικροδομής. Επίσης η θερμοκρασία, η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και ο χρόνος παραμονής του δοκιμίου στο φούρνο παίζουν καταλυτικό ρόλο στην κατανομή των στοιχείων της επικάλυψης.

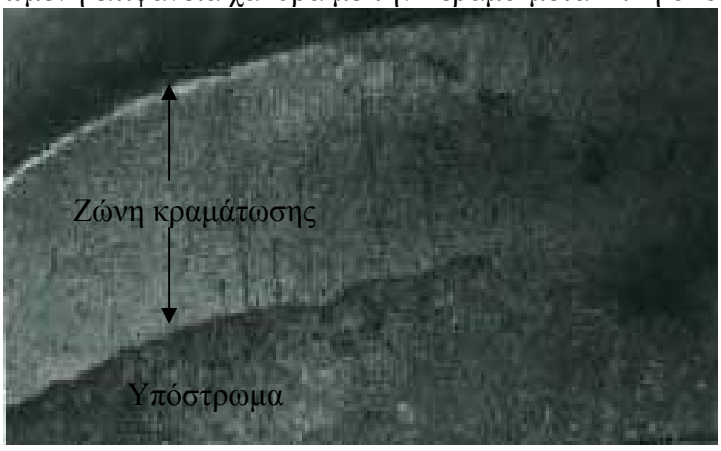
Εικόνες των δύο μορφών επικάλυψης και επεξηγήσεις:

Εικόνα 17:
Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με την κεραμο-μεταλλική σκόνη cermet



- Στην πιο πάνω εικόνα φαίνεται το δοκίμιο χάλυβα μετά την επεξεργασία, όπου η επιφάνεια κραμάτωσης είναι λεία και η συνάφεια με το υπόστρωμα είναι πολύ καλή.

Εικόνα 18:
Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με την κεραμο-μεταλλική σκόνη cermet

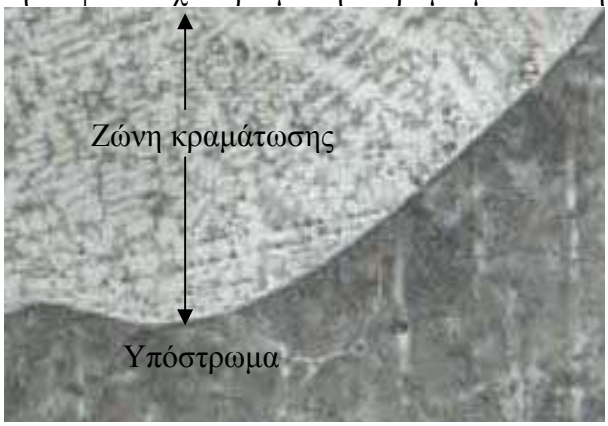


- Στην πιο πάνω εικόνα διακρίνεται η τομή της επικάλυψης, όπου αποκαλύπτεται η ζώνη κραμάτωσης στην οποία φαίνεται μια πολύ καλή επιφάνεια χωρίς ρωγμές

και πόρους, ενώ επιβεβαιώνεται και η πολύ καλή συνάφεια της ζώνης κραμάτωσης με το υπόστρωμα.

Εικόνα 19:

Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με την κεραμο-μεταλλική σκόνη cermet



- Σε αυτή την εικόνα παρατηρούμε μια έντονη παρουσία δενδριτών, οι οποίοι εμφανίζονται μετά από ταχεία ψύξη. Η μικροσκληρότητα της επιφάνειας εμφανίζεται με μέση τιμή των $600 HV_{0,3N}$.

Το βάθος της κατεργασίας φτάνει κατά μέσο όρο στα $3000 \mu m$, η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ $1300-1400^{0}C$ και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει τα $940 \frac{W}{m^2}$.

Εικόνα 20:

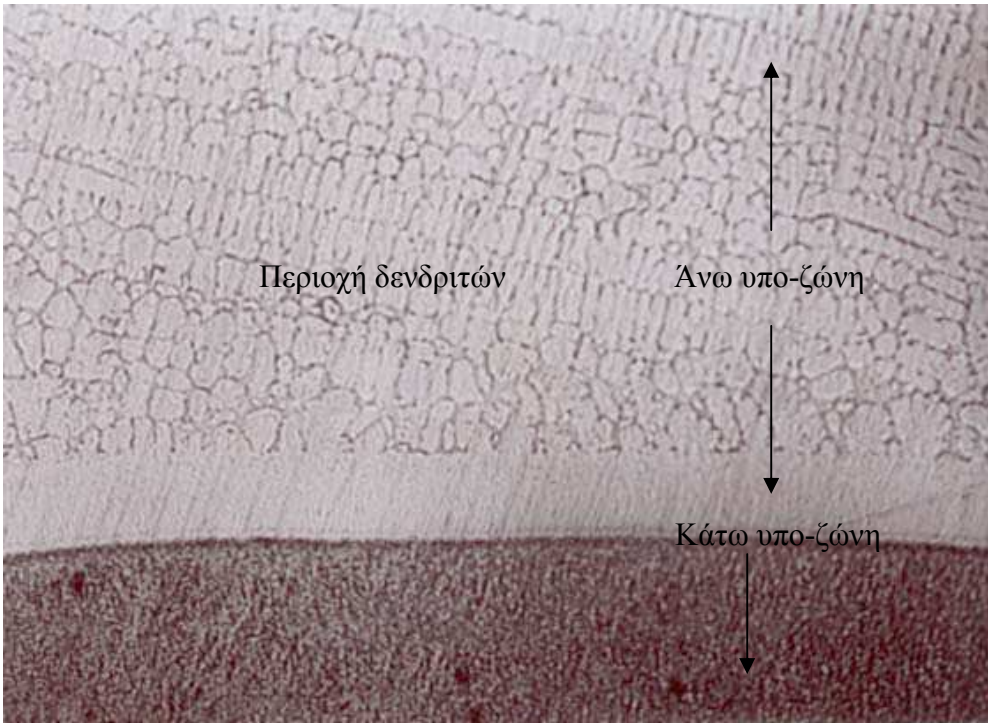
Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με τη χρήση σκόνης μολυβδαινίου



- Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρούμε την επικαλυμμένη επιφάνεια δοκιμίου του χάλυβα, η οποία φαίνεται ομοιόμορφη χωρίς ρωγμές, με μικρές περιοχές πορώδους επιφάνειας και με ιδιαίτερα καλή συνάφεια με το υπόστρωμα.

Εικόνα 21:

Κραματωμένη επιφάνεια χάλυβα με τη χρήση σκόνης μολυβδαινίου



- Στην πιο πάνω εικόνα φαίνονται δύο υπο-ζώνες, όπου, η άνω υπο-ζώνη παρουσιάζει ταχεία κραμάτωση με χοντρόκοκκη κυψελοειδή μικροδομή, με περιοχές δενδριτών, ενώ η σκληρότητα παρέμεινε σε όλο το βάθος της σταθερή στα $450HV_{0,3N}$. Αντίστοιχα, η κάτω υπο-ζώνη πιστοποιεί την επίτευξη κραμάτωσης με την συγκέντρωση του μολυβδαινίου να μειώνεται και αντίστροφα του σιδήρου να αυξάνεται. Επίσης η κατώτερη υπο-ζώνη, η οποία βρίσκεται στα όρια της διεπιφάνειας είναι εξαιρετικά λεπτόκοκκη με αντίστοιχη διατομή και παρουσιάζει ελαφρώς υψηλότερη τιμή σκληρότητας $530HV_{0,3N}$.

Η τιμή της πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, αυτής της κατεργασίας, ήταν $700\frac{W}{m^2}$, η θερμοκρασία 1300^0C και το βάθος κατεργασίας έφτασε τα $2000\mu m$.

2.1.5 Σύγκριση συμβατικής πούδρας με νανοκρυσταλλική πούδρα σε διαδικασία με τη χρήση ψεκασμού φλόγας υψηλής ταχύτητας (HVOF):

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα υλικά πούδρας που χρησιμοποιήθηκαν, η χημική σύσταση κατά βάρος, το μέγεθος των σωματιδίων σε μm και το μέγεθος των κόκκων σε nm για τα δύο είδη πούδρας, τη συμβατική και τη νανοκρυσταλλική:

Πίνακας 2.β:

Πίνακας αναλυτικών στοιχείων για τους τύπους της πούδρας που χρησιμοποιήθηκαν

Πούδρα	Χημική σύσταση (κ.β. %)	Μέγεθος σωματι-δίων σε (μm)	Μέγεθος κόκκων σε (nm)
Συμβατική	Fe-31Mo-2C	$45 \pm 5{,}5$	-------
Νανοκρυσταλλική	Fe-31Mo-2C	60 ± 10	Fe 19,8

Και οι δύο πούδρες έχουν την ίδια χημική σύσταση κατά βάρος (ένα μόριο σιδήρου, τριανταένα μόρια μολυβδαινίου και δύο μόρια άνθρακα).

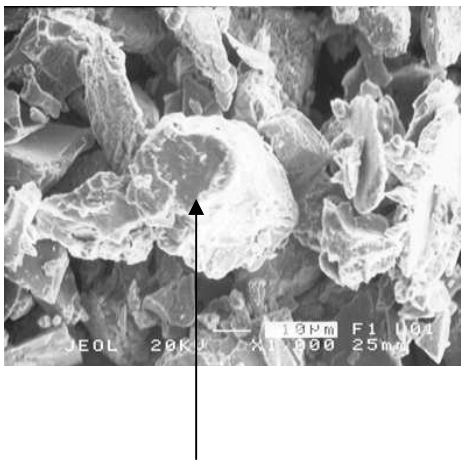
Οι διαφορές που παρατηρούνται στις δύο πούδρες είναι ότι, το μέγεθος των σωματιδί-ων της συμβατικής πούδρας είναι μικρότερο από της νανοκρυσταλλικής και ότι στη συμβατική πούδρα δεν υπάρχει μέγεθος κόκκων ενώ στη νανοκρυσταλλική υπάρχει και είναι κόκκοι σιδήρου οι οποίοι έχουν μέγεθος 19,8 nm.

- Κρυσταλλική δομή των επικαλύψεων:

Πιο κάτω φαίνονται μερικές εικόνες των δομών της επικάλυψης με συμβατική πούδρα και με νανοκρυσταλλική πούδρα:

Εικόνα 22:

Συμβατική πούδρα με μεγέθυνση Χ1000

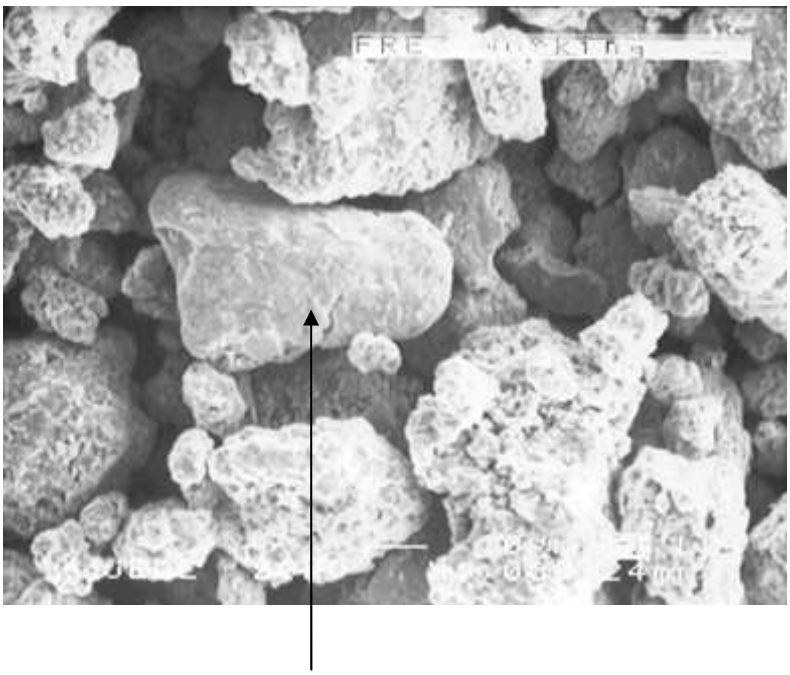


Ο κόκκος που δείχνει το βελάκι είναι κόκκος μολυβδαινίου.

Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρούμε τα σωματίδια της επικάλυψης μιας συμβατικής πούδρας, τα οποία είναι άτακτα κατανεμημένα και έχουν μεγάλα κενά μεταξύ τους.
Τα μεγάλα κενά που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων της πούδρας οφείλονται στο ότι, τα σωματίδια της συμβατικής πούδρας είναι μεγαλύτερα απ' ότι η νανοκρυσταλλική πούδρα.

Εικόνα 23:

Νανοκρυσταλλική πούδρα σε μεγέθυνση Χ1000



Σωματίδιο μολυβδαινίου.

Σε μεγέθυνση Χ1000 της νανοκρυσταλλικής πούδρας, παρατηρούμε ότι όντως τα σωματίδια μολυβδαινίου είναι μικρότερα και πιο συμπυκνωμένα χωρίς κενά μεταξύ τους. Ενώ στην συμβατική πούδρα έχουμε μεγάλα κενά μεταξύ των σωματιδίων.

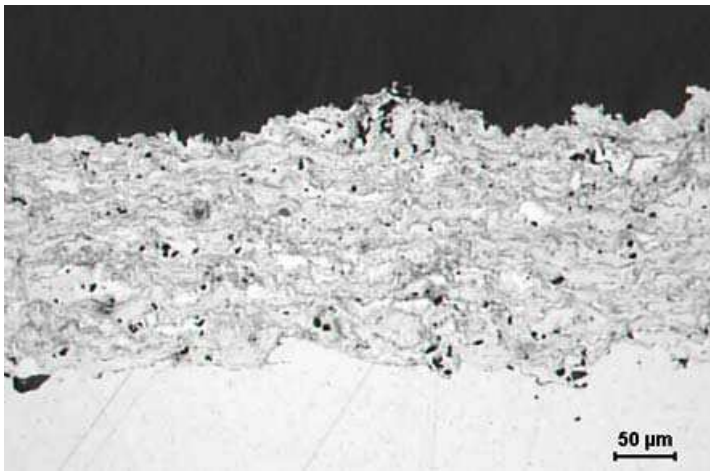
- Μικροδομή επικαλύψεων:

Στις πιο κάτω εικόνες φαίνονται οι μικροδομές των επικαλύψεων θερμικού ψεκασμού με φλόγα υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιώντας συμβατική και νανοκρυσταλλική πούδρα.
Στις μικροδομές των πιο κάτω επικαλύψεων φαίνονται καθαρά τα σωματίδια μολυβδαινίου (Mo) που βρίσκονται στην επιφάνεια της επικάλυψης.

Επικάλυψη με συμβατική πούδρα:

Εικόνα 24:

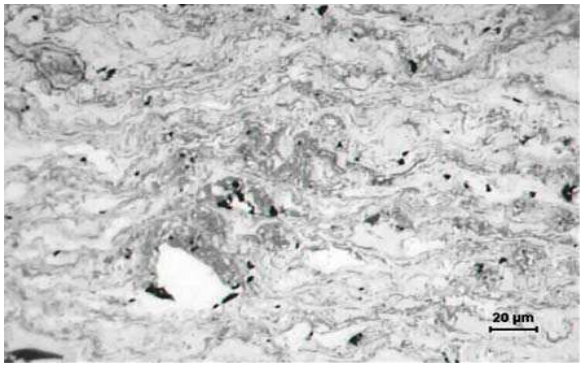
Συμβατική πούδρα σε μεγέθυνση X200



- Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρείτε ανομοιόμορφη στρώση των σωματιδίων της πούδρας.

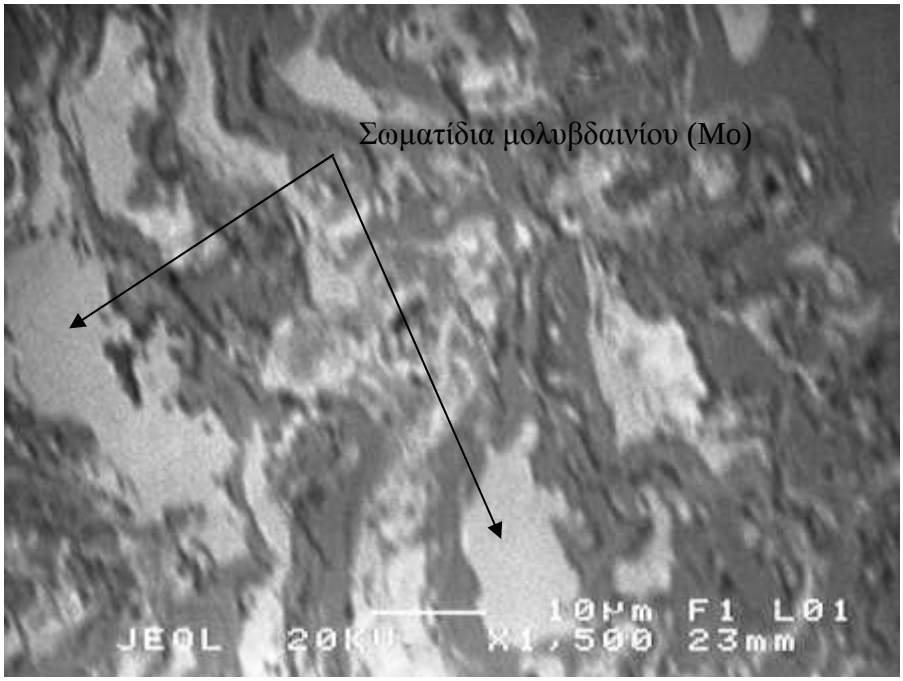
Εικόνα 25:

Συμβατική πούδρα σε μεγέθυνση X500



- Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρείται επίσης μια ανομοιόμορφη επιφάνεια. Ακόμα ότι υπάρχουν μαύρα στίγματα στην επιφάνεια της δομής της πούδρας, που αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν πόροι μεταξύ των σωματιδίων της πούδρας.

Εικόνα 26:
Συμβατική πούδρα σε μεγέθυνση Χ1500



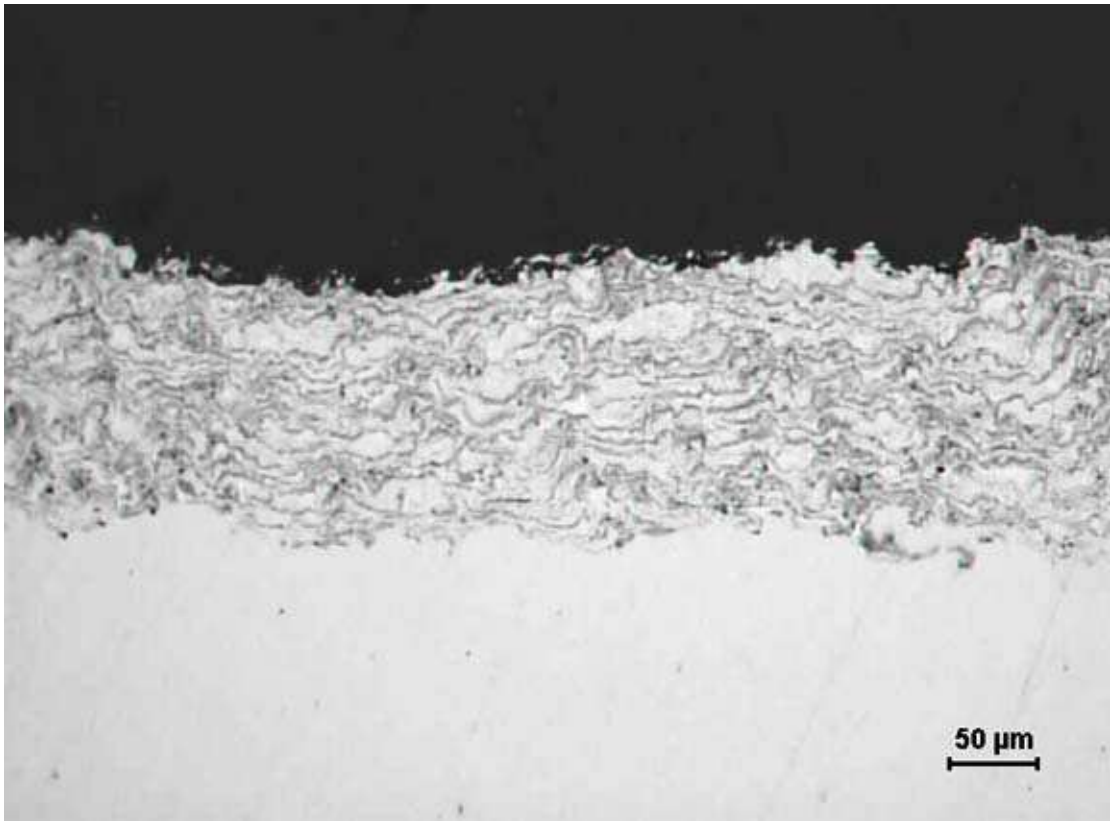
- Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρούμε άτηκτα σωματίδια μολυβδαινίου όπου καταλαμβάνουν μεγάλη επιφάνεια.

Πίνακας 2.γ:
Χαρακτηριστικά της συμβατικής πούδρας

Πάχος (μm)	Πάχος / πέρασμα (μm)	Πορώδες (%)	Μικροσκληρότητα (HV_{300})	Αντοχή πρόσφυσης (MPa)	Τραχύτητα επιφάνειας R_a (μm)
204±20	17,0	1,3±0,4	700±50	<70	7,5-10,0

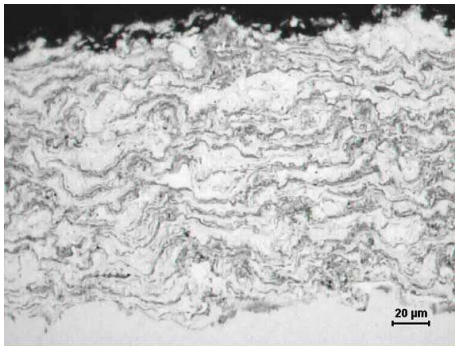
Επικάλυψη με νανοκρυσταλλική πούδρα:

Εικόνα 27:
Νανοκρυσταλλική πούδρα σε μεγέθυνση X200



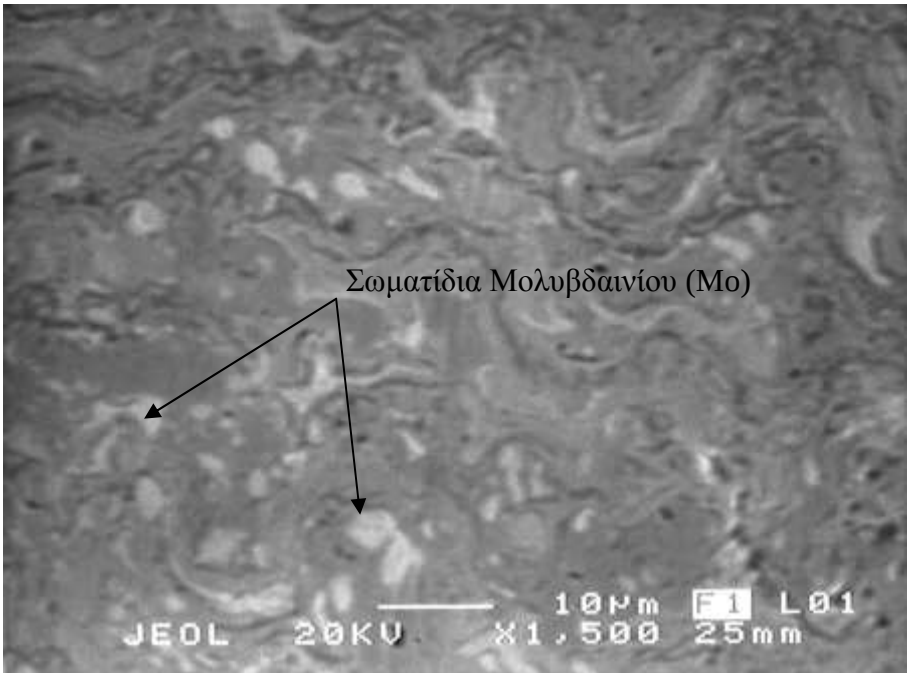
- Στην πιο πάνω εικόνα φαίνεται η στρώση της νανοκρυσταλλικής πούδρας. Σε αυτή την εικόνα παρατηρούμε ότι η επιφάνεια της επικάλυψης έχει μορφή κυμάτων, που αυτό σημαίνει ότι έχει υψηλή τραχύτητα.

Εικόνα 28:
Νανοκρυσταλλική πούδρα σε μεγέθυνση X500



- Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρείται ομοιόμορφο στρώσιμο της επικάλυψης. Επίσης δεν υπάρχουν τόσα πολλά κενά μεταξύ των σωματιδίων της πούδρας όπως στην συμβατική πούδρα.

Εικόνα 29:
Νανοκρυσταλλική πούδρα σε μεγέθυνση X1500



- Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν τόσα πολλά σωματίδια μολυβδαινίου άτηκτα όσο στην συμβατική πούδρα.

Πίνακας 2.δ:

Χαρακτηριστικά της νανοκρυσταλλικής πούδρας

Πάχος (μm)	Πάχος / πέρασμα (μm)	Πορώδες (%)	Μικροσκληρότητα (HV_{300})	Αντοχή πρόσφυσης (MPa)	Τραχύτητα επιφάνειας R_a (μm)
158±14	10,5	0,5±0,2	760±70	<70	11,0-12,0

Σύγκριση χαρακτηριστικών της συμβατικής και της νανοκρυσταλλικής πούδρας:

Από τα στοιχεία που προκύπτουν από τη χρήση των δύο πουδρών σε μεταλλικές επιφάνειες, έχουμε τις εξής διαφορές:

Πάχος:

Στη συμβατική πούδρα παρατηρούμε ότι το πάχος είναι μεγαλύτερο απ' ότι στην νανοκρυσταλλική. Αυτό οφείλεται στα μεγάλα σωματίδια μολυβδαινίου που παρατηρούνται.

Πάχος / πέρασμα:

Και στο πάχος / πέρασμα παρατηρούμε ότι η νανοκρυσταλλική πούδρα έχει μικρότερο πάχος απ' ότι η συμβατική.

Πορώδες:

Η πιο πορώδες επιφάνεια παρατηρείται στην συμβατική πούδρα εφόσον υπάρχουν άτηκτα σωματίδια στην πούδρα. Ενώ στην νανοκρυσταλλική πούδρα έχουμε μικρότερο πορώδες επιφάνειας λόγω της καλής επίστρωσης της πούδρας και των σχετικά μικρότερων σωματιδίων που έχει.

Μικροσκληρότητα:

Σε σχέση με τη μικροσκληρότητα, παρατηρείται ότι η νανοκρυσταλλική πούδρα είναι πιο σκληρή απ' ότι η συμβατική. Αυτό συμβαίνει γιατί στη νανοκρυσταλλική πούδρα έχουμε μικρότερα σωματίδια και λιγότερο πορώδες επιφάνειας, ιδιότητες που παραπέμπουν σε πιο σφικτούς κρυσταλλικούς δεσμούς μεταξύ των σωματιδίων της πούδρας.
Αντιθέτως στη συμβατική πούδρα τα σωματίδια είναι μεγαλύτερα, υπάρχει μεγαλύτερη πορώδες επιφάνεια και άρα είναι φυσικό να μην υπάρχουν δυνατοί κρυσταλλικοί δεσμοί μεταξύ των σωματιδίων.

Αντοχή πρόσφυσης:

Η αντοχή πρόσφυσης παραμένει η ίδια και για τις δύο πούδρες.

Επιφανειακή τραχύτητα:

Η επιφανειακή τραχύτητα είναι μεγαλύτερη στην νανοκρυσταλλική πούδρα. Ο λόγος είναι γιατί, όπως είδαμε και στις πιο πάνω εικόνες, παρουσιάζεται μια εικόνα κυμάτων. Επίσης η τραχύτητα είναι αυξημένη γιατί η νανοκρυσταλλική πούδρα έχει μικρότερα και πιο κατεργασμένα σωματίδια και άρα κατά το στρώσιμο της παρουσιάζει υψηλή τραχύτητα.
Αντιθέτως, η συμβατική πούδρα δεν έχει μεγάλη τραχύτητα λόγω των μεγαλύτερων άτηκτων σωματιδίων που έχει.

- Διαφορές των δυο πουδρών με ακτίνες Χ (XRD):

Κατά τη μελέτη με περίθλαση ακτινών Χ των δύο πουδρών φάνηκε ότι:

1. Λόγω του διαφορετικού τρόπου παραγωγής των πουδρών, εμφανίζονται διαφορετικές ενώσεις στις πούδρες.
2. Τα διάφορα οξείδια που εμφανίζονται κατά την διάρκεια του ψεκασμού στις πούδρες, όπως είναι το οξείδιο του σιδήρου (FeO) και ο μαγνητίτης (Fe_3O_4), είναι

επιθυμητά γιατί δρουν ως στερεά λιπαντικά στην επικάλυψη. Τα πιο πάνω οξείδια δημιουργούνται κατά την διαδικασία του θερμικού ψεκασμού.

3. Κατά την επικάλυψη της νανοκρυσταλλικής πούδρας παρατηρούνται άμορφες φάσεις.

2.2 Τι είναι τα νανοσύνθετα υλικά:

Τα νανοσύνθετα υλικά είναι τα υλικά τα οποία αποτελούνται από δύο ή περισσότερα υλικά, ένα από τα οποία έχει νανοδιαστάσεις. Στα νανοσύνθετα υλικά έχουμε συνδυασμό δύο τύπων υλικού, τη μήτρα και την ενίσχυση, όπου:

- Μήτρα:

Η μήτρα περιβάλλει και στηρίζει το ενισχυτικό υλικό, διατηρώντας τη θέση του στο χώρο.

- Ενίσχυση:

Η ενίσχυση δίνει στο σύνθετο υλικό τις επιθυμητές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, συμπληρώνοντας και ενισχύοντας αυτές της μήτρας.

Ο συνδυασμός της μήτρας και των ενισχυτικών υλικών δίνει στο νέο τελικό υλικό ιδιότητες οι οποίες δεν υπάρχουν στα επιμέρους υλικά. Λόγω του τεράστιου αριθμού μητρών και ενισχυτικών υλικών που υπάρχουν, υπάρχει ένα μεγάλο εύρος συνδυασμών, άρα και πληθώρα τελικών νανοσύνθετων υλικών.

Ένα παράδειγμα νανοσύνθετου υλικού είναι μία πολυμερική μήτρα με ενίσχυση από νανοσωλήνες άνθρακα.

Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι υλικά κατασκευασμένα από κυλινδρικά μόρια άνθρακα, έχουν διάμετρο μερικών νανομέτρων (nm), μικρότερα δηλαδή κατά 50000 φορές από μια ανθρώπινη τρίχα, και μήκος μερικά εκατοστά. Έχουν πολλές χρήσιμες ιδιότητες όπως, καλή θερμική αγωγιμότητα, υψηλές μηχανικές ιδιότητες, μοναδικές ηλεκτρικές, οπτικές και μαγνητικές ιδιότητες. Έχουν εφαρμογή σε πολλά πεδία όπως τα υλικά, την νανοτεχνολογία, την ηλεκτρονική και την οπτική.

2.2.1 Εισαγωγή στα πολυμερικά νανοσύνθετα υλικά:

Τα πολυμερικά νανοσύνθετα υλικά, είναι τα υλικά εκείνα τα οποία αποτελούνται από πολυμερικά σύνθετα και νανοϋλικά. Η κάθε μια κατηγορία υλικού έχει τις ξεχωριστές της ιδιότητες, όπως:

- Πολυμερή:

Είναι υλικά τα οποία κατασκευάζονται από πολυμερισμό των υδρογονανθράκων. Έχουν την ιδιότητα της υψηλής αντοχής σε εφελκύστηκες δυνάμεις, ενώ ανάλογα με το τρόπο κατασκευής τους (Π.χ. θερμική κατεργασία πολυμερούς) έχουν αντοχή στη θερμότητα, αντοχή στην υγρασία και τους εξωτερικούς παράγοντες, δεν διαβρώνονται δηλαδή εύκολα. Είναι επίσης κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και της θερμότητας.

- Σύνθετα:

Τα σύνθετα υλικά είναι τα υλικά τα οποία έχουν παρόμοια κατασκευή με τα πολυμερή. Έχουν επίσης τις ίδιες ιδιότητες με τη διαφορά ότι αποτελούνται από δύο ή περισσότερα υλικά. Έχουν πολύ καλή αντοχή στον εφελκυσμό και είναι επίσης κακοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το νάιλον.

- Νανοϋλικά:

Τα νανοϋλικά είναι τα υλικά τα οποία έχουν τη μια τους τουλάχιστον διάσταση μικρότερη από $100nm$. Τέτοια υλικά είναι οι νανοσωλήνες άνθρακα οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από μόρια άνθρακα. Έχουν εξαιρετικές ιδιότητες, όπως πολύ υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και σε μεγάλα μήκη μπορούν να σηκώσουν βάρος πολύ μεγαλύτερο από το δικό τους. Οι νανοσωλήνες άνθρακα, σε συνδυασμό με άλλα υλικά μπορούν να προσδώσουν ελαφριά τελικά υλικά με ακόμα πιο εξελιγμένες δυνατότητες.
Άρα με την κατάλληλη επεξεργασία, τα πιο πάνω υλικά μπορούν να προσδώσουν ένα υλικό με πολύ διαφορετικές ιδιότητες. Ουσιαστικά, ο συνδυασμός των πιο πάνω υλικών μπορεί να μας δώσει δύο ή περισσότερες επιφανειακές δομές, ανάλογα με τα υλικά πρόσμειξης οι οποίες συμπεριφέρονται πλέον ως μια δομή.

2.2.1.1 Μέθοδοι επεξεργασίας πολυμερικών νανοσύνθετων:

Οι κυριότερες μέθοδοι επεξεργασίας των πολυμερικών νανοσύνθετων είναι οι εξής:

2.2.1.1.1 Υγρή εναπόθεση (Wet lay-up):

Η υγρή εναπόθεση πάνω στο υλικό (Wet lay-up) είναι η μέθοδος επεξεργασίας ρητινών όπου, οι ρητίνες τοποθετούνται πάνω ή μέσα σε καλούπι. Πριν την τοποθέτηση των ινών και της ρητίνης, τα καλούπια θα πρέπει να είναι έτοιμα με τη χρήση πολυβινυλαλκοόλης ή μη πυριτιούχου κεριού. Τα υλικά αυτά συνίστανται για την καλύτερη αποδέσμευση της ενίσχυσης.

Ανάλογα με το σχήμα του καλουπιού, οι ρητίνες κόβονται σε μικρά κομμάτια ή τοποθετούνται ολόκληρες. Εφόσον τοποθετηθούν οι ρητίνες στο καλούπι, χύνεται υγρό για την ύγρανση των ρητινών και την απομάκρυνση του οξυγόνου από το καλούπι και για την επεξεργασία των ρητινών.

Η επεξεργασία των ρητινών γίνεται σε θερμοκρασίες δωματίου με τη χρήση επιταχυντή και καταλύτη. Εάν χρησιμοποιείται καυτός επεξεργαστής δεν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιηθεί επιταχυντής. Μετά την κρύα επεξεργασία των ελασμάτων συνιστάται βουλκανισμός, όπου αναλόγως των κατασκευαστικών οδηγιών των ρητινών η διαδικασία γίνεται για δύο ώρες στους 80^0C ενώ για δεκαέξι ώρες γίνεται στους 40^0C.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται τεχνικές για την σκλήρυνση ή για πιο λεία επιφάνεια των επιφανειακών δομών των ρητινών. Οι τεχνικές αυτές είναι:

❖ Τοποθέτηση στρώματος mat σκληρής επιφανειακής δομής:

Η τοποθέτηση στρώματος mat σκληρής επιφανειακής δομής, γίνεται για την σκλήρυνση της επιφάνειας των ρητινών.

❖ Τοποθέτηση ζελέ-πολτού:

Η τοποθέτηση ζελέ-πολτού γίνεται για την παρουσία πλούσιας ρητινούχας επιφάνειας, πιο λεία εμφάνιση και επιφανειακή προστασία.

Επίσης, για την τελειωτική βελτίωση της επιφανειακής δομής χρησιμοποιείται ένα στρώμα με ενσωματωμένο ύφασμα για ενίσχυση ή με ανάμειξη ρητίνης για λεία επιφάνεια. Το στρώμα αυτό ουσιαστικά παίζει το ρόλο του αντιδιαβρωτικού υλικού.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

- Είναι απλή μέθοδος και χρησιμοποιείται ευρέως.
- Το κόστος του εξοπλισμού είναι χαμηλό και επίσης δεν χρειάζεται εξαιρετικά ειδικευμένο εργατικό δυναμικό.
- Δυνατότητα παραγωγής λεπτών φύλλων σχετικά υψηλής περιεκτικότητας σε ίνες.

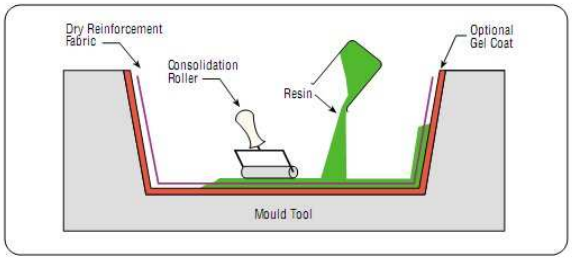
Μειονεκτήματα της μεθόδου:

- Σε πρωτογενή μορφή, οι ρητίνες δεν είναι ελεγχόμενες και δεν μπορούν να δοκιμαστούν σε αντοχή, σε αντίθεση με τις ίνες.

- Κατά τη τοποθέτηση των ρητινών, οι ρητίνες έχουν μικρό μοριακό βάρος και λόγω αυτού μπορεί να είναι επιβλαβής για την υγεία.
- Επίσης κατά το βουλκανισμό των ρητινών και ιδιαίτερα σε ρητίνη πολυεστέρα, παράγονται αναθυμιάσεις.

Εικόνα 30:

Μηχανισμός τοποθέτησης ζελέ πολτού



2.2.1.1.2 Μέθοδος έλξης (Pultrusion):

Η μέθοδος έλξης (Pultrusion) είναι μια συνεχής διαδικασία παρασκευής σύνθετων υλικών κατά την οποία, ενισχυμένες ίνες έλκονται διαμέσου ρητίνης, δημιουργώντας ένα σύνθετο φύλλο, το οποίο στη συνέχεια υποβάλλεται σε πολυμερισμό. Σε αυτή τη μέθοδο μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά είδη ρητινών όπως είναι ο πολυεστέρας, η πολυουρεθάνη, ο βινυλεστέρας και τα εποξικά υλικά..

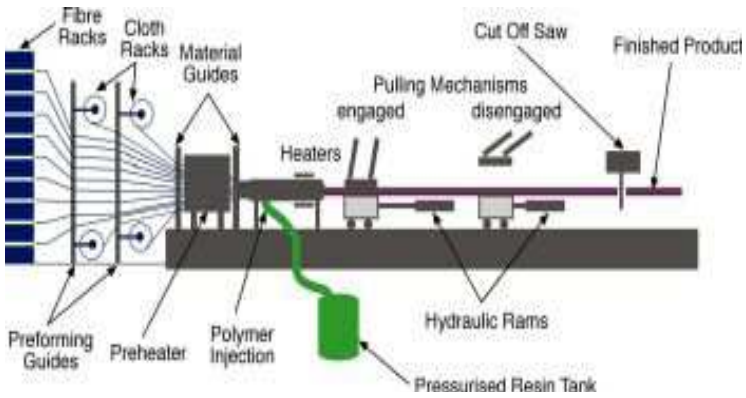
Ωστόσο η μέθοδος της έλξης σωματιδίων δεν περιορίζεται σε ρητίνες σκληρού πλαστικού. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμοπλαστικές μήτρες, όπως το τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο (PBT), με τη χρήση σκόνης από γυαλί για εμποτισμό των ινών ή περιβάλλοντας το υλικό με λεπτό φύλλο από θερμοπλαστικό υλικό της μήτρας το οποίο στη συνέχεια τήκεται.

Οι μηχανισμοί έλξης σωματιδίων που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι δύο τύπων:

- Παλινδρομικού τύπου (hand-over-hand).
- Συνεχής (cat-track).

Εικόνα 31:

Μηχανισμός συστήματος έλξης σωματιδίων (Pultrusion)



2.2.1.1.3 Καλούπια παραγωγής θερμοσκληραινόμενου πλαστικού με τη χρήση ρητίνης:

Η μέθοδος παραγωγής θερμοσκληραινόμενου πλαστικού σε καλούπια είναι μια αυτοματοποιημένη μέθοδος στην οποία χρησιμοποιούνται τρείς τύποι καλουπιών. Οι τύποι των καλουπιών που χρησιμοποιούνται περιγράφονται πιο κάτω:

- Καλούπωμα με μεταφορά ρητίνης (Resin Transfer Molting):

Αφορά τις συσκευές που είναι εξοπλισμένες με ένα εξωτερικό σύστημα συλλογής και ανάμειξης πλαστικού και ρητίνης, όπου αναμειγνύονται τα δύο προαναφερθέντα υλικά και παρέχονται στο καλούπι. Αφού γίνει η μεταφορά του αναμεμιγμένου υλικού στο καλούπι, τότε ξεκινά η θερμική σκλήρυνση του υλικού. Όταν το υλικό σκληρύνει, ανοίγει η πάνω σιαγόνα του καλουπιού και μετακινείται το τελικό προϊόν, ενώ τη θέση του καταλαμβάνει ένα νέο υλικό και η διαδικασία αρχίζει πάλι από την αρχή.

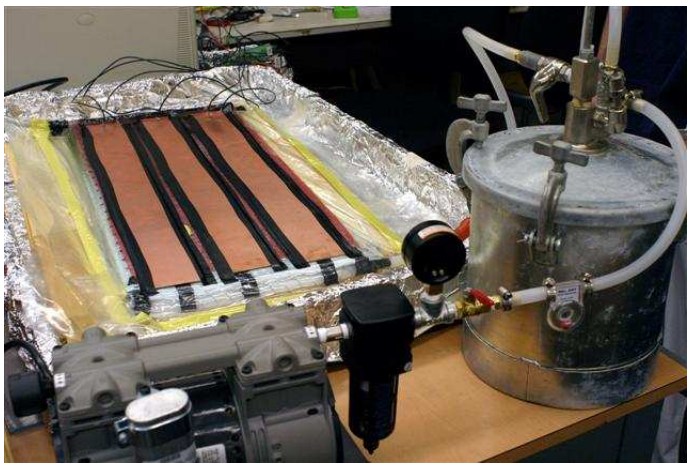
Επίσης στο καλούπωμα ρητίνης, η ρητίνη εκχύνεται ή βυθίζεται σε ένα καλούπι το οποίο περιέχει ίνες από ομογενοποιητή κάτω από χαμηλή πίεση.

Η συσκευή αυτή έχει υψηλή και γρήγορη παραγωγή καθώς έχει μικρό κύκλο παραγωγής. Η αυτοματοποίηση αυτού του τύπου των καλουπιών έχει το πλεονέκτημα του καλού φινιρίσματος, της σταθερότητας των διαστάσεων, των καλών μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού, της κατασκευής υλικών μικρών διαστάσεων και του χαμηλού κόστους έγχυσης.

Το μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι, έχει υψηλό κόστος εξοπλισμού.

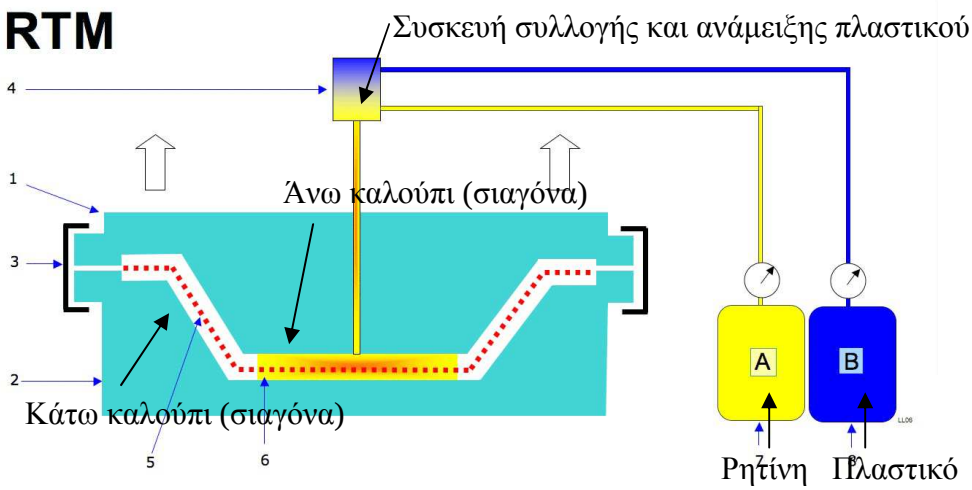
Εικόνα 32:

Μηχανισμός παραγωγής θερμοσκληραινόμενου πλαστικού με τη χρήση ρητίνης



Εικόνα 33:

Αναλυτικός μηχανισμός καλουπιών παραγωγής θερμοσκληραινόμενου πλαστικού με τη χρήση ρητίνης



Χρήση της μεθόδου:

Η μέθοδος της μεταφερόμενης ρητίνης σε καλούπια χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των ημιαγωγών. Συγκεκριμένα η ενθυλάκωση της συσκευασίας γίνεται με αυτή τη μέθοδο, λόγω της ακρίβειας του εξοπλισμού και του χαμηλού χρονικού διαστήματος της εργασίας.

Καλούπια συμπίεσης:

Τα καλούπια συμπίεσης είναι οι συσκευές εκείνες όπου οι διάφορες ενώσεις βρίσκονται μέσα στο καλούπι, ενώ στα μεταφερόμενα καλούπια, οι διάφορες ενώσεις μεταφέ-

ρονται με τα υλικά πρόσμειξης. Αφού μπουν τα υλικά στο καλούπι, παράγεται θερμότητα και πίεση για τη δημιουργία του θερμοσκληραινόμενου πλαστικού.

Τα καλούπια συμπίεσης είναι συνήθως κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά ή μέταλλα (αλουμίνιο ή ατσάλι). Η διαφορά στο υλικό κατασκευής μεταξύ των δύο καλουπιών είναι ότι το μέταλλο αντέχει περισσότερο από τα σύνθετα υλικά, παραμορφώνεται λιγότερο, έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ότι έχει καλύτερη μεταφορά θερμότητας, όμως έχει μεγαλύτερο κόστος.

Ένα μεγάλο μειονέκτημα αυτής της συσκευής είναι ότι κατά το κλείσιμο των καλουπιών (άνω και κάτω σιαγόνων) για την έναρξη της διαδικασίας συμπίεσης, παρουσιάζεται έκλυση αέρα με αποτέλεσμα την αλλοίωση του τελικού προϊόντος. Πολλές όμως λύσεις παρουσιάζονται σε αυτό το πρόβλημα, μερικές από αυτές είναι:

a. Η παράταση της ενίσχυσης πέρα από τη κοιλότητα. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι παρουσιάζονται απώλειες ρητίνης της τάξης των 25%.

b. Κατασκευή αεραγωγών και δημιουργία κενού στο καλούπι όπου και αυτή η διαδικασία βελτιώνει την ποιότητα.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι:

1) Όσο μεγαλύτερη κατασκευή υπάρχει τόσο καλύτερες ιδιότητες θα προκύψουν, με την προδιαγραφή ότι γίνονται λιγότερες κινήσεις των ινών.

2) Λόγω της χαμηλής πίεσης έγχυσης μπορεί να γίνει ευέλικτος σχεδιασμός, κατά τη φάση της συμπίεσης και αυτό θα επιφέρει χαμηλότερο κόστος.

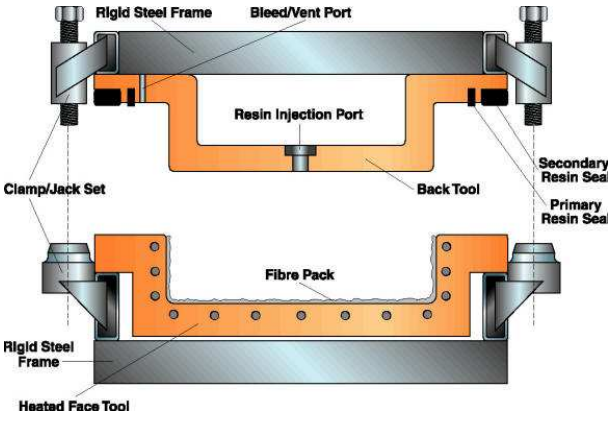
3) Δυνατότητα ταχείας παρασκευής με αλλαγή της παροχής έγχυσης.

4) Εύκολη δυνατότητα διαφοροποίησης των ενισχύσεων.

5) Παραγωγή προϊόντων με υψηλή και χαμηλή ποιότητα.

Εικόνα 34:

Μηχανισμός καλουπιών συμπίεσης



2.2.1.1.4 Καλούπωμα με μεταφορά ρητίνης υποβοηθούμενη από κενό (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding):

Η μέθοδος του καλουπώματος με μεταφορά ρητίνης υποβοηθούμενη από κενό (VARTM) έχει άμεση σύνδεση με τη μέθοδο του καλουπώματος με μεταφορά ρητίνης (RTM) και υποβοηθά στην καλύτερη ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Ουσιαστικά η μέθοδος αυτή τίθεται σε λειτουργία όταν το καλούπι κλείσει και πριν την έναρξη της συμπίεσης. Μια αντλία κενού απορροφά τον αέρα που εκλύεται στα καλούπια, ενώ μια άλλη αντλία υποβοηθά τη ρητίνη να εισέλθει στο καλούπι και να εμποτίσει το υπό σκλήρυνση υλικό. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ πολύπλοκη στην εφαρμογή, όμως δίνει πολύ καλά αποτελέσματα. Επίσης η εφαρμογή της λαμβάνει χώρα κυρίως σε μεταλλικά καλούπια συμπίεσης.

Διαφορές με τη μέθοδο RTM:

- Στη μέθοδο RTM το υπό σκλήρυνση υλικό και η ρητίνη μπαίνουν πριν να κλείσουν τα καλούπια και ξεκινά αμέσως η διαδικασία συμπίεσης και σκλήρυνσης. Αντίθετα, στη μέθοδο VARTM, το υπό σκλήρυνση υλικό μπαίνει στο καλούπι, το καλούπι κλείνει και αφού εισέλθει πλήρως η ρητίνη αρχίζει η διαδικασία συμπίεσης και σκλήρυνσης του υλικού.

Πλεονεκτήματα της διαδικασίας VARTM:

- Χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού από τη κλασσική μέθοδο RTM.
- Συντομότερη έναρξη της διαδικασίας.
- Ευέλικτη λειτουργία και κατάργηση των ενώσεων στο καλούπι.
- Ικανότητα παρασκευής μεγάλων μεγεθών θερμοσκληραινόμενων πλαστικών.

Μειονεκτήματα της διαδικασίας:

- Η δημιουργία μεγάλου κενού στο καλούπι καθιστά δύσκολο να ελεγχθεί το τελικό πάχος των προ-διαμορφωμάτων και ο όγκος των ινών.
- Λόγω της πολυπλοκότητας της διαδικασίας η βελτιστοποίηση του υλικού γίνεται με μεγάλο κόστος.

2.2.1.1.5 Επεξεργασία σε αυτόκλειστο σύστημα (Autoclave processing):

Η μέθοδος της επεξεργασίας σε αυτόκλειστο σύστημα (Autoclave processing) είναι η διαδικασία κατά την οποία θερμοσκληραινόμενα πλαστικά μπαίνουν σε ένα «φούρνο» όπου και επεξεργάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες και σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Η επεξεργασία αυτή βελτιώνει τις επιφανειακές και μηχανικές ιδιότητες του υλικού.

Εικόνα 35:

Αυτόκλειστο σύστημα



❖ Στην πιο πάνω εικόνα φαίνεται ο «φούρνος» όπου εφαρμόζεται η μέθοδος της επεξεργασίας σε αυτόκλειστο σύστημα.

Παράμετροι της επεξεργασίας αυτόκλειστου συστήματος:

Τοποθέτηση ινών:

Η τοποθέτηση ινών σε αυτόκλειστο σύστημα είναι μια αποτελεσματική διαδικασία που συμβάλλει ως προς τη καλυτέρευση του κόστους κατασκευής. Είναι μια εξαιρετικά αυτοματοποιημένη διαδικασία που μπορεί να αντικαταστήσει την έντονη εργασία της διάταξης των σύνθετων υλικών πριν από την επεξεργασία με το αυτόκλειστο σύστημα.. Η διαδικασία της τοποθέτησης ινών συνδυάζει τη διάλυση νημάτων με τη τοποθέτηση αυτόματων ταινιών. Επίσης είναι πιο κατάλληλη για την παραγωγή μεσαίου μεγέθους τμημάτων με μέτριο έως υψηλό βαθμό καμπυλότητας όπου παρουσιάζεται υψηλό επίπεδο διαρθρωτικής ενοποίησης.

Έλεγχος ποιότητας τελικού προϊόντος:

Ο έλεγχος της ποιότητας του τελικού προϊόντος γίνεται για τη βελτίωση της συνοχής και την αποτελεσματικότερη λειτουργία του συστήματος παραγωγής. Ουσιαστικά, με αυτούς τους ελέγχους γίνεται καλύτερο το παραγωγικό σύστημα καθώς προλαμβάνονται οι επιδράσεις που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις του υλικού, το περιβάλλον και τις τυχόν δυσλειτουργίες του συστήματος με την εφαρμογή της μεθόδου επανάληψης του κύκλου παραγωγής.

Με την εφαρμογή της επανάληψης, το τελικό προϊόν έχει υψηλότερης ποιότητας συστατικά και μειωμένο κόστος κατασκευής.

Η διαδικασία του αυτόκλειστου συστήματος υπόκειται σε ελέγχους κατά την εξαγωγή του τελικού προϊόντος. Ο έλεγχος γίνεται με αισθητήρια για τη βελτιστοποίηση αποτελεσματικότητας-κόστους.

Εφαρμογές:

Η μέθοδος της επεξεργασίας σε αυτόκλειστο σύστημα εφαρμόζεται στους εξής κλάδους της βιομηχανίας:

- Αεροδιαστημική βιομηχανία.
- Αεροπορική βιομηχανία.

Πλεονεκτήματα:

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

- Επεξεργασία και επιδιόρθωση σύνθετων και θερμοσκληραινόμενων υλικών σε υψηλή θερμοκρασία της τάξης των 420 ^{0}C.
- Δυνατότητα παραγωγής μεγάλων τεμαχίων.

2.2.1.1.6 Περιέλιξη νήματος (Filament winding):

Η μέθοδος της περιέλιξης νήματος (Filament winding) είναι η διαδικασία κατά την οποία ίνες (συνήθως άνθρακα ή γυαλιού) αφού εμβαπτιστούν σε ρητίνες, τυλίγονται σε αρσενικά καλούπια ή ατράκτους.

Η διαδικασία αυτή είναι πλήρως αυτοματοποιημένη για να επιτρέπεται ο πλήρης έλεγχος του τεντώματος των νημάτων (ινών). Για παράδειγμα, όταν τα νήματα εφαρμόζονται με μεγάλο τέντωμα, τότε παρουσιάζουν υψηλότερη ακαμψία και αντοχή, ενώ όταν εφαρμόζονται με μικρότερο, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία.

Επίσης η γωνία εφαρμογής των νημάτων παίζει μεγάλο ρόλο στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, μια μεγάλη γωνία εφαρμογής (κρίκος) θα προβάλει μεγάλη αντίσταση σε δύναμη καταστροφής, ενώ μια μικρή γωνία εφαρμογής (κλειστή γωνία ή ελικοειδές) θα προβάλει μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό.

- Τοποθέτηση ινών σε αρσενικά καλούπια:

Στα αρσενικά καλούπια, αφού τοποθετηθούν οι ίνες, στη συνέχεια τοποθετείται η ρητίνη. Μετά τα καλούπια μπαίνουν σε φούρνο για τη σκλήρυνση της ρητίνης.

❖ Τοποθέτηση ινών σε ατράκτους:

Οι άτρακτοι τοποθετούνται καταρχάς σε εργαλειομηχανές CNC, όπου περιστρέφονται σε χαμηλή ταχύτητα. Ο τρόπος τοποθέτησης των ινών στις ατράκτους, διαχωρίζει αυτή τη διαδικασία σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι:

1. Τοποθέτηση ινών σε ατράκτους όπου το εργαλείο τοποθέτησης βρίσκεται απέναντι από την άτρακτο και κινείται σε οριζόντια θέση:

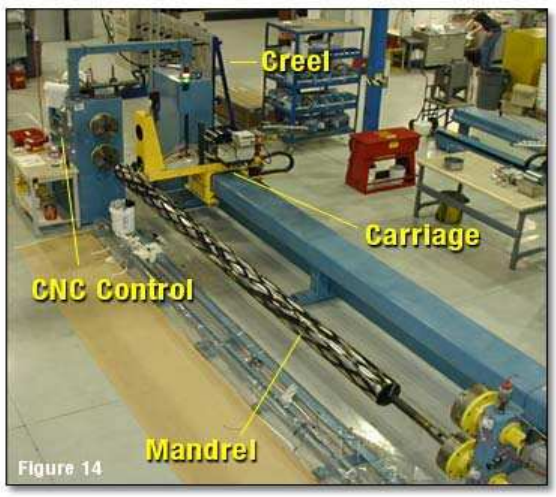
Κατά την έναρξη της περιστροφής της ατράκτου, ένα κινούμενο μέρος της εργαλειομηχανής αρχίζει και τοποθετεί ίνες οι οποίες είναι καταρχάς εμβαπτισμένες σε ρητίνες. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να γεμίσει η άτρακτος. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, η άτρακτος μπαίνει σε φούρνο για τη σκλήρυνση του υλικού.

2. Τοποθέτηση ινών σε ατράκτους όπου το εργαλείο τοποθέτησης βρίσκεται ακριβώς πάνω από την άτρακτο και κινείται σε οριζόντια θέση:

Η διαδικασία αυτή είναι η ίδια με την πιο πάνω, με τη διαφορά ότι το εργαλείο τοποθέτησης των ινών βρίσκεται ακριβώς πάνω από την περιστρεφόμενη άτρακτο. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι, είναι πιο αργή και πιο χρονοβόρα, σε σύγκριση με την πρώτη διαδικασία, η οποία είναι πιο γρήγορη.

Εικόνα 36:

Ελικοειδής νημάτωση με άτρακτο



❋ Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Υψηλή αντοχή νημάτων.
- Χρησιμοποίηση μεγάλου όγκου ινών.
- Επισκευή και επούλωση εξαρτημάτων που υπέστησαν ζημιά.
- Χρησιμοποίηση υλικών χαμηλού κόστους και με χαμηλό ιξώδες.
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης.

❋ Χρήσεις της μεθόδου:

Οι χρήσεις της μεθόδου είναι οι εξής:

- Σε σωλήνες.
- Σε κουπιά.
- Σε πιρούνια ποδηλάτων.
- Σε πόλους μεταβίβασης τάσης.
- Για την κατάλληλη πίεση σε πυραυλικά σκάφη.
- Σε θήκες ασφαλειών και λυχνίες σηματοδότησης.
- Σε κεραίες γιότ.
- Σε δοχεία πίεσης.

2.2.1.1.7 Τοποθέτηση ινών (Fiber placement):

Η μέθοδος της τοποθέτησης ινών (Fiber placement) είναι η διαδικασία κατά την οποία αναβαθμισμένες ίνες (Advanced Fibers) παρασκευάζονται, θερμαίνονται και συμπιέζονται μέσω κυλίνδρου πάνω σε επιφάνεια. Η τοποθέτηση των ινών πάνω στις διάφορες επιφάνειες γίνεται με ρομποτικούς μηχανισμούς καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Η τοποθέτηση τους γίνεται σε γωνίες των 0^0, 45^0 και 90^0 και η εφαρμογή τους γίνεται πάνω σε επιφάνειες που συνήθως είναι άτρακτοι τριγωνικού, κυλινδρικού ή άλλου πολύπλοκου σχήματος.

Εικόνα 37:

Μηχανισμός τοποθέτησης ινών σε άτρακτο τύπου ισοσκελούς τριγώνου



Η κατασκευή τους είναι από ίνες άνθρακα (γνωστές και ως τίλματα) και είναι εμποτισμένες σε εποξική ρητίνη. Οι διαστάσεις των ινών είναι περίπου 1.25 cm μήκος και 127 μm πάχος. Η χωρητικότητα της δέσμης ινών είναι 12 έως και 32 τίλματα ενώ η πορεία πλάτους των ινών, εάν τοποθετηθούν σε σειρά, είναι 4 έως και 10 cm.

- Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Δυνατότητα δημιουργία φύλλων.
- Μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορες γωνίες και παρουσιάζουν πολύ καλές ιδιότητες ως προς τις εφελκυστικές δυνάμεις, που είναι ίσες ή μεγαλύτερες από αυτές των μετάλλων.
- Παρουσιάζουν ισοδύναμο βάρος με τα μέταλλα.

- Εφαρμογές της μεθόδου:

Οι εφαρμογές της μεθόδου είναι οι εξής:

- Σε αεροσκάφη.
- Σε βιομηχανικά προϊόντα.

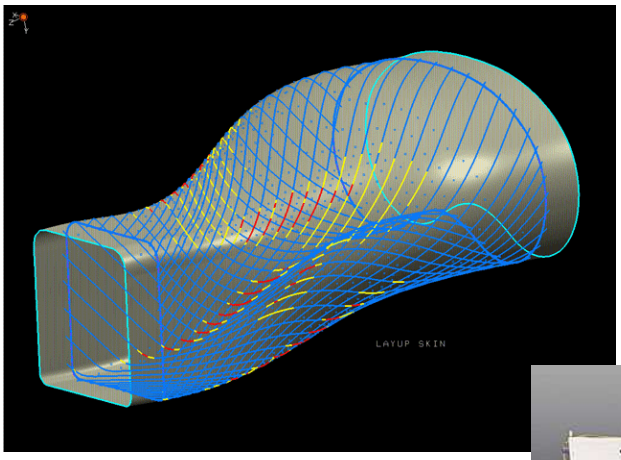
- Για την κατασκευή μεγάλης κλίμακας πολύπλοκων δομών και σχημάτων σύνθετων υλικών.

Εικόνα 38 (Αριστερά):

Σχεδιαστική εναπόθεση ινών σε πολύπλοκου σχήματος σωλήνα

Εικόνα 39 (Δεξιά):

Εναπόθεση ινών σε άτρακτο πολύπλοκου σχήματος





2.2.1.2 Τεχνικές χαρακτηρισμού νανοσύνθετων:

- Χαρακτηρισμός της χημικής σύστασης & της δομής επιφανειών και λεπτών επιστρώσεων:

Οι τεχνικές χαρακτηρισμού της χημικής σύστασης και της δομής επιφανειών και λεπτών επιστρώσεων, είναι οι τεχνικές ή οι διαδικασίες όπου τα διάφορα υλικά (νανοσύνθετα, κρυσταλλικά κ.τ.λ.), τοποθετούνται σε ειδικές συσκευές όπου παρατηρείται η επιφανειακή τους δομή.

Ο δομικός και χημικός χαρακτηρισμός επιφανειών και λεπτών επιστρώσεων αφορά την ταυτοποίηση των στοιχείων και των ενώσεων που υπάρχουν πάνω ή κοντά στην επιφάνεια ενός υλικού, καθώς και την κατανομή τους σε βάθος και σε επιφάνεια. Οι πλέον δημοφιλείς, διαθέσιμες εμπορικά και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές καταγράφονται στον Πίνακα 2.ε.

Πίνακας 2.ε: Ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι χαρακτηρισμού της χημικής σύστασης επιφανειών και επιστρώσεων.

XRD	X-ray diffraction techniques	Τεχνική σκέδασης ακτινών Χ
SEM/EDX	Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray	Μικροσκοπία σάρωσης ηλεκτρονίων/ενεργειακής κατανομής ακτίνων Χ
AES	Auger Electron Spectroscopy	Φασματοσκοπία ηλεκτρονίων Auger
XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy	Φασματοσκοπία φωτοηλεκτρονίων ακτίνων Χ
RBS	Rutherford BackScattering	Φασματοσκοπία οπισθοσκέδασης Rutherford
SIMS	Secondary-Ion Mass Spectroscopy	Φασματοσκοπία μάζης δευτερογενών ιόντων
LEED	Low energy electron diffraction	Περίθλαση ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας
RHEED	reflection high energy electron diffraction	Ανάκλαση ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας

Οι παραπάνω τεχνικές, μαζί με την απλή SEM, την ηλεκτρονική μικροσκοπία διαπέρασης (transmission electron microscopy-TEM) και την περίθλαση ακτινών Χ (XRD) αποτελούν τον βασικό κορμό των διαγνωστικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται σε όλες τις φάσεις της έρευνας, ανάπτυξης, κατεργασίας και ελέγχου της αξιοπιστίας και αποτυχίας υλικών και διατάξεων. Η αποδοχή των μεθόδων αυτών είναι τέτοια ώστε κάποιες από αυτές είναι εγκατεστημένες ακόμα και σε γραμμές παραγωγής. Οι κυριότερες ιδιότητες και εφαρμογές των παραπάνω μεθόδων παρουσιάζονται περιληπτικά στους Πίνακες 2 και 3,αντίστοιχα.

Ανάλυση τεχνικών χαρακτηρισμού της χημικής σύστασης & της δομής επιφανειών και λεπτών επιστρώσεων:

2.2.1.2.1 XRD (X-ray diffraction techniques):

Η σκέδαση ακτινών-Χ είναι μία μη καταστρεπτική διαδικασία χαρακτηρισμού η οποία δίνει πληροφορίες σχετικά με την κρυσταλλική δομή, την χημική σύσταση και τις φυσικές ιδιότητες ενός υλικού. Βασίζεται στην καταγραφή της σκέδασης μιας δέσμης

ακτίνων-Χ που προσκρούει στην επιφάνεια του υλικού σαν συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης και της γωνίας σκέδασης.

Για υλικά τα οποία έχουν τακτική δομή σε μεγάλη κλίμακα, η τεχνική της περίθλασης ακτίνων-Χ βοηθά στην ανάλυση της δομής του υλικού, σύμφωνα με την δυναμική θεωρία της περίθλασης. Υπάρχουν έξι εκδοχές της τεχνικής:

- Περίθλαση ακτινών-Χ από μοναδιαία κρυσταλλική δομή:

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την πλήρη ανάλυση της κρυσταλλικής δομής των υλικών και εφαρμόζεται σε απλά ανόργανα στερεά έως και σε σύνθετα μακρομόρια.

- Περίθλαση ακτίνων-Χ από σκόνη:

Η τεχνική χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της κρυσταλλογραφικής δομής, το μέγεθος κόκκου και την κρυσταλλική διεύθυνση σε πολυκρυσταλλικά υλικά και σκόνες. Συνήθως, η τεχνική αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό άγνωστων ουσιών σε διάφορα υλικά. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το χαρακτηρισμό σε ετερογενή μείγματα στερεών και τον προσδιορισμό της σχετικής περιεκτικότητας της κρυσταλλικής ένωσης.

- Περίθλαση ακτίνων-Χ από λεπτά υμένια:

Η τεχνική αυτή αφορά τον κρυσταλλικό χαρακτηρισμό σε πολύ λεπτά υμένια.

- Περίθλαση ακτίνων-Χ υψηλής ευκρίνειας:

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τον κρυσταλλικό χαρακτηρισμό, την μέτρηση του πάχους και την καταγραφή των τάσεων σε λεπτές επιταξιακές επιστρώσεις.

- Πολική ανάλυση της περίθλασης ακτίνων-Χ:

Επιτρέπει στον παρατηρητή να αναλύσει και να καθορίσει την κατανομή των κρυσταλλικών προσανατολισμών μέσα σε ένα λεπτό κρυσταλλικό υμένιο.

- Rocking ανάλυση της περίθλασης ακτινών-Χ:

Χρησιμοποιείται για την καλύτερη ανάλυση του μεγέθους του κόκκου στην επιφάνεια του υλικού.

Όταν τα υλικά δεν έχουν τακτική δομή σε μεγάλη κλίμακα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκέδαση ακτίνων-Χ για την ανάλυση. Η σκέδαση μπορεί να είναι ελαστική και μη ελαστική.

- Ανάλυση ελαστικής και μη ελαστικής σκέδασης:

i.Ελαστική σκέδαση:

Η ελαστική σκέδαση αφορά την παρατήρηση της δομής, του πάχους και της τραχύτητας. Υπάρχουν τρεις εκδοχές ελαστικής σκέδασης ακτίνων-Χ:

Α) Σκέδαση σε μικρές γωνίες ακτινών-Χ–SAXS-(small-angle X-ray scattering):

Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της νανοκλίμακας ή μικροκλίμακας της δομής των υλικών, του μεγέθους και του σχήματος των σωματιδίων και τη κατανομή της επιφάνειας ως ποσοστό του όγκου. Βασίζεται στην παρατήρηση της σκέδασης σε γωνίες κοντά στο 0° και χρησιμοποιείται σε για μελέτη σε κολλοειδή υλικά όλων των τύπων, μέταλλα, τσιμέντο, πετρέλαιο, πολυμερή, πρωτεΐνες, τρόφιμα και φαρμακευτικά προϊόντα.

Β) Ανάκλαση ακτίνων-Χ– (X-ray reflectivity):

Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό πάχους, τραχύτητας και πυκνότητας σε επιστρώσεις μονού ή πολλαπλού στρώματος.

Γ) Σκέδαση ευρείας γωνίας ακτινών-Χ–WAXS-(wide-angle X-ray scattering):

Αφορά διαδικασίες κατά τις οποίες καταγράφεται η σκεδαζόμενη δέσμη ακτίνων-Χ σε γωνίες μεγαλύτερες των 5°.

ii.Μη ελαστική σκέδαση:

Με την μη ελαστική σκέδαση μπορεί να αναλυθεί η ηλεκτρονική δομή του υλικού και αφορά τις παρακάτω διαδικασίες:

- Compton scattering-Σκέδαση Compton.
- Resonant inelastic X-ray scattering (RIXS)-Συντονιστική μη ελαστική σκέδαση ακτίνων-Χ.
- X-ray Raman scattering (Σκέδαση Raman ακτινών-Χ).
- X-ray diffraction pattern (Πλέγμα περίθλασης ακτινών-Χ).

2.2.1.2.2 SEM/EDX (Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray):

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) είναι ένας τύπος ηλεκτρονικού μικροσκοπίου όπου τα διάφορα δείγματα σαρώνονται με μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας. Κατά την πρόσκρουση της δέσμης, γίνεται μια αλληλεπίδραση μεταξύ των

ηλεκτρονίων και των ατόμων που απαρτίζουν το δείγμα, με τα ηλεκτρόνια να παράγουν σήματα που παρέχουν πληροφορίες για την επιφανειακή δομή του υλικού, τη σύνθεση του και άλλες ιδιότητες όπως είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Εικόνα 40:

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)



2.2.1.2.3 AES (Auger Electron Spectroscopy):

❖ Φασματοσκοπίες AES & XPS:

Οι φασματοσκοπίες AES & XPS είναι οι δύο κύριες αναλυτικές μέθοδοι για χαρακτηρισμό επιφανειών. Χρησιμοποιούνται ευρέως για ταυτοποίηση στοιχείων ή ενώσεων στην επιφάνεια στερεών και είναι σε μεγάλο βαθμό συμπληρωματικές. Μεταξύ αυτών, η AES, χρησιμοποιείται ευρέως τόσο σε ex-situ όσο και σε συστήματα επιταξιακής ανάπτυξης για τον in-situ έλεγχο της καθαριότητας της επιφάνειας. Η XPS χρησιμοποιείται εκτενώς για την ταυτοποίηση της χημικής σύστασης & της χημικής κατάστασης των στοιχείων που βρίσκονται στην επιφάνεια, δηλ. τον σχηματισμό δεσμών (K. Siegbahn, Βραβείο Nobel 1981).

➢ Φασματοσκοπία Auger:

Η φασματοσκοπία AES χρησιμοποιείται για την ποσοτική χημική ανάλυση της επιφάνειας των στερεών καθώς και για τον έλεγχο της καθαρότητας της επιφάνειας. Η AES αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960, όταν έγινε ευρέως διαθέσιμη η τεχνολογία υπερυψηλού κενού, που είναι απαραίτητη για τη μελέτη των επιφανειών και στηρίζεται σε ένα φαινόμενο που παρατήρησε τη δεκαετία 1920 ο Γάλλος Φυσικός Pierre Auger. Το φαινόμενο Auger αφορά την μη-ακτινοβολούσα αποδιέγερση ενός ιονισμένου ατόμου. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 41, ένα ηλεκτρόνιο που προσπίπτει σε ένα υλικό διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο του υλικού από μία εσωτερική στοιβάδα (E_1), ενώ η

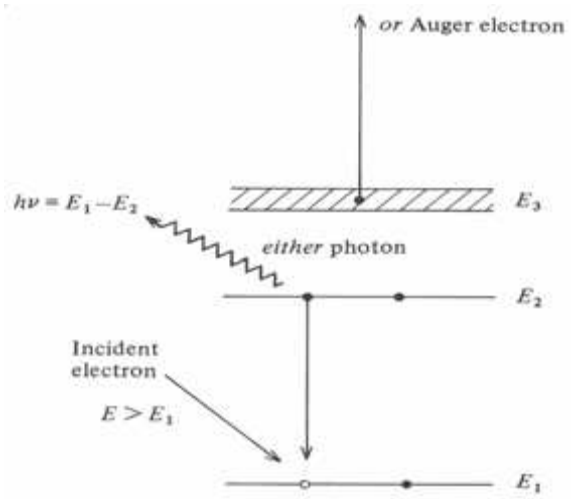
οπή που μένει στον φλοιό, γεμίζει γρήγορα με ένα ηλεκτρόνιο που μεταπίπτει από στοιβάδα που βρισκόταν αρχικά σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη ενέργειας E_3. Η διαφορά της ενέργειας εκπέμπεται είτε με μορφή ενός φωτονίου ακτίνων Χ (που χρησιμοποιούνται στην φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων Χ ή σε άλλες διαδικασίες ανάλυσης) ή μεταφέρεται σε ένα άλλο ηλεκτρόνιο με αρχική ενέργεια E_2, το οποίο απομακρύνεται από το άτομο με ενέργεια E_A που δίνεται από τη σχέση:

$$E_A=E_1-E_2-E_3$$

όπου E_1 και E_2 είναι οι ενέργειας δέσμευσης στο απλά ιονισμένα άτομα, ενώ E_3 είναι η ενέργεια δέσμευσης στο διπλά ιονισμένα άτομα.

Εικόνα 41:

Ο μηχανισμός παραγωγής ηλεκτρονίων Auger ή ακτίνων Χ μετά από την δημιουργία οπής σε εσωτερικό φλοιό του ατόμου που ιονίζεται από διεγείρουσα δέσμη ηλεκτρονίων.



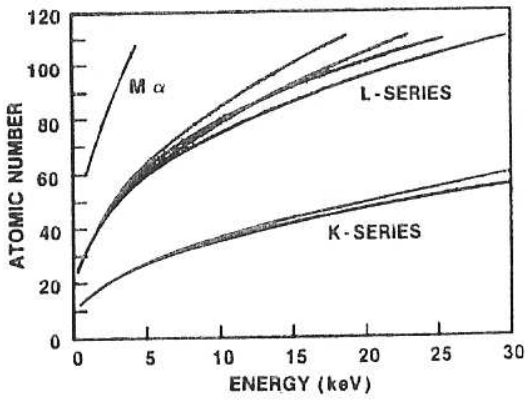
Στη φασματοσκοπία Auger, η τελική κατάσταση του ατόμου είναι διπλά ιονισμένη ενώ στο φαινόμενο συμμετέχουν τρία ηλεκτρόνια και 2 οπές σε εσωτερική στοιβάδα. Η πιθανότητα να συμβεί αποδιέγερση του ατόμου με εκπομπή ηλεκτρονίου Auger είναι μεγαλύτερη στα άτομα μικρού ατομικού αριθμού ($Z<15$). Αντίθετα η αποδιέγερση με εκπομπή ακτίνων Χ συμβαίνει στα άτομα μεγάλου Z. Όταν το εκπεμπόμενο ηλεκτρόνιο ή φωτόνιο έχει ενέργεια μικρότερη από 2 keV, τότε κυριαρχεί το φαινόμενο Auger και περισσότερο από το 95% των ιονισμένων ατόμων αποδιεγείρονται με εκπομπή ηλεκτρονίων Auger.

Τα ηλεκτρόνια Auger που εκπέμπονται από τον κύριο όγκο του υλικού (δηλ. μακρυά από την επιφάνεια), χάνουν την ενέργεια τους μέσω μη ελαστικών σκεδάσεων με τα

δεσμευμένα ηλεκτρόνια. Αντίθετα τα ηλεκτρόνια Auger που εκπέμπονται κοντά στην επιφάνεια, διαφεύγουν από το δείγμα με μικρή ή μηδενική απώλεια ενέργειας και ανιχνεύονται/συλλέγονται από ένα φασματογράφο ηλεκτρονίων. Ένα τυπικό φάσμα Auger αποτελείται από τις χαρακτηριστικές κορυφές Auger πάνω σε ένα συνεχές υπόβαθρο που οφείλεται σε οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση της επιφάνειας με SEM. Οι ενέργειες των ηλεκτρονίων Auger είναι χαρακτηριστικές του στοιχείου που διεγείρεται, όπως φαίνεται στην εικόνα 42.

Εικόνα 42:

Οι ενέργειες των ηλεκτρονίων Auger για στοιχεία με ατομικό αριθμό 5-90.

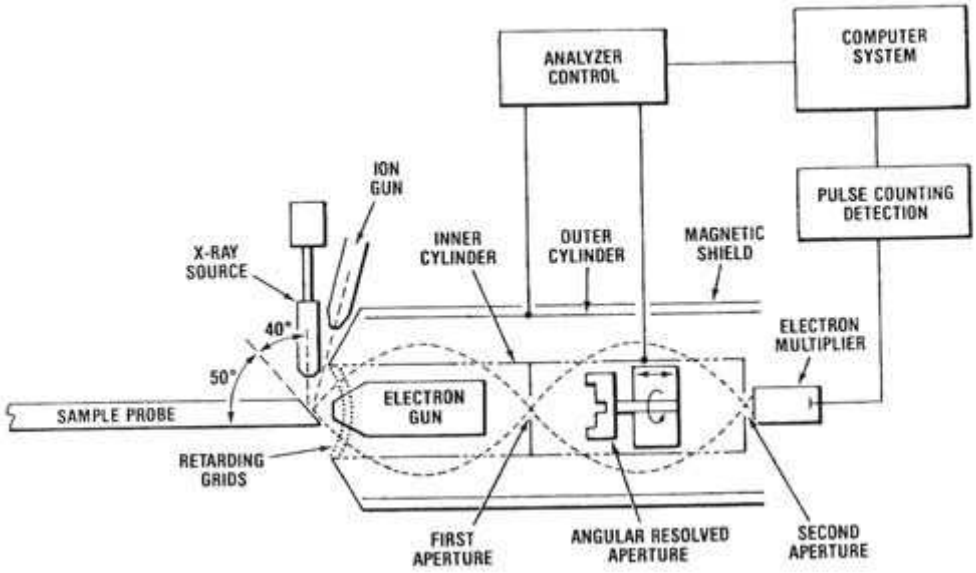


Τα συστήματα για φασματοσκοπία Auger λειτουργούν κάτω από συνθήκες υπερυψηλού κενού (UHV) ($P \leq 10^{-10}$ Torr) που εγγυάται ένα υψηλό βαθμό καθαρότητας στο σύστημα μέτρησης. Μία εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων με ενέργεια της τάξης των 2 keV σαρώνει το σημείο που αναλύεται και τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια Auger συλλέγονται και αναλύονται από έναν σφαιρικό ή ημισφαιρικό αναλυτή. Το σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος Auger φαίνεται στην Εικόνα 42.

Ο αναλυτής αποτελείται από ομόκεντρους μεταλλικούς κυλίνδρους (ή ημισφαίρια) που βρίσκονται σε διαφορετικά δυναμικά. Η ενέργεια διέλευσης των ηλεκτρονίων Ε είναι ανάλογη του δυναμικού στον εξωτερικό κύλινδρο ενώ το βήμα ΔΕ καθορίζει τη διακριτική ικανότητα (ΔΕ/Ε) που συνήθως είναι της τάξης 0,2 έως 0,5%. Τα ηλεκτρόνια με ενέργεια διαφορετική της Ε δεν εξέρχονται από τον αναλύτη ενώ η καταγραφή ολοκλήρου του φάσματος επιτυγχάνεται με σάρωση του δυναμικού στον αναλύτη. Το φάσμα των ηλεκτρονίων που συλλέγονται N(E) περιλαμβάνει, εκτός των ηλεκτρονίων Auger (που εμφανίζονται σαν μικρές κορυφές επάνω στο υπόβαθρο) δευτερογενή ηλεκτρόνια με χαμηλές ενέργειες καθώς και ελαστικά σκεδαζόμενα ηλεκτρόνια με υψηλή

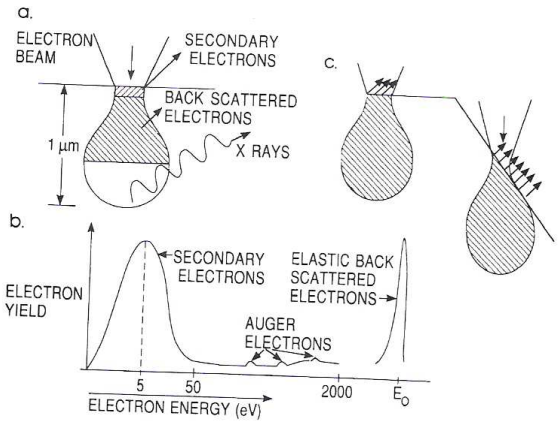
ενέργεια (Εικόνα 43). Οι κορυφές λόγω των ηλεκτρονίων Auger φαίνονται πολύ πιο καθαρά στο φάσμα dN(E)/dE συναρτήσει της ενέργειας E.

Εικόνα 43:
Σχηματικό διάγραμμα συστήματος για μετρήσεις AES & XPS.



Εικόνα 44:

(α) Φαινόμενα που συνοδεύουν την αλληλεπίδραση της προσπίπτουσας δέσμης ηλεκτρονίων με την ύλη (β) ενεργειακή κατανομή των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται από την επιφάνεια του δείγματος.



Εκτός από την μελέτη της χημικής σύστασης της επιφάνειας είναι δυνατός και ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης σε όλο τον όγκο της επίστρωσης (depth profiling), σε βάθος αρκετών χιλιάδων μm από την επιφάνεια. Αυτό επιτυγχάνεται όταν ταυτόχρονα με την μέτρηση AES γίνεται διάβρωση της επιφάνειας με μία πηγή ιόντων (sputtering).

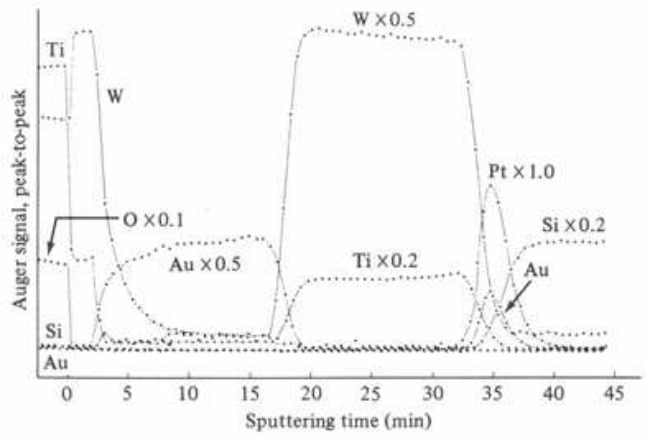
Έτσι δημιουργείται ένας κρατήρας, με συνεχώς αυξανόμενο βάθος, στον πυθμένα του οποίου εστιάζεται η διεγείρουσα δέσμη των ηλεκτρονίων. Η ακριβής μέτρηση του βάθους από την επιφάνεια προϋποθέτει την ακριβή γνώση του ρυθμού sputtering. Ενα χαρακτηριστικό depth profile από ένα πολυστρωματικό δείγμα Au/TiW/Si φαίνεται στην Εικόνα 44. Τέλος, χαρτογράφηση της κατανομής των στοιχείων στην επιφάνεια επιτυγχάνεται με σάρωση της δέσμης των ηλεκτρονίων στην επιφάνεια.

❖ Η χωρική διακριτική ικανότητα:

Η χωρική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος AES καθορίζεται από τη διάμετρο της δέσμης. Οταν η διάμετρος είναι της τάξης των 10 nm, τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια θα επηρεάζουν σημαντικά τόσο την χωρική διακριτική ικανότητα όσο και το σχήμα των κορυφών Auger. Πρέπει να σημειωθεί ότι η AES έχει μεγαλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα από την XPS.

Εικόνα 45:

Depth profile ενός πολυστρωματικού δείγματος που αποτελείται από υπόστρωμα Si, ένα ενδιάμεσο στρώμα TiW και ένα επιφανειακό υμένιο Au. Οπως φαίνεται στο φάσμα συμβαίνει διάχυση του Au μέσω του TiW και συσσώρευση του στη διεπιφάνεια Si/TiW.



Πίνακας 2.ζ: Πίνακας πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της μεθόδου AES

Πλεονεκτήματα της AES	**Μειονεκτήματα της AES**
□ Υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα και δυνατότητα απεικόνισης της επιφάνειας □ Δυνατότητα στοιχειακής χαρτογράφησης της επιφάνειας □ Καλή διακριτική ικανότητα κατά την σε βάθος ανάλυση (depth profiling) □ Ταχεία συλλογή δεδομένων (<5min) □ Με την χρήση κατάλληλης βαθμονόμησης η ποσοτική ακρίβεια είναι καλύτερη του ±10%. □ Υψηλή επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων □ Η μεταβολή της ευαισθησίας σε όλο το το εύρος των στοιχείων μεταβάλλεται μόνον κατά ένα παράγοντα 10. □ Υπάρχει εκτεταμένη τεχνογνωσία, πολλή βιβλιογραφία και πολλές βάσεις δεδομένων	□ Η καταστροφή που επάγεται από τη δέσμη των ηλεκτρονίων μπορεί να αλλοιώσει τα αποτελέσματα σε μονωτικά δείγματα. □ Τα μονωτικά δείγματα υφίστανται εκτενή φόρτιση □ Η χαρτογράφιση των στοιχείων που υπάρχουν στο δείγμα είναι σχετικά αργή (20 min) λόγω του υποβάθρου. □ Λόγω σκέδασης των ηλεκτρονίων, το σήμα συλλέγεται από επιφάνεια που είναι περίπου διπλάσια από την διάμετρο της δέσμης των ηλεκτρονίων. □ Η AES χρησιμοποείται κυρίως για στοιχειακή ανάλυση ενώ οι πληροφορίες που δίνει για δεσμούς κλπ συνήθως δεν αξιολογούνται.

2.2.1.2.4 XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy):

❖ Φασματοσκοπία XPS:

Η φασματοσκοπία XPS χρησιμοποιείται για την χημική ανάλυση και την ταυτοποίηση της χημικής κατάστασης των στοιχείων στην επιφάνεια ενός στερεού. Στη φασματοσκοπία XPS, το δείγμα εκτίθεται, υπό συνθήκες υπερυψηλού κενού, σε μία μονοχρωματική δέσμη ακτίνων X (ενέργειας hν) που προκαλεί φωτοιονισμό και εκπομπή φωτοηλεκτρονίων. Το φάσμα XPS απεικονίζει το ενεργειακό φάσμα των εκπεμπομένων φωτοηλεκτρονίων και αποτελείται από μία σειρά από διακριτές ταινίες που ανταποκρίνονται στις χαρακτηριστικές στοιβάδες της ηλεκτρονικής δομής του ατόμου.. Η κινητική ενέργεια E_k των εκπεμπόμενων φωτοηλεκτρονίων δίδεται από τη σχέση:

$$E_k=h\nu-E_b+\Delta\Phi,$$

όπου h η σταθερά του Planck, ΔΦ η διαφορά του έργου εξόδου ανάμεσα στο στερεό και τον ανιχνευτή και E_b η ενέργεια δέσμευσης του φωτοηλεκτρονίου που προέρχεται από εσωτερική στοιβάδα (core electron).

Όταν η επιφάνεια ενός στερεού εκτεθεί σε ακτίνες Χ κατάλληλης ενέργειας, το στερεό απορροφά διακριτά κβάντα ενέργειας, με επακόλουθο την εκπομπή φωτοηλεκτρονίων. Η κατανομή της κινητικής ενέργειας αυτών των φωτοηλεκτρονίων (δηλ. το πλήθος των εκπεμπομένων φωτοηλεκτρονίων σε συνάρτηση με την κινητική τους ενέργεια) δίνει πληροφορίες για το στερεό. Η εκπομπή των φωτοηλεκτρονίου γίνεται σε 3 στάδια:

1. Απορρόφηση των ακτίνων Χ και διέγερση του ηλεκτρονίου από την βασική στην τελική κατάσταση που βρίσκεται επάνω από τη στάθμη Fermi
2. Μεταφορά του ηλεκτρονίου στην επιφάνεια
3. Διαφυγή του ηλεκτρονίου στο κενό

Αφού το φωτοηλεκτρόνιο δημιουργείται μέσα στο στερεό, οι ιδιότητες του φέρουν πληροφορίες για το στερεό ακόμη και μετά την εκπομπή του στο κενό.

Αναφορικά με ένα σύστημα XPS, αυτό διαφέρει από ένα σύστημα AES μόνο στην πηγή διέγερσης, που στην πρώτη περίπτωση είναι πηγή ακτίνων Χ ενώ στη δεύτερη πηγή ηλεκτρονίων. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι γραμμές Κα των Mg ή Al, όπου $h\nu_{Mg}$=1254eV και $h\nu_{Al}$=1487eV. Οι τιμές αυτές θέτουν και το άνω όριο της κινητικής ενέργειας του ανιχνευόμενου φωτοηλεκτρονίου. Η XPS μοιάζει με την αναλυτική τεχνική UPS (ultraviolet photoelectron spectroscopy), η οποία απεικονίζει την πυκνότητα καταστάσεων στην ζώνη σθένους. Τα φάσματα UPS όμως διεγείρονται από φωτόνια ενέργειας 10-45 eV. Η γωνιακά εξαρτώμενη UPS (angular resolved UPS-ARUPS) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της δομής των ζωνών των στερεών.

Εναλλακτικά, αντί μίας συμβατικής πηγής ακτίνων Χ μπορεί να χρησιμοποιηθεί δέσμη ακτίνων Χ που παράγονται από εγκατάσταση παραγωγής ακτινοβολίας synchrotron (SR). Σε αυτή την περίπτωση, οι εφαρμογές διευρύνονται σημαντικά αφού το φάσμα SR είναι συνεχές, καλύπτει πολύ ευρεία περιοχή ενεργειών και μπορεί να είναι μονοχρωματικό (δηλ. υπάρχουν πολλές διαφορετικές επιλογές της ενέργειας hν του διεγείροντος φωτονίου). Η XPS που γίνεται με ακτινοβολία synchrotron ονομάζεται φασματοσκοπία φωτοεκπομπής (photoemission spectroscopy).

Η χημική σύσταση της επιφάνειας προσδιορίζεται από τις σχετικές εντάσεις των κορυφών σε ένα φάσμα XPS, καθώς οι θέσεις και το σχήμα των γραμμών δίνει πληροφορίες για την χημική κατάσταση των στοιχείων που ανιχνεύονται. Ειδικώτερα η ακριβής τιμή της ενέργειας σύνδεσης ενός ηλεκτρονίου εξαρτάται από:

- Την κατάσταση οξείδωσης του ατόμου.
- Το τοπικό φυσικό και χημικό περιβάλλον γύρω από το άτομο.

Ηλεκτρόνια από άτομα σε υψηλή κατάσταση οξείδωσης έχουν μεγαλύτερη ενέργεια σύνδεσης λόγω της επί πλέον αλληλεπίδρασης Coulomb ανάμεσα στο ηλεκτρόνιο και το ιονισμένο άτομο από το οποίο εκπέμπεται, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μιας μετατόπισης..

Πίνακας 2.η: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου XPS.

Πλεονεκτήματα της XPS	**Μειονεκτήματα της XPS**
□ Στοιχειακή ανάλυση και πληροφορίες για τους υπάρχοντες δεσμούς □ Η πρωτεύουσα δέσμη δεν προκαλεί καταστροφή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ευαίσθητα υλικά. □ Δεν προκαλείται φόρτιση του δείγματος □ Ταχεία συλλογή δεδομένων □ Με δείγματα αναφοράς οι ποσοτικές πληροφορίες έχουν ακρίβεια καλύτερη του 10%. □ Υψηλή επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων □ Η ευαισθησία δεν μεταβάλλεται σημαντικά συναρτήσει του ατομικού αριθμού των στοιχείων. □ Υπάρχει εκτεταμένη τεχνογνωσία, πολλή βιλιογραφία και πολλές βάσεις δεδομένων.	□ Εχει φτωχή depth resolution □ Δεν έχει υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα.

2.2.1.2.5 RBS (Rutherford BackScattering):

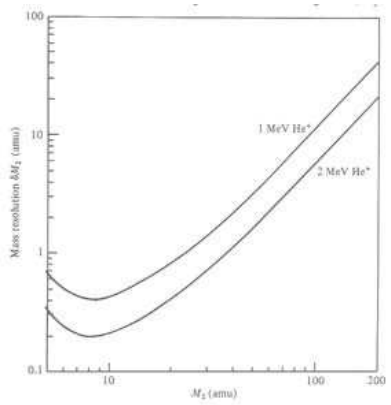
❖ Φασματοσκοπία οπισθοσκέδασης κατά Rutherford (RBS):

Η RBS δίνει πληροφορίες για την χημική σύσταση ενός στερεού, την κατανομή των στοιχείων σαν συνάρτηση του βάθους από την επιφάνεια και το πάχος των δειγμάτων. Στην φασματοσκοπία RBS μία δέσμη ελαφριών ιόντων με υψηλή ενέργεια (συνήθως $^4He^+$ με μάζα M_o=4 και ενέργεια 2MeV), προσπίπτει στην υπό μελέτη επιφάνεια. Τα ιόντα διεισδύουν σε βάθος της τάξης των χιλιάδων Å έως και μm χωρίς όμως να προ-

καλούν σημαντική απομάκρυνση υλικού από την επιφάνεια. Αντίθετα, όταν εισέρχονται στην ύλη χάνουν μέρος της ενέργειάς τους μέσω ηλεκτρονικών διεγέρσεων και ιονισμού των ατόμων του στόχου. Μερικά από τα ιόντα, υφίστανται ελαστική σκέδαση από τους κατά πολύ βαρύτερους πυρήνες του στόχου (λόγω απωστικών δυνάμεων Coulomb), και αυτά είναι τα οπισθοσκεδαζόμενα ιόντα κατά Rutherford. Το πλήθος των ιόντων που οπισθοσκεδάζονται κατά Rutherford εξαρτάται από την ενεργό διατομή σκέδασης, που περιγράφει με ακρίβεια και ποσοτικό τρόπο την αλληλεπίδραση Coulomb. Τα οπισθοσκεδαζόμενα ιόντα συλλέγονται από κατάλληλο ανιχνευτή που μετρά τον αριθμό και την ενέργειά τους. Η ανάλυση του φάσματος δίνει πληροφορίες για την χημική σύσταση του υπό μελέτη υλικού, την κατανομή των διάφορων στοιχείων σε βάθος και το πάχος των δειγμάτων. Δεδομένου ότι η ενεργός διατομή σκέδασης είναι γνωστή από την βιβλιογραφία με μεγάλη ακρίβεια, η ανάλυση των φασμάτων γίνεται χωρίς την απαραίτητη χρήση βαθμολογημένων προτύπων. Η RBS μπορεί να ανιχνεύσει στοιχεία και ισότοπα που είναι βαρύτερα από το Li. Εχει καλύτερη ευαισθησία στα βαριά στοιχεία ενώ έχει χαμηλή διακριτική ικανότητα για ανάλυση σε συνάρτηση με το βάθος (depth resolution). Η ικανότητα της μεθόδου να διαχωρίζει στοιχεία με μάζα που διαφέρουν κατά ποσότητα ΔΜ μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την Μ κατά τον τρόπο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 46. Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται δέσμη $^4He^+$ ενέργειας 2 MeV, η διακριτική ικανότητα είναι ΔΜ=1 για Μ<40 και χειροτερεύει όσο αυξάνεται η μάζα (π.χ. ΔΜ=20 για Μ περίπου 200).

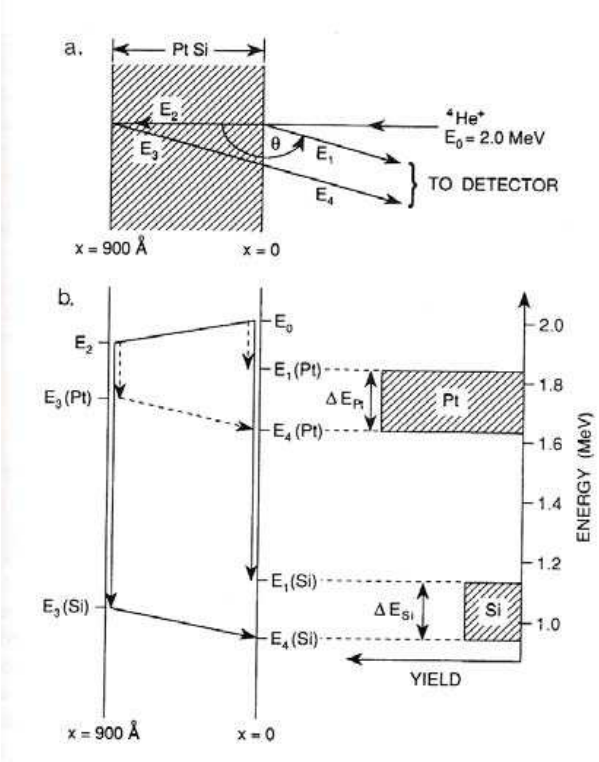
Εικόνα 46:

Η μεταβολή της διακριτικής ικανότητας της RBS σαν συνάρτηση της μάζας των ανιχνευομένων στοιχείων.



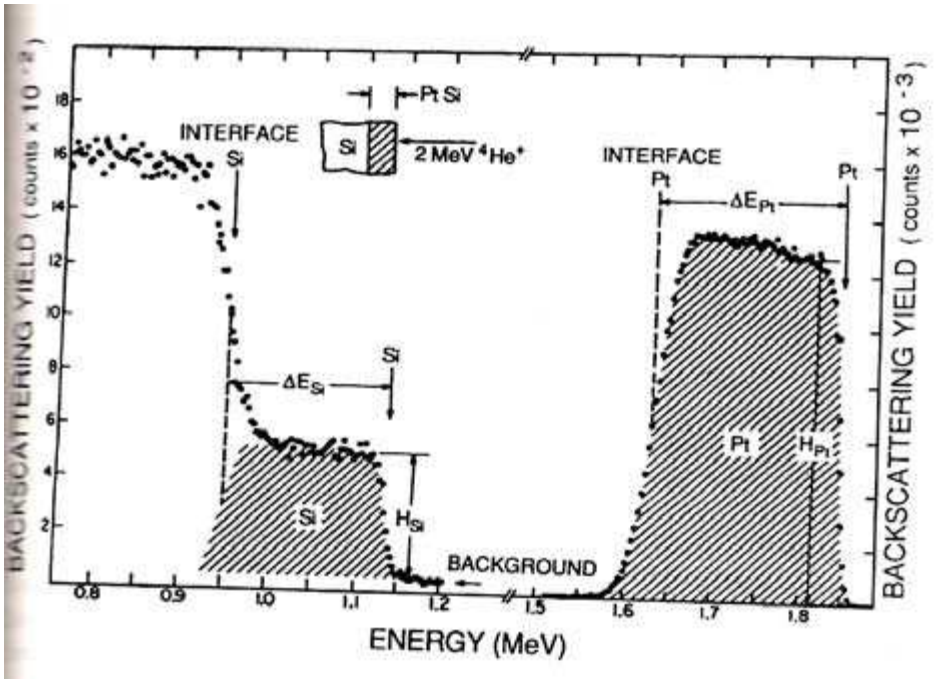
Εικόνα 47:

Η αρχή λειτουργίας της RBS.



Εικόνα 48:

Φάσμα RBS που καταγράφεται από υμένιο PtSi πάχους 900μm, σε υπόστρωμα Si.



➢ Οι πληροφορίες που συλλέγουμε από το φάσμα είναι οι εξής

1. Η επιφάνεια κάτω από κάθε κορυφή αντιστοιχεί στον συνολικό αριθμό των ατόμων του στοιχείου που βρίσκεται εντός του ανιχνευομένου όγκου.
2. Το ύψος των κορυφών είναι ανάλογο της ατομικής συγκέντρωσης του στοιχείου.
3. Το φασματικό πλάτος κάθε κορυφής είναι ανάλογο του πάχους της επίστρωσης. Η μετατροπή του άξονα των ενεργειών σε απόσταση είναι εφικτή όταν είναι γνωστή η απώλεια της ενέργειας ανά μονάδα μήκους.

Οταν η RBS πραγματοποιείται υπό συνθήκες που ευνοούν φαινόμενα σήραγγας, τότε παίρνουμε επί πλέον πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη αταξίας στο δείγμα καθώς και για την πλεγματική θέση που καταλαμβάνουν οι προσμείξεις στο υλικό.

Πίνακας 2.ι: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής RBS

Πλεονεκτήματα της RBS	**Μειονεκτήματα της RBS**
□ Παρέχει depth profiles χωρίς την χρήση sputtering gun. □ Εχει ακρίβεια της τάξης του 5% που βελτιώνεται με την χρήση βαθμολογημένων προτύπων. □ Υψηλή επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων. □ Είναι μη-καταστροφική για όλα τα υλικά εκτός των πολυμερών και των βιολογικών υλικών. □ Υπάρχουν εκτενείς βάσεις δεδομένων.	□ Εχει φτωχή ακρίβεια της σε βάθος κατανομής (≅200Å) □ Συλλέγει πληροφορίες από μεγάλη περιοχή του δείγματος □ Δίνει πληροφορίες μόνον για τα στοιχεία που υπάρχουν στο δείγμα και όχι για τους υπάρχοντες δεσμούς □ Η ευαισθησία της μεθόδου εξαρτάται από το ατομικό βάρος των στοιχείων □ Απαιτεί μεγάλη επένδυση και δεν είναι ευρέως διαθέσιμη εμπορικά

2.2.1.2.6 SIMS (Secondary-Ion Mass Spectroscopy):

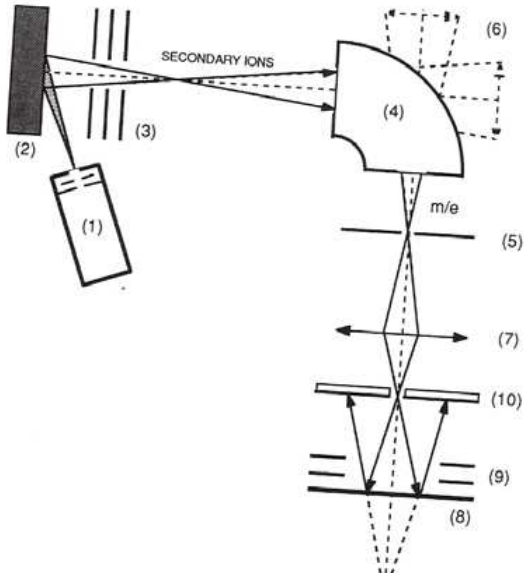
❖ Φασματοσκοπία SIMS

Η φασματοσκοπία SIMS δίνει πληροφορίες με υψηλή ευαισθησία για την χημική σύσταση σε επιφάνεια και όγκο ενός δείγματος. Για την καταγραφή ενός φάσματος SIMS χρησιμοποιούνται ιόντα με υψηλές ενέργειες (συνήθως Ar^+, O_2^- ή Cs^+) που βομβαρδί-

ζουν την επιφάνεια του δείγματος και προκαλούν απομάκρυνση ουδετέρων ατόμων, θετικών και αρνητικών ιόντων, συσσωματωμάτων ατόμων και θραυσμάτων μορίων από την επιφάνεια. Ανάλυση της μάζας των ιόντων που μεταφέρονται από την στερεά σε αέρια φάση λόγω του βομβαρδισμού με ιόντα επιτρέπει τον καθορισμό της χημικής σύστασης του υλικού καθώς και συγκέντρωσής κάθε στοιχείου. Ένα τυπικό σύστημα SIMS φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Εικόνα 49:

Τυπική διάταξη για μετρήσεις SIMS. (1) πηγή ιόντων (3-10 keV) (2) δείγμα (3) ηλεκτρόδια για την επιτάχυνση & εστίαση των δευτερογενών ιόντων (4) φασματογράφος μάζης (5)σχισμή εξόδου για την επιλογή κατάλληλου λόγου m/e (6) φανταστικό είδωλο. Σύστημα απεικόνησης: (7,8,9,10)



Η φασματοσκοπία SIMS είναι η πλέον ευαίσθητη από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της χημικής σύστασης επιφανειών. Υπάρχουν οι εξής διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας της SIMS:

 Στατικό SIMS (SSIMS): χρησιμοποιείται για την στοιχειακή ανάλυση της επιφάνειας σε βάθος της τάξης ενός ατομικού επιπέδου. Κάθε ιόν που προσπίπτει στην επιφάνεια καταστρέφει μια περιοχή με διάμετρο 5-10 nm ενώ η χρονική διάρκεια της αλληλεπίδρασης του ιόντος με το πλέγμα είναι της τάξης των 10^{-12} sec. Σάρωση της δέσμης επιτρέπει τον χαρακτηρισμό επιφάνειας διαμέτρου 0,5-1 μm.

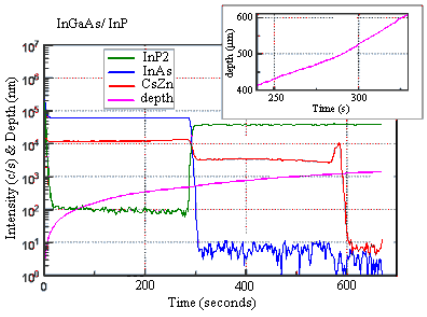
 Δυναμικό SIMS (DSIMS): χρησιμοποιείται για καταγραφή της χημικής σύστασης του δείγματος σε συνάρτηση με το βάθος από την επιφάνεια. Χρησιμοποιούνται δέσμες ιόντων με πυκνότητα ρεύματος μεγαλύτερη από ότι χρησιμοποιείται στην SSIMS, καθώς στην περίπτωση αυτή πρέπει να φύγουν ιόντα και από βαθειά.

 Απεικόνιση SIMS: χρησιμοποιείται για στοιχειακή ανάλυση με υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα.

Η SIMS έχει βάθος πληροφορίας 10μm, εγκάρσια χωρική διακριτική ικανότητα της τάξης των 1000μm, ανιχνεύει το υδρογόνο, έχει ευαισθησία ppm ενώ προσδιορίζει το λόγο (μάζα/φορτίο) θραυσμάτων μορίων που προκύπτουν με την διαδικασία του βομβαρδισμού. Ο βομβαρδισμός μονωτικών δειγμάτων με θετικά φορτισμένα ιόντα οδηγεί στην ανάπτυξη φορτίου που προκαλεί απώλεια πληροφοριών. Η τεχνική αυτή δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για τους υπάρχοντες χημικούς δεσμούς καθώς κατά την χρήση της καταστρέφεται μικρό μέρος του δείγματος. Επίσης έχει φτωχή διακριτική ικανότητα για κατανομές σε βάθος καθώς αναμειγνύονται τα θραύσματα που προκαλεί ο βομβαρδισμός. Τέλος η χημική σύσταση της επιφάνειας μπορεί να αλλοιωθεί λόγω μερικής εμφύτευσης ιόντων στο υπό μελέτη δείγμα. Όταν η ενέργεια της προσπίπτουσας δέσμης είναι χαμηλή (200-300 eV), η διακριτική ικανότητα κατά το ανάλυση σε συνάρτηση με το βάθος είναι της τάξης των nm. Όταν η ενέργεια αυξηθεί σημαντικά (20-30 keV), πληροφορία συλλέγεται από βάθος 10-20μm με μεγάλη ταχύτητα (μm/min), βελτιώνονται έτσι τα όρια της ανίχνευσης καθώς και τη ποιότητα της απεικόνισης (χωρική διακριτική ικανότητα καλύτερη των 50nm).

Εικόνα 50:

Ανάλυση SIMS υμενίου InGaAs σε υπόστρωμα InP. Στο ένθετο φαίνεται η μεταβολή του βάθους του κρατήρα σαν συνάρτηση της χρονικής διάρκειας βομβαρδισμού. Η αλλαγή της ταχύτητας βομβαρδισμού φαίνεται σαν αλλαγή της κλίσης της ευθείας και οφείλεται σε αλλαγή της χημικής σύστασης σε βάθος που αντιστοιχεί σε t=280s.



Πίνακας 2.κ: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα SIMS.

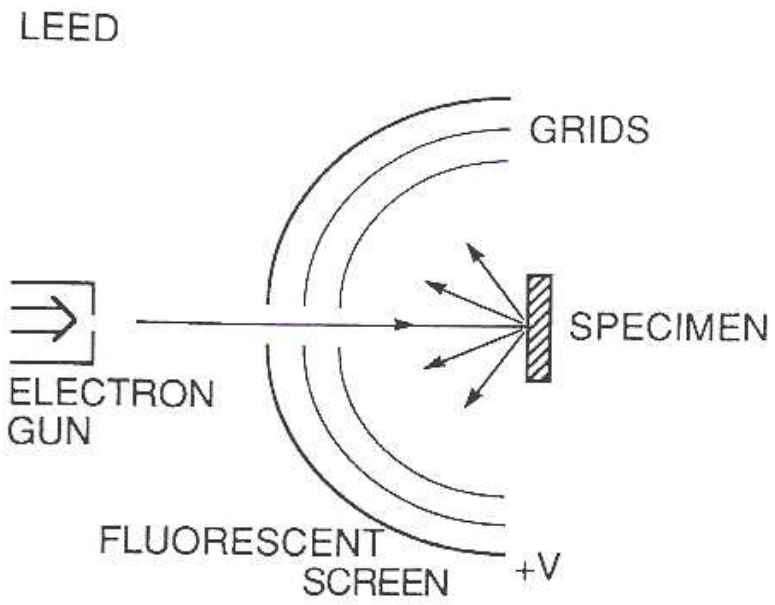
Πλεονεκτήματα της SIMS	**Μειονεκτήματα της SIMS**
□ Παρέχει χημική πληροφορία. □ Ανιχνεύει το υδρογόνο □ Διακρίνει τα διαφορετικά ισότοπα □ Εχει υψηλή ευαισθησία και υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα □ Επιτρέπει την γρήγορη χαρτογράφηση των στοιχείων και μορίων στην επιφάνεια □ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευαίσθητα υλικά. □ Δίνει ποστικά αποτελέσματα με ακρίβεια καλύτερη του 10% ακόμη και για συστήματα σε αραίη διάλυση (π.χ. προσμείξεις σε ημιαγωγούς).	□ Είναι καταστροφική μέθοδος □ Εχει μεταβλητή ευαισθησία που όμως διορθώνεται με την χρήση διαφορετικών ιόντων για διαφορετικά στοιχεία

2.2.1.2.7 Περίθλαση ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας (Low energy electron diffraction-LEED):

Η LEED δίνει πληροφορίες για τη δομή επιστρώσεων που αναπτύσσονται υπό συνθήκες υπερυψηλού κενού, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για in-situ μετρήσεις σε συστήματα επιταξίας μοριακής δέσμης (molecular beam epitaxy-MBE). Ομως η συνθήκη του υπερυψηλού κενού την καθιστά ασύμβατη με άλλες τεχνικές ανάπτυξης όπως η μέθοδος εναπόθεσης από χημικούς ατμούς (chemical vapor deposition-CVD).

Σε ένα πείραμα LEED, μία δέσμη ηλεκτρονίων με καλά καθορισμένη χαμηλή ενέργεια (στην περιοχή 10-1000 eV που αντιστοιχεί σε μήκη κύματος 3.9-0.39Å), προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια ενός δείγματος. Όταν η επιφάνεια είναι κρυσταλλική, δημιουργείατι μία σαφής εικόνα περίθλασης Fraunhofer από τα ελαστικά οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια (που αφορούν το 1% του συνόλου). Η εικόνα αυτή περίθλασης αφορά τον μετασχηματισμό Fourier της διάταξης των ατόμων στην επιφάνεια. Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια που έχουν χαμηλότερη ενέργεια από τα ελαστικά οπισθοσκεδαζόμενα απομακρύνονται από τα ηλεκτρόδια (που τα επιβραδύνουν) πριν φθάσουν στην φθορίζουσα οθόνη ή την video camera που χρησιμοποιείται για την απεικόνηση της εικόνας περίθλασης. Η γεωμετρία ενός πειράματος LEED φαίνεται στην Εικόνα 51.

Εικόνα 51:
Σχηματικό διάγραμμα συστήματος για μετρήσεις LEED.



Τα προσπίπτοντα ηλεκτρόνια έχουν μήκος κύματος λ=h/p, όπου η ορμή p δίνεται από τη σχέση $p = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2meV}$, με E_k την κινητική τους ενέργεια και V το δυναμικό επιτάχυνσης. Επομένως $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ και αφού τα ηλεκτρόνια έχουν λ συγκρίσιμο με τις ενδοατομικές αποστάσεις (α), περιθλώνται από το πλέγμα σύμφωνα με τον νόμο του Bragg : **α sinθ=nλ**, όπου n ακέραιος αριθμός. Έτσι, από την ανάλυση της εικόνας περίθλασης, υπολογίζεται η ενδοατομική απόσταση α. Η παρουσία σαφών (καλώς εστιασμένων) κηλίδων αποδεικνύει την ύπαρξη μίας καλώς τακτοποιημένης επιφάνειας και δίνει πληροφορίες για την συμμετρία. Η αποτίμηση των αποτελεσμάτων της LEED γίνεται με δύο τρόπους:

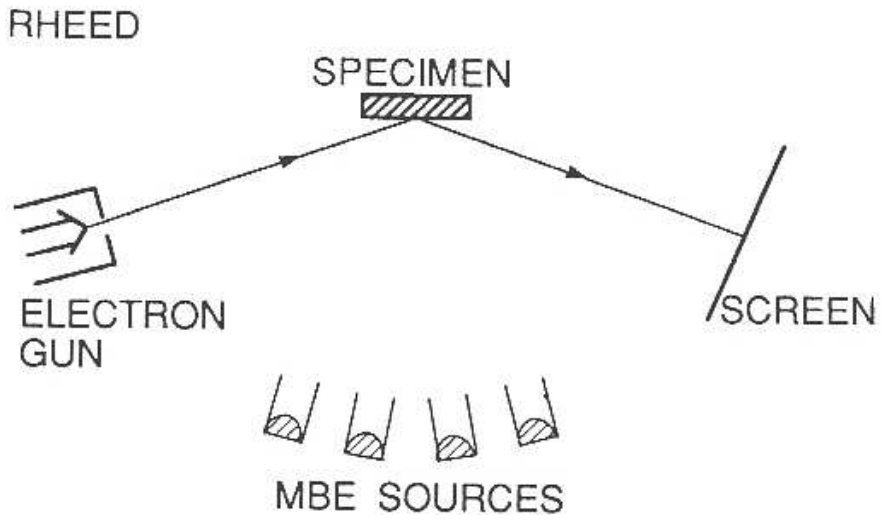
- Ποσοτικά, όπου η ανάλυση της εικόνας περίθλασης δίνει πληροφορίες για το μέγεθος, τον προσανατολισμό και τη συμμετρία της μοναδιαίας κυψελίδας της προσροφημένης επίστρωσης
- Ποιοτικά, όπου οι εντάσεις I των περιθλώμενων ακτίνων καταγράφονται σαν συνάρτηση της ενέργειας της προσπίπτουσας δέσμης ηλεκτρονίων. Οι καμπύλες που προκύπτουν, μετά από σύγκριση με θεωρητικά μοντέλα, δίνουν ακριβείς πληροφορίες για τις θέσεις των ατόμων στην επιφάνεια.

2.2.1.2.8 Ανάκλαση ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας (reflection high energy electron diffraction-RHEED):

Στην τεχνική RHEED, η δέσμη των ηλεκτρονίων προσπίπτει εφαπτομενικά στην επιφάνεια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 52. Τα ηλεκτρόνια έχουν ενέργειες 5-100 keV, δηλαδή πολύ μεγαλύτερες από ότι στην LEED. Τα ηλεκτρόνια που σκεδάζονται υπό μικρές γωνίες πρόσπτωσης μεταφέρουν πληροφορία για τα πρώτα 1-2 επιφανεικά ατομικά επίπεδα. Στην εικόνα περίθλασης RHEED που προέρχεται από επίστρωση φτιαγμένη με MBE εμφανίζονται κηλίδες και γραμμές (streaks). Οι κηλίδες αντιστοιχούν σε τρισδιάστατη περίθλαση από υπάρχουσες νησίδες ενώ τα streaks χαρακτηρίζουν ομαλή ανάπτυξη στρωμάτων.

Εικόνα 52:

Η γεωμετρία της τεχνικής RHEED.



.

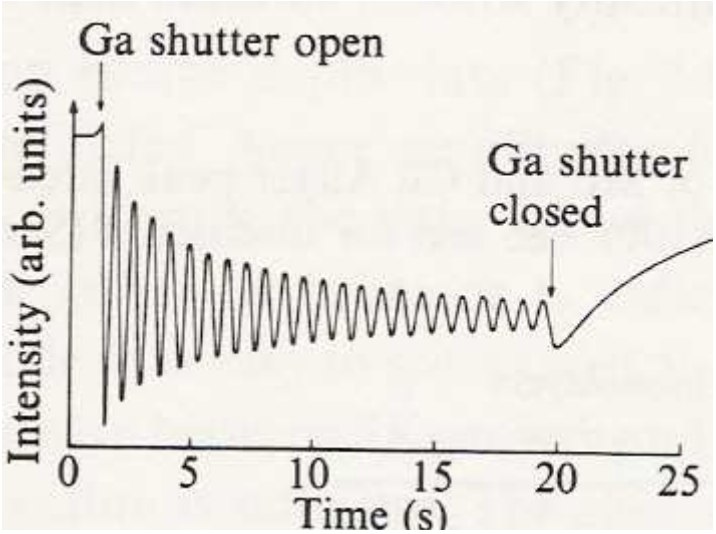
Η RHEED υπερέχει της LEED καθώς λόγω της γεωμετρίας της, δεν σκιάζει το δείγμα. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για in-situ real-time μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης με MBE υπό συνθήκες υπερυψηλού κενού.

Το μέγεθος που καταγράφεται σε ένα πείραμα RHEED είναι η μεταβολή της έντασης της σκεδαζόμενης δέσμης σαν συνάρτηση του χρόνου ανάπτυξης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 53. Το σήμα εμφανίζει περιοδική μεταβολή με περίοδο που αντιστοιχεί στην ανάπτυξη ενός μονοατομικού επιπέδου. Τα μέγιστα της ανακλαστικότητας αντιστοιχούν σε σκέδαση από ατομικές επίπεδες επιφάνειες (με κάλυψη που αντιστοιχεί σε θ=0 ή θ=1) ενώ τα ελάχιστα αντιστοιχούν σε επιφάνειες που εμφανίζουν αταξία λόγω της παρουσίας νησίδων. Οι ταλαντώσεις αυτές παρατηρούνται μό-

νον κατά την ανάπτυξη στρώμα-στρώμα (ανάπτυξη Frank-van der Merwe) ενώ δεν εμφανίζονται όταν η ανάπτυξη γίνεται με τους μηχανισμούς Stranski-Krastanov ή Volmer-Weber στις οποίες δεν σχηματίζονται ατομικές επίπεδες επιφάνειες.

Εικόνα 53:

Οι ταλαντώσεις RHEED που εμφανίζονται μόνον όταν η κάλυψη της επιφάνειας αντιστοιχεί σε θ=0 ή θ=1, οπότε η επιφάνεια είναι ατομικά επίπεδη



- Εφαρμογές των αναλυτικών μεθόδων χειρισμού:

Οι εφαρμογές των αναλυτικών μεθόδων χειρισμού καταγράφονται στον πάρακατω πίνακα:

Πίνακας 2.λ: Εφαρμογές των αναλυτικών μεθόδων χαρακτηρισμού στην φυσική επιφανειών και την τεχνολογία επιστρώσεων

Εφαρμογή	**Είδος πληροφορίας**	**Τεχνική**
Διάχυση σε υμένια	Προσδιορισμός τιμών συντελεστών διάχυσης	AES, SIMS, RBS
Ημιαγωγοί με προσμείξεις	Προφίλ κατανομής των προσμείξεων.	SIMS
Σχηματισμός ενώσεων	Κινητική της ανάπτυξης, στοιχειομετρία	RBS, AES
Χημεία χημικών ενώσεων	Ταυτοποίηση δέσμιων καταστάσεων και ζώνης σθένους	XPS
Διερεύνηση «προβλημάτων» στην επιφάνεια	Ταυτοποίηση ανεπιθύμητων καταλοίπων,μελέτες αξιοπιστίας και μηχανισμών κατάρρευσης	AES, SIMS, XPS
Μόλυνση επιφανειών από οργανικά υλικά	Ταυτοποίηση χημικών ενώσεων	XPS

Ανάλυση διεπιφανειών	Αιτίες κακής σύμφυσης, συγκέντρωση προσμείξεων σε όρια κρυσταλλιτών και διεπιφάνειες	AES, SIMS, XPS
Πολυστρωματικά υμένναι	προστατευτικές επικαλύψεις & υπερδομές/Χημική σύσταση, πάχος υμενίων,προσμείξεις στη διεπιφάνεια	AES, RBS, SIMS
Αποκλίσεις από την κρυσταλλικότητα	Φάσματα channeling διαχωρίζουν μονοκρυσταλλικά από άμορφα υμένια	RBS
Αποτυχία προστατευτικών υμενίων	Συσσώρευση προσμείξεων σε επιφάνειες θραύσης	AES, SIMS
Επαφές μετάλλου-ημιαγωγού	Πρόσφυση, χημικές αντιδράσεις στη διεπιφάνεια	AES, XPS, SIMS,RBS
Διηλεκτρικά υμένια σε μέταλλα & ημιαγωγούς	Ανεπιθύμητες προσμείξεις στην επιφάνεια,διάχυση προσμείξεων, συσσώρευση προσμείξεων σε διαπιφάνειες (π.χ. Si-SiO2)	AES, SIMS, XPS
Επιταξία μοριακής δέσμης	Αποτίμηση της καθαρότητας της επιφάνειας πριν από την ανάπτυξη, ανίχνευση C &O	AES, XPS

Μερικά στοιχεία ακόμα για τις παραπάνω τεχνικές αφορούν:

1. Οι τεχνικές **AES, XPS και SIMS** είναι οι κατάλληλες κυριώς για τον χαρακτηρισμό επιφανειών αφού έχουν βάθος πληροφορίας της τάξης των 15μm. Η συλλογή πληροφοριών από μεγαλύτερο βάθος απαιτούν ειδικές τεχνικές προσεγγίσεις.

2. Οι τεχνικές **EDX και RBS** έχουν βάθος πληροφορίας της τάξης του 1μm. Επομένως, όταν χρησιμοποιούνται για την μελέτη επιστρώσεων με τυπικό πάχος 1 μm, δίνουν πληροφορίες για ολόκληρη την επίστρωση, ενώ σε μερικές περιπτώσεις χαρακτηρίζουν και το υπόστρωμα.

3. Οι τεχνικές **AES, XPS & SIMS** ανιχνεύουν σχεδόν όλα τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα.ενώ η τεχνική EDX ανιχνεύει στοιχεία με Z>11.

4. Το όριο της διακριτικής ικανότητας των τεχνικών **AES, XPS, EDX, RBS** είναι της τάξης του 0,1-1 a.t.%. Αντίθετα η ευαισθησία της SIMS είναι πολύ υψηλότερη και κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις φθάνει το 10^{-6} a.t..%.

5. Η τεχνική **RBS** είναι η μόνη μη-καταστροφική μέθοδος που δίνει ταυτόχρονα πληροφορίες για την χημική σύσταση των στοιχείων και σε βάθος (depth profiling). Επίσης δεν απαιτεί τη χρήση δειγμάτων αναφοράς.

6. Η τεχνική **AES** έχει την μεγαλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα και επομένως συλλέγει πληροφορία από τον μικρότερο όγκο.

7. Η τεχνική **XPS** είναι η μόνη που δίνει πληροφορίες για την φύση των χημικών δεσμών και των σταθμών στη ζώνη σθένους.

2.3 Νανοσωλήνες άνθρακα:

Μικρή εισαγωγή για τον άνθρακα:

Ο άνθρακας, όπως είναι γνωστό, βρίσκεται άφθονος στη φύση. Τον συναντάμε στα φυτά, στα δέντρα (όπου υπάρχει μια φυσική μορφή άνθρακα), στις τροφές που καταναλώνει ο άνθρωπος, στο έδαφος και στον αέρα (σε αέρια μορφή ο άνθρακας δεν συναντάται ελεύθερος αλλά σε συνδυασμό με το οξυγόνο, CO_2-διοξείδιο του άνθρακα- και CO-μονοξείδιο του άνθρακα-). Επίσης τον συναντάμε σε υγρά καύσιμα (για την κίνηση των οχημάτων) και σε στερεά καύσιμα (για την παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας).

Όμως μπορούμε να τον συναντήσουμε και σε άλλες μορφές όπως είναι οι αλλοτροπικές μορφές του, ο γραφίτης, το διαμάντι, η φουλλερίνη και οι νανοσωλήνες άνθρακα.

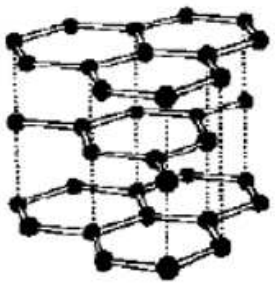
Ανάλυση των αλλοτροπικών μορφών του άνθρακα:

1. Γραφίτης:

Ο γραφίτης είναι μια αλλοτροπική μορφή άνθρακα, όπου τα μόρια του σχηματίζουν μια κρυσταλλική δομή σχήματος εξαγώνων κυλίνδρων.

Εικόνα 54:

Κρυσταλλική δομή μορίων γραφίτη



Τα άτομα της κρυσταλλικής δομής του παρουσιάζουν δυνατούς και άκαμπτους δεσμούς στα επίπεδα τμήματα, ενώ στα κατακόρυφα τμήματα του παρουσιάζονται ασθενείς δεσμοί, με χαμηλή αντίσταση στη διάτμηση, του τύπου van der Waals.

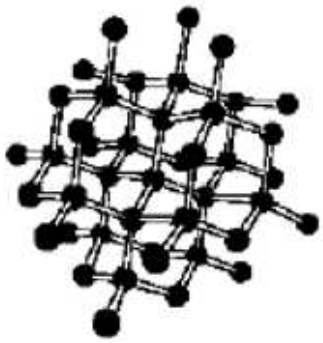
Χάριν της κρυσταλλικής δομής του και των ιδιοτήτων του, ο γραφίτης μπορεί να παραμείνει σε στερεά κατάσταση, με απουσία οξυγόνου, μέχρι και τους $3300^0 C$.

2. Διαμάντι:

Το διαμάντι δημιουργεί ισοδύναμους και άκαμπτους δεσμούς με μεγάλη αντοχή, όπως και στην περίπτωση του γραφίτη, όμως, σε αυτή την περίπτωση, οι ισχυροί δεσμοί είναι τρισδιάστατοι.

Εικόνα 55:

Κρυσταλλική δομή διαμαντιού



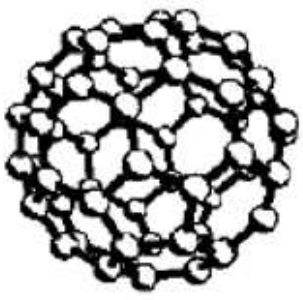
Η κρυσταλλική του δομή αντέχει μέχρι και τους 1800^0C απουσία οξυγόνου. Εάν υπερβούμε τη θερμοκρασία των 1800^0C, τότε η κρυσταλλική του δομή μετατρέπεται σε γραφίτη, λόγω της μεγάλης ενεργειακής σταθερότητας που παρουσιάζει.

3. Φουλλερίνη:

Η φουλλερίνη έκανε την εμφάνιση της για πρώτη φορά το 1985, όταν μια εξάχνωση γραφίτη από δέσμη λέιζερ δημιούργησε αυτή τη νέα αλλοτροπική μορφή άνθρακα.

Εικόνα 56:

Κρυσταλλική δομή φουλλερίνης



Το φουλλερένιο έχει σφαιρική μορφή, όπως φαίνετε και στο πιο πάνω σχήμα και αποτελείτε από πεντάγωνους και εξάγωνους σχηματισμούς ατόμων άνθρακα. Το πιο γνωστό μόριο φουλλερενίου απαρτίζετε από 60 άτομα άνθρακα (C_{60}).

4. Νανοσωλήνες άνθρακα:

Οι νανοσωλήνες άνθρακα έκαναν την εμφάνιση τους για πρώτη φορά το 1952. Κατά διαστήματα, εμφανίζονταν διάφορες επιστημονικές εργασίες που ανάφεραν την παραγωγή νανοσωλήνων άνθρακα, όπως για παράδειγμα, το 1976 μια επιστημονική εργασία από τους Oberlin, Endo και Koyama περιελάμβανε εικόνες κοίλων ινών άνθρακα με διαμέτρους νανομέτρων, που παρήχθησαν με κάποια μέθοδο εναπόθεσης ατμών.

2.3.1. Δομή και ιδιότητες νανοσωλήνων άνθρακα:

Δομή

Οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν διάμετρο από 1 μέχρι και μερικές δεκάδες νανόμετρα, ενώ το μήκος τους μπορεί να φθάσει μέχρι και το 1mm.

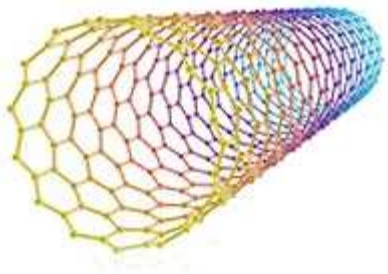
Οι νανοσωλήνες άνθρακα διαχωρίζονται σε τρείς κατηγορίες:

a) Μονοφλοιϊκοί ή μονού τοιχίου νανοσωλήνες άνθρακα SWCNTs (Single-Walled Carbon Nanotubes):

Μονοφλοιϊκοί ή μονού τοιχίου, ονομάζονται οι νανοσωλήνες άνθρακα στους οποίους υπάρχει μόνο ένας σωλήνας και καθόλου επιπλέον στρώματα γραφίτη.

Εικόνα 57:

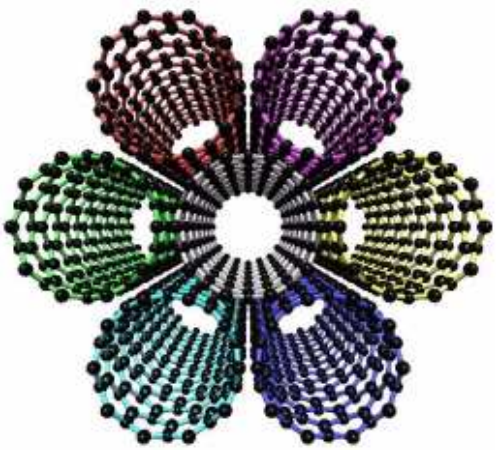
Μονοφλοιϊκός νανοσωλήνας άνθρακα



Οι μονοφλοιϊκοί νανοσωλήνες άνθρακα μπορούν να ενωθούν σε ένα σύμπλεγμα και να δημιουργήσουν τις συστοιχίες μονοφλοιϊκών νανοσωλήνων άνθρακα, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην ίδια κατεύθυνση όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχήμα.

Εικόνα 58:

Συστοιχία μονοφλοιϊκών νανοσωλήνων άνθρακα



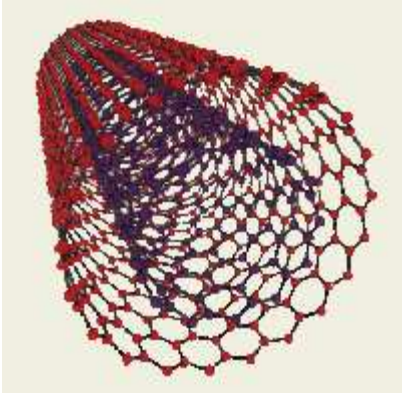
Οι νανοσωλήνες σε αυτή την περίπτωση είναι συνδεδεμένοι με ασθενείς δυνάμεις Van der Waals και δημιουργούν μεταξύ τους ένα δισδιάστατο τριγωνικό πλέγμα. Η σύνθεση των μονοφλοιϊκών νανοσωλήνων άνθρακα σε συστοιχίες διευκόλυνε την παραγωγή πρακτικών ποσοτήτων νανοσωλήνων

b) Πολυφλοιϊκοί ή διπλού τοιχίου νανοσωλήνες άνθρακα DWCNTs (Double-Walled Carbon Nanotubes):

Πολυφλοιϊκοί ή διπλού τοιχίου, ονομάζονται εκείνοι οι νανοσωλήνες άνθρακα που διαθέτουν ένα κεντρικό σωλήνα ο οποίος περιβάλλεται από ένα στρώμα γραφίτη.

Εικόνα 59:

Πολυφλοιϊκός νανοσωλήνας άνθρακα

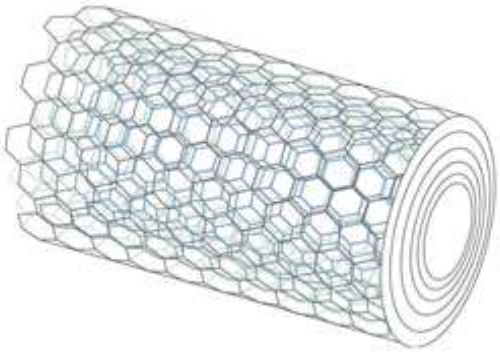


c) Πολυφλοιϊκοί ή πολλαπλών τοιχίων νανοσωλήνες άνθρακα MWCNTs (Multi-Walled Carbon Nanotubes):

Πολυφλοιϊκοί ή πολλαπλών τοιχίων ονομάζονται εκείνοι οι νανοσωλήνες άνθρακα ό-που διαθέτουν ένα κεντρικό σωλήνα ο οποίος περιβάλλεται από ένα ή περισσότερα στρώματα γραφίτη.

Εικόνα 60:

Πολυφλοιϊκός ή πολλαπλών τοιχίων νανοσωλήνας άνθρακα



Ιδιότητες νανοσωλήνων άνθρακα

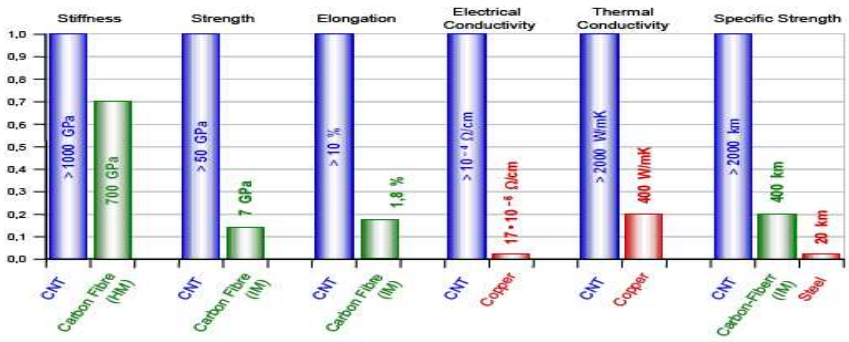
Οι νανοσωλήνες άνθρακα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων, οι οποίες αφορούν:

- Ηλεκτρικές ιδιότητες.
- Θερμικές ιδιότητες.
- Μηχανικές ιδιότητες.

Σύμφωνα με τις πιο πάνω ιδιότητες, οι νανοσωλήνες άνθρακα μπορούν να χρησιμοποι-ηθούν σε πολλές τρέχουσες αλλά και μελλοντικές εφαρμογές.

Πίνακας 2.μ:

Πίνακας σύγκρισης των ιδιοτήτων των νανοσωλήνων άνθρακα έναντι των συμβατικών υλικών



2.3.2 Σύνθεση νανοσωλήνων άνθρακα:

Ορισμός:

Ως σύνθεση νανοσωλήνων άνθρακα ορίζεται η τεχνική ή οι τεχνικές με τις οποίες μπορούν να παρασκευαστούν νανοσωλήνες άνθρακα.

Τεχνικές σύνθεσης-παρασκευής νανοσωλήνων άνθρακα:

Οι τεχνικές σύνθεσης-παρασκευής νανοσωλήνων άνθρακα χρησιμοποιούνται ουσιαστικά για την παραγωγή νανοσωλήνων άνθρακα. Οι νανοσωλήνες που παράγονται από αυτές τις τεχνικές είναι πολυφλοιϊκοί ή μονοφλοιϊκοί. Ο διαχωρισμός τους σε αυτές τις κατηγορίες (πολυφλοιϊκοί ή μονοφλοιϊκοί) καθορίζεται από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγής τους.

Οι τεχνικές σύνθεσης-παρασκευής των νανοσωλήνων άνθρακα είναι οι εξής:

1) Ηλεκτρική εκκένωση (arc-discharge).
2) Εξάχνωση γραφίτη με τη χρήση δεσμών λέιζερ (Laser Ablation)
3) Χημική εναπόθεση μέσω ατμών (CVD-Chemical Vapor Deposition)
4) Μετατροπή του CO με υψηλή πίεση (HiPCO - high-pressure conversion of carbon monoxide)

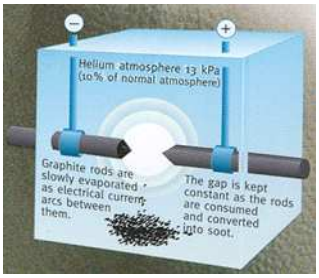
Ανάλυση των πιο πάνω τεχνικών:

2.3.2.1 Ηλεκτρική εκκένωση (arc-discharge):

➔ Η ηλεκτρική εκκένωση (arc-discharge) είναι η τεχνική η οποία βασίζεται στην δημιουργία ηλεκτρικού τόξου μέσω δύο πόλων καθαρού γραφίτη, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως άνοδος και κάθοδος. Οι δύο πόλοι πλησιάζουν σε ατμόσφαιρα ηλίου και εφαρμόζεται μια τάση μέχρι να επιτευχθεί ένα σταθερό ηλεκτρικό τόξο

Εικόνα 61:

Μηχανισμός ηλεκτρικής εκκένωσης



Κατά τη δημιουργία του ηλεκτρικού τόξου παρατηρείται κατανάλωση της ανόδου ενώ το τηγμένο υλικό επικάθεται πάνω στην κάθοδο. Στη συνέχεια παρατηρείται ένα κέλυφος τηγμένου υλικού και ένας μαλακότερος ινώδης πυρήνας, που περιέχει νανοσωλήνες και άλλα σωματίδια άνθρακα.

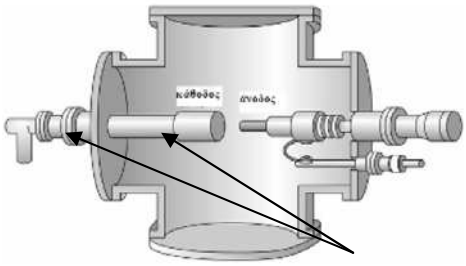
Για την επίτευξη της δημιουργίας νανοσωλήνων άνθρακα, εισάγεται στα ηλεκτρόδια πρόσμειξη από μεταλλικό καταλύτη.

Η τεχνική arc-discharge παρουσιάζει ένα μειονέκτημα, έναντι των άλλων τεχνικών παραγωγής νανοσωλήνων άνθρακα με χρήση αερίου, το οποίο είναι ότι:

- Οι νανοσωλήνες άνθρακα που παράγονται δεν είναι αμιγείς και θα πρέπει να ακολουθηθούν κάποιες επιπλέον διαδικασίες απομόνωσης τους.

Εικόνα 62:

Τομή της συσκευής παραγωγής νανοσωλήνων άνθρακα με τη χρήση της τεχνικής ηλεκτρικής εκκένωσης



Άνοδος και κάθοδος αντίστοιχα

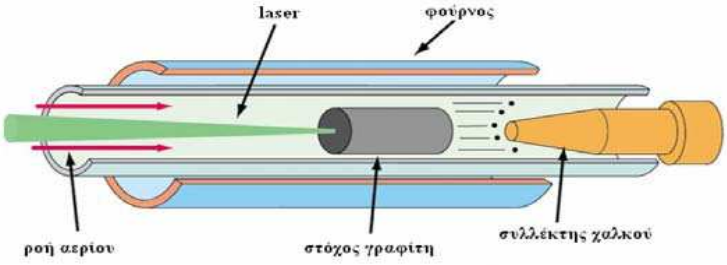
2.3.2.2 Εξάχνωση γραφίτη με τη χρήση δεσμών λέιζερ (Laser Ablation):

➔ Η εξάχνωση γραφίτη με τη χρήση δεσμών λέιζερ (Laser Ablation) είναι η τεχνική η οποία βασίζεται σε εξάχνωση δείγματος με δέσμη λέιζερ.

Η εξάχνωση ενός γραφιτικού δείγματος/στόχου, πραγματοποιείται σε ένα φούρνο ελεγχόμενης ατμόσφαιρας όπου αναπτύσσονται θερμοκρασίες κοντά στους $1200^0 C$. Το γραφιτικό δείγμα περιέχει προσμείξεις από καταλύτες κοβαλτίου και νικελίου. Στη συνέχεια το παραγόμενο υλικό συλλέγεται σε ένα υδρόψυκτο συλλέκτη

Εικόνα 63:

Μηχανισμός για την παρασκευή νανοσωλήνων άνθρακα μέσω της τεχνικής Laser Ablation σε τομή



Η τεχνική Laser Ablation, όπως αναφέρθηκε και στην πιο πάνω τεχνική arc-discharge, παρουσιάζει ένα μειονέκτημα έναντι των τεχνικών που χρησιμοποιούν αέριο για την παραγωγή νανοσωλήνων και το οποίο είναι ότι:

- Οι παραγόμενοι νανοσωλήνες άνθρακα δεν είναι και τόσο αμιγείς, καθώς εμπεριέχουν στη δομή τους διάφορα ξένα σωματίδια και χρειάζονται περαιτέρω διαδικασίες καθαρισμού.

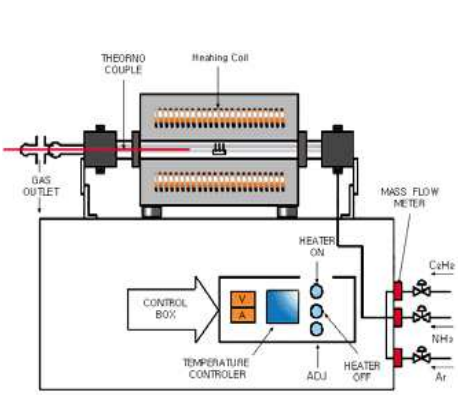
2.3.2.3 Χημική εναπόθεση μέσω ατμών (CVD-Chemical Vapor Deposition):

➔ Η τεχνική της χημικής εναπόθεσης μέσω ατμών (CVD-Chemical Vapor Deposition) είναι βασισμένη στην χρησιμοποίηση υδρογονανθράκων για την παραγωγή νανοσωλήνων άνθρακα μονού και διπλού τοιχίου.

Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται, ως πηγή άνθρακα, υδρογονάνθρακες σε αέρια μορφή, οι οποίοι πυρολύονται πάνω στις επιφάνειες διαφόρων υλικών, σε χαμηλές θερμοκρασίες, οδηγώντας έτσι σε επιφανειακή επίστρωση νανοσωλήνων.

Εικόνα 64:

Αριστερά η σχηματική διάταξη της χημικής εναπόθεσης ατμών (CVD) και στα δεξιά η μορφή της συσκευής





Ουσιαστικά οι χαμηλές θερμοκρασίες επιδρούν στην καθαρότητα των παραγόμενων νανοσωλήνων, με τους νανοσωλήνες άνθρακα να εναποτίθενται σε μια ποικιλία υποστρωμάτων, περιλαμβανομένου και του γυαλιού.

2.3.2.4 Μετατροπή του CO με υψηλή πίεση (HiPCO- high-pressure conversion of carbon monoxide):

➔ Η τεχνική μετατροπής του CO (μονοξειδίου του άνθρακα) με υψηλή πίεση, είναι βασισμένη στην παραγωγή νανοσωλήνων άνθρακα μέσω του αερίου CO.

Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιεί το CO σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις (συγκεκριμένα $1200^0 C$ και $10 atm$), όπου παρασκευάζονται νανοσωλήνες άνθρακα μονού τοιχίου.

2.3.3 Νανοσωλήνες άνθρακα ως ενισχυτικό μέσο σε σύνθετα υλικά:

Από την ανακάλυψη τους, οι CNTs (νανοσωλήνες άνθρακα) έχουν ενταχθεί σε επίπεδο επιστημονικής έρευνας σχετικά με την ενίσχυση των ιδιοτήτων των συνθετικών υλικών.

Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των σύνθετων υλικών αλουμίνιο, γυαλί, καρβίδιο του πυριτίου και άνθρακας. Έχει παρατηρηθεί ότι οι ίνες άνθρακα παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες έναντι των συμβατικών υλικών, όπως:

Δυσκαμψία:

$230 - 725 GPa$

Αντοχή:

$1{,}5 - 4{,}8 GPa$

Σε σύγκριση με τις συμβατικές ίνες άνθρακα, οι νανοΐνες άνθρακα που παρασκευάζονται σε αέρια φάση παρουσιάζουν διαμέτρους της τάξης των 100nm και μήκη μεταξύ 20 και 100μm. Αυτές οι μικρές διάστασης σημαίνουν πολύ υψηλότερη ειδική επιφάνεια ανά μονάδα όγκου απ' ότι σε συμβατικές ίνες άνθρακα, επιτρέποντας έτσι πολύ μεγαλύτερη αλληλεπίδραση με τις μήτρες των σύνθετων υλικών. Επίσης, οι νανοΐνες άνθρακα παρουσιάζουν εντυπωσιακές μηχανικές ιδιότητες, με μέτρο ελαστικότητας της τάξης των $100 - 1000 GPa$ και αντοχές στα $3{,}5 GPa$.

Ωστόσο, το απόλυτο υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση των σύνθετων υλικών είναι οι CNTs, οι οποίοι έχουν διαμέτρους από 1-100nm και μήκη που φτάνουν τα χιλιοστόμετρα. Η πυκνότητα των CNTs είναι $\sim 1,3\frac{gr}{cm^3}$ και το μέτρο ελαστικότητας τους παρουσιάζει τιμές που ξεπερνούν το $1TPa$. Αυτό που επίσης διαχωρίζει τους CNTs από τις ίνες άνθρακα είναι ότι έχουν κατά πολύ υψηλότερη αντοχή (συγκεκριμένα $63GPa$), ενώ ακόμα και οι πιο ασθενέστεροι τύποι CNTs παρουσιάζουν υψηλότερη αντοχή από τις ίνες άνθρακα.

2.3.3.1 Απαιτήσεις για μηχανική ενίσχυση στα σύνθετα υλικά:

Οι απαιτήσεις για μηχανική ενίσχυση στα σύνθετα υλικά βασίζονται στα εξής στοιχεία:

i.Μεγάλος λόγος διαστάσεων:

Ο λόγος διαστάσεων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος για να μεγιστοποιηθεί η μεταφορά μηχανικού φορτίου στους CNTs και επίσης για να βελτιωθεί η αντοχή και η δυσκαμψία του συνθέτου.

ii.Καλή διασπορά των CNTs:

Πρέπει να υπάρχει ομοιόμορφη διασπορά των CNTs έτσι ώστε ο κάθε νανοσωλήνας άνθρακα να είναι απομονωμένος και να περιβάλλεται από πολυμερή. Αυτό είναι αναγκαίο να συμβεί, καθώς έτσι κατανέμονται πιο ομοιόμορφα οι τάσεις στο δίκτυο των CNTs και αποφεύγεται η παρουσία κέντρων συγκέντρωσης τάσεων.

iii.Ευθυγράμμιση:

Η ευθυγράμμιση στα σύνθετα υλικά είναι αναγκαία, από γεωμετρικής άποψης, γιατί έτσι αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου και μεγιστοποιείται η αντοχή και η δυσκαμψία του. Όμως η ευθυγράμμιση δεν είναι πάντοτε ευεργετική καθώς στα ευθυγραμμισμένα σύνθετα υλικά παρουσιάζονται πολύ ανισότροπες μηχανικές ιδιότητες. Αντίθετα, στις ίνες η ευθυγράμμιση είναι ένας καλός τρόπος να μεγιστοποιηθεί η ενίσχυση του υλικού.

iv.Διεπιφανειακή μεταφορά τάσεων:

Η διεπιφανειακή μεταφορά τάσεων είναι ουσιαστικά οι τάσεις που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του υλικού, και συγκεκριμένα στους νανοσωλήνες άνθρακα, δημιουργώντας έτσι ένα δυσανάλογο καταμερισμό του φορτίου στην διεπιφάνεια του υλικού. Οι τάσεις αυτές είναι ανάλογες της διατμητικής τάσης του πολυμερούς στη διεπιφάνεια, που εί-

ναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης μηχανικής τάσης σε χαμηλές παραμορφώσεις. Σε μερικές κρίσιμες εφαρμοζόμενες τάσεις, η διεπιφάνεια θα αστοχήσει. Σε αυτό το σημείο, η διατμητική τάση που εμφανίζεται στο πολυμερές είναι γνωστή ως διεπιφανειακή διατμητική τάση (IFSS).

Το μειονέκτημα στην διεπιφανειακή διατμητική τάση είναι ότι δεν μπορεί να μετρηθεί ενώ μπορεί να φανεί μόνο με φασματοσκοπία Raman. Αυτό που έγινε ήταν να εφαρμοστεί ένα μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό της IFSS, με αποτέλεσμα να εμφανιστεί ένα μεγάλο εύρος αποτελεσμάτων, από 50-100MPa. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι για CNTs διασυνδεδεμένους μη ομοιοπολικά με τη πολυμερική μήτρα.

Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι για διασυνδεδεμένα συστήματα CNTs με την πολυμερική μήτρα παρουσιάζεται θρυμματισμός επαγόμενος από τάση (κατά την εφαρμογή τάσεων). Επίσης εμφανίζεται ένα τηλεσκοπικό ξετύλιγμα του CNT, στο εσωτερικό του, ενώ ο εξωτερικός σωλήνας παραμένει προσκολλημένος στην πολυμερική μήτρα.

2.3.3.2 Τρέχουσες τεχνικές παρασκευής νανοσύνθετων με ενσωματωμένα CNTs:

Οι τρέχουσες τεχνικές παρασκευής νανοσύνθετων με CNTs (νανοσωλήνες άνθρακα), είναι οι εξής:

1) Ανάμειξη τήγματος (melt blending):

Σε αυτή την τεχνική, θερμοπλαστικά πολυμερή και CNTs αναμειγνύονται και μέσω μιας υδραυλικής πρέσας συμπιέζονται σε υψηλή θερμοκρασία για την παραγωγή νανοσύνθετων υμενίων.

2) Ανάμειξη διαλυμάτων (solution mixing):

Σε αυτή την τεχνική, η ανάμειξη των διαλυμάτων γίνεται με διάφορους τρόπους, όπως:

a. Διάλυση της πολυμερικής μήτρας σε κατάλληλο διαλύτη, έτσι ώστε να έχουμε παραγωγή του επιθυμητού διαλύματος.
b. Διασπορά των νανοσωλήνων μέσα σε διάλυμα ώστε να παραχθεί εναιώρημα.
c. Ανάμειξη του διαλύματος και του εναιωρήματος.
d. Χύτευση του νέου μείγματος ώστε να υπάρξει εξαέρωση του διαλύτη και παραγωγή των τελικών σύνθετων.

3) Απευθείας ανάμειξη (direct mixing):

Σε αυτή την τεχνική αναμιγνύονται οι νανοσωλήνες άνθρακα με μια χαμηλού ιξώδους προ-πολυμερισμένη μήτρα. Στη συνέχεια ακολουθεί η χύτευση του μίγματος και ο πολυμερισμός γίνετε στο καλούπι (in situ πολυμερισμός).

2.3.3.3 Τεχνολογικά προβλήματα σε πολυμερικά σύνθετα με ενίσχυση νανοσωλήνων άνθρακα:

Έχει διαπιστωθεί ότι στις πιο πάνω τρέχουσες μεθόδους παραγωγής σύνθετων υλικών με νανοσωλήνες άνθρακα, συχνά δεν μπορεί να παραχθεί ένα ομοιογενές υλικό που να έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε νανοσωλήνες και να παρουσιάζει τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες, λόγω κάποιων τεχνολογικών προβλημάτων που εμφανίζονται. Τα πιο σημαντικά προβλήματα αναλύονται πιο κάτω:

❒ Μη-ομοιόμορφη διασπορά νανοσωλήνων:

Δεν έχει παρατηρηθεί ομοιόμορφη διασπορά νανοσωλήνων στο μείγμα ρητίνης νανοσωλήνων, που κατασκευάζονται με τις τεχνικές ανάμειξης τήγματος (melt blending) και απευθείας ανάμειξης (direct mixing), λόγω του υψηλού ιξώδους. Τα αποτελέσματα που προκαλούνται είναι η χαμηλή μεταφορά μηχανικών τάσεων και η ολίσθηση των δεματιών από νανοσωλήνες.

❒ Πτωχή διεπιφανειακή πρόσφυση:

Πτωχή διεπιφανειακή πρόσφυση παρατηρήθηκε και στις τρείς τεχνικές, λόγω της χημικής σταθερότητας των νανοσωλήνων και επίσης στην ανομοιόμορφη κατανομή των νανοσωλήνων στην μήτρα ρητίνης.

Οι νανοσωλήνες άνθρακα συγκρατούνται στην μήτρα ρητίνης με δεσμούς Van der Walls και όχι με χημικούς δεσμούς. Γι’ αυτό τον λόγο, τα σύνθετα που σχηματίζονται δεν έχουν επαρκή διεπιφανειακή πρόσφυση, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μια ασήμαντη αύξηση στο μέτρο ελαστικότητας, την αντοχή και την τάση θραύσης.

❒ Χαμηλή περιεκτικότητα σε νανοσωλήνες:

Για να παρασκευάσει κανείς ένα σύνθετο υλικό υψηλής αντοχής θα πρέπει να λάβει υπόψη του την αναλογία του υλικού ενίσχυσης, που σε αυτή τη περίπτωση είναι οι νανοσωλήνες άνθρακα.

Η κατάλληλη επιλογή του τύπου, της ποσότητας και του προσανατολισμού των νανοσωλήνων παίζει ένα σημαντικό ρόλο, καθώς έτσι επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά του σύνθετου, όπως:

- Το ειδικό βάρος.
- Η αντοχή σε εφελκυσμό.
- Η αντοχή σε συμπίεση.
- Το μέτρο ελαστικότητας.
- Η αντοχή σε κόπωση καθώς και οι μηχανισμοί αστοχίας από κόπωση.
- Οι ηλεκτρικές και θερμικές αγωγιμότητες του υλικού.

Σε πειράματα που έγιναν, βάση των πιο πάνω μεθόδων, η περιεκτικότητα που εμφανίστηκε ήτανε μόλις 8% κατά βάρος και είχε σαν αποτέλεσμα το σύνθετο να έχει υποδεέστερες μηχανικές ιδιότητες.

❒ Μη-ελεγχόμενος προσανατολισμός νανοσωλήνων:

Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι από μόνοι τους ανισότροπα μόρια. Για να εκμεταλλευτούμε λοιπόν τις άριστες μηχανικές και λειτουργικές ιδιότητες τους, θα πρέπει να τους ευθυγραμμίσουμε, χρησιμοποιώντας κάποια τεχνική ευθυγράμμισης. Τα περισσότερα πειράματα που έγιναν σε αυτό το πεδίο (δηλαδή ενίσχυση σύνθετων υλικών με νανοσωλήνες άνθρακα) δεν παρουσίασαν κάποια ευθυγράμμιση. Ωστόσο, με τη χρήση ισχυρών ομογενών μαγνητικών πεδίων (της τάξης των 25T) έχει παρατηρηθεί μια κάποια ευθυγράμμιση.

❒ Πτωχή μεταφορά μηχανικών τάσεων μεταξύ των τοιχίων των MWCNTs (νανοσωλήνες άνθρακα πολλαπλών τοιχίων):

Η πτωχή μεταφορά μηχανικών τάσεων μεταξύ των τοιχίων των MWCNTs οφείλεται στην μεταφορά των τάσεων από τη ρητίνη μόνο στο εξωτερικό τοιχίο τους. Επειδή οι MWCNTs συγκρατούνται μεταξύ τους με ασθενείς δυνάμεις Van der Walls, προκαλείται ολίσθηση στους εσωτερικούς νανοσωλήνες.

Τα περισσότερα πειράματα που έγιναν έδειξαν ασθενή πρόσφυση μεταξύ του εξωτερικού και των εσωτερικών τοιχίων των νανοσωλήνων.

Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει ιδιαίτερα στον εφελκυσμό, λόγω του ότι μόνο τα εξωτερικά τοιχία των νανοσωλήνων άνθρακα είναι προσδεδεμένα με το πολυμερές.

2.3.3.4 Η αναγκαιότητα επιφανειακής τροποποίησης των νανοσωλήνων:

Για την επιφανειακή τροποποίηση των νανοσωλήνων άνθρακα κατά την ενσωμάτωση τους στο σύνθετο υλικό, είναι σημαντική η χρήση χημικών αντιδραστηρίων. Αυτά τα χημικά αντιδραστήρια μπορούν να βελτιώσουν:

- Τη διασπορά των νανοσωλήνων στη μήτρα.
- Τη συμβατότητα τους με τη μήτρα (δηλαδή χημική συγγένεια της μήτρας του σύνθετου υλικού με τον νανοσωλήνα άνθρακα).
- Τη διεπιφανειακή πρόσφυση μεταξύ μήτρας και νανοσωλήνων (δηλαδή την βελτίωση μεταφοράς μηχανικών τάσεων από τη μήτρα στους νανοσωλήνες).

Όμως σε μερικές εφαρμογές των νανοσωλήνων άνθρακα απαιτείται ο νανοσωλήνας να είναι υψηλής καθαρότητας. Η καθαρότητα του νανοσωλήνα άνθρακα εξαρτάται από τη χημική αδράνεια του γραφιτικού δικτύου και αυτό αποτελεί ένα εμπόδιο στην παρασκευή σύνθετων υλικών. Για την αύξηση λοιπόν της καθαρότητας του γραφιτικού δικτύου θα πρέπει να γίνει οξείδωση της επιφάνειας του νανοσωλήνα με συγκεκριμένες μεθόδους, οι οποίες είναι:

- Υγρές χημικές μέθοδοι.
- Φωτο-οξείδωση.
- Χρήση πλάσματος οξυγόνου.
- Επεξεργασία αέριας φάσης.

Αυτές οι χημικές μέθοδοι αυξάνουν τη καθαρότητα του υλικού και προάγουν τη χημική ενεργότητα του γραφιτικού δικτύου.

Κατά τον καθαρισμό των νανοσωλήνων άνθρακα με την μέθοδο της οξείδωσης, επικάθονται στην επιφάνεια τους οξυγονούχες ομάδες όπως το καρβοξύλιο και το υδροξύλιο. Η παρουσία αυτών των οξυγονούχων ομάδων διευκολύνει:

1. Τον διαχωρισμό των δεσμών των CNTs και
2. Την αύξηση της διασπορά τους σε πολικούς διαλύτες.

Ωστόσο οι πιο πάνω διεργασίες αυξάνουν τη πιθανότητα περαιτέρω επεξεργασίας, αναλόγως με την εφαρμογή.

Κατά τη χρήση των CNTs για την ενίσχυση σύνθετων υλικών, οι οξυγονούχες ομάδες που χρησιμοποιούνται (οι οποίες επικάθονται στο γραφιτικό δίκτυο) μπορούν να βελτιώσουν την διεπιφανειακή πρόσφυση, με αποτέλεσμα οι μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες των CNTs να μεταφέρονται στις ιδιότητες των σύνθετων υλικών.

2.3.3.5 Εναλλακτική μέθοδος παρασκευής πολυμερών σύνθετων υλικών με τη χρήση νανοσωλήνων άνθρακα:

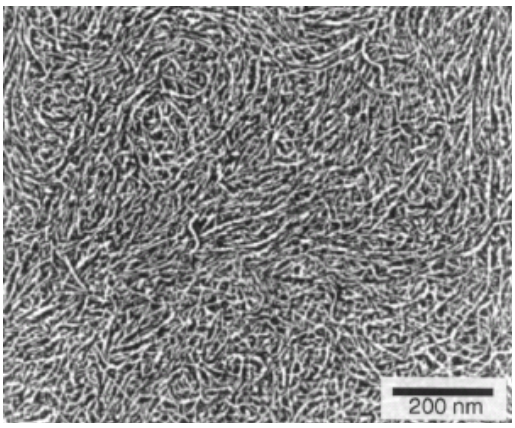
Η χρήση αυτής της εναλλακτικής μεθόδου παρασκευής πολυμερών σύνθετων υλικών με τη χρήση νανοσωλήνων άνθρακα μπορεί να επιφέρει:

- Ομοιόμορφη διασπορά νανοσωλήνων.
- Ικανοποιητική διεπιφανειακή πρόσφυση.
- Υψηλή περιεκτικότητα σε νανοσωλήνες.

Αυτή η εναλλακτική μέθοδος ονομάζεται υμένιο επιφανειακά τροποποιημένων νανοσωλήνων ή σε αγγλικό όρο, backypaper.

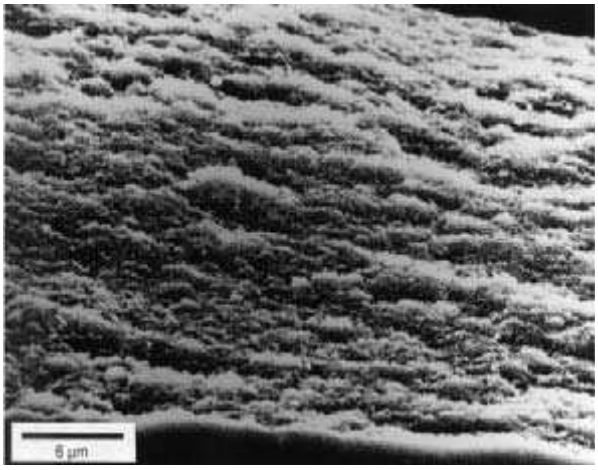
Εικόνα 65:

Επιφανειακή δομή του backypaper



Εικόνα 66:

Διατομή του backypaper.



Η μέθοδος υμενίου επιφανειακά τροποποιημένων νανοσωλήνων περιλαμβάνει τα εξής στάδια παρασκευής:

a. Τροποποίηση της επιφάνειας των νανοσωλήνων.

b. Παρασκευή σταθερού εναιωρήματος των νανοσωλήνων.

c. Διήθηση του αιωρήματος για τον σχηματισμό του υμενίου νανοσωλήνων.

d. Διαβροχή του υμενίου νανοσωλήνων με ρητίνη και εφαρμογή υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας σε αυτόκλειστο φούρνο.

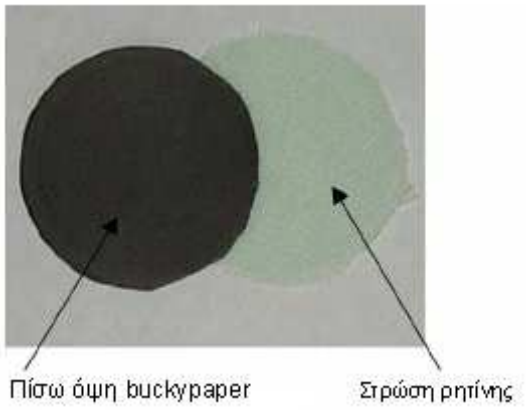
e. Το υλικό που παρασκευάστηκε βάση αυτής της μεθόδου φαίνεται πιο κάτω.

f. Διαβροχή του υμενίου νανοσωλήνων με ρητίνη και εφαρμογή υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας σε αυτόκλειστο φούρνο.

Το υλικό που παρασκευάστηκε βάση αυτής της μεθόδου φαίνετε πιο κάτω:

Εικόνα 67:

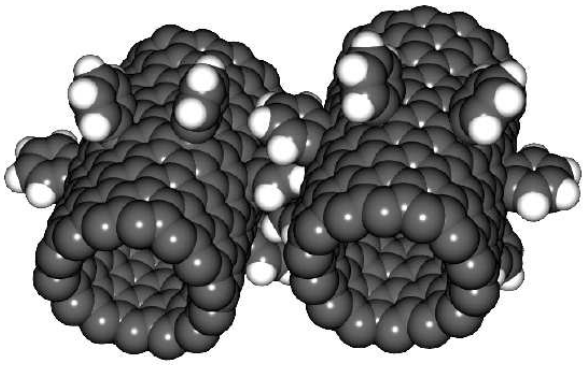
Το υλικό πριν τη διάχυση της ρητίνης



Εικόνα 68:

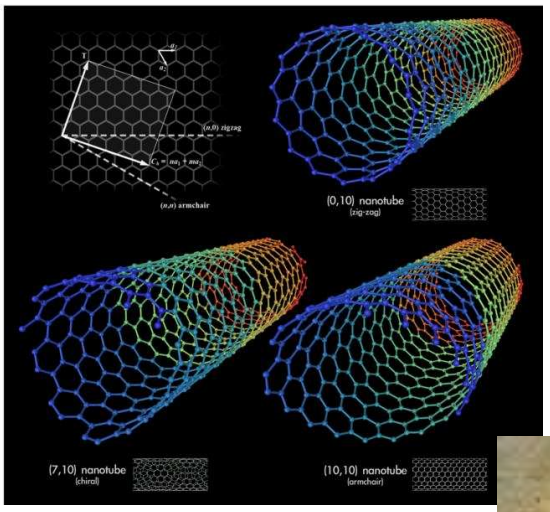
Το υλικό μετά τη διάχυση της ρητίνης





Κεφάλαιο 3

Εφαρμογές...





Στην ενότητα αυτή θα δούμε τους τομείς εφαρμογών της νανοτεχνολογίας. Δηλαδή θα παρουσιαστούν τα τεχνολογικά επιτεύγματα στον τομέα αυτό με απώτερο σκοπό την κατανόηση της εξέλιξης και ανάπτυξης στο σχετικό τεχνολογικό τομέα.
Οι εφαρμογές που παρουσιάζονται σήμερα και αυτές που σχεδιάζονται για το μέλλον, αναμένεται να φέρουν επανάσταση στον επηρεασμό της νανοδομής των υλικών ως προς την εξέλιξη των τεχνολογικών, βιομηχανικών και επιστημονικών ανακαλύψεων.

3.1 Τομείς εφαρμογών των επιστρώσεων θερμικού ψεκασμού:

Η νανοτεχνολογία η σχετική με επιστρώσεις θερμικού ψεκασμού προσφέρει την παρασκευή πουδρών νανοκρυσταλλικής δομής οι οποίες με κατάλληλες μεθόδους επίστρωσης μπορούν να επιφέρουν πιο εξελιγμένες ιδιότητες στην επιφάνεια και την δομή των επικαλυπτόμενων υλικών.
Οι τομείς εφαρμογών των επιστρώσεων θερμικού ψεκασμού είναι οι εξής:

3.1.1 Αυτοκινητοβιομηχανία:

Στην αυτοκινητοβιομηχανία οι επιστρώσεις θερμικού ψεκασμού εφαρμόζονται για την αντιδιαβρωτική προστασία διαφόρων εξαρτημάτων.
Τα εξαρτήματα αυτά κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής (HSLA), για την επίτευξη χαμηλού βάρους και υψηλής αντοχής. Επίσης τα διάφορα μέρη συγκολλούνται με τη χρήση laser για την αποφυγή των απαιτούμενων συνδέσμων (οι οποίοι για να παρασκευαστούν και να τοποθετηθούν με τον παραδοσιακό τρόπο καταναλώνεται αρκετός χρόνος) και την αύξηση της ακαμψίας
Σύμφωνα με τα πιο πάνω έχουμε αντιδιαβρωτική προστασία στα διάφορα εξαρτήματα και επίσης παράγονται ελαφρύτερα και πιο αξιόπιστα συστήματα.

3.1.2 Αεροπλάνα-Στροβιλομηχανές:

Στα αεροπλάνα και τις στροβιλομηχανές, οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού εφαρμόζονται στους εξής τομείς:

1. Αεροπλάνα-Σύστημα προσγείωσης αεροσκάφους:

Στο σύστημα προσγείωσης εφαρμοζόταν η τεχνική σκληρής επιχρωμίωσης. Όμως λόγω των υψηλών ρύπων που εκπέμπονταν στο περιβάλλον κατά τη χρήση ενώσεων χρωμίου, αυτή αντικαταστάθηκε από τη τεχνική HVOF (τεχνική θερμικού ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου). Η τεχνική HVOF έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Παρουσιάζει μειωμένους ρύπους κατά τη χρήση της.
- Διασφαλίζει το σύστημα από αστοχία και μπορεί να πραγματοποιηθεί από 4 έως και 20 φορές πάνω στο υλικό χωρίς να χρειάζεται να καταστραφεί η επικάλυψη.
- Μείωση κόστους συντήρησης και επισκευής στο σύστημα προσγείωσης του αεροσκάφους.

Εικόνα 70:

Σύστημα προσγείωσης αεροπλάνου



Οφέλη για το σύστημα προσγείωσης:

Τα οφέλη για το σύστημα προσγείωσης από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

i. Αντιδιαβρωτική προστασία σε όλες τις συνθήκες έκθεσης του συστήματος (διαβρωτικό ή όξινο περιβάλλον).
ii. Αντοχή της επιφανειακής δομής του συστήματος από οποιαδήποτε χάραξη.

2. Στροβιλομηχανές:

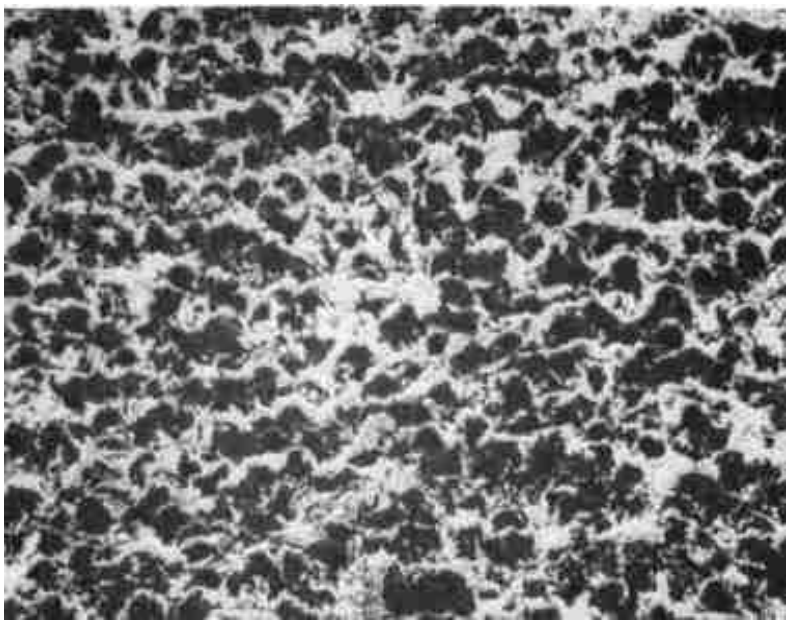
Στις στροβιλομηχανές εφαρμόζονται οι εξής τεχνικές θερμικού ψεκασμού:

a. Θερμικές επικαλύψεις με τη χρήση πλάσματος:

Η τεχνική αυτή επικαλύπτει τις διαδρομές του αέρα και των καυσαερίων στον κινητήρα έτσι ώστε η επιφανειακή δομή του υλικού να αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις που επικρατούν.

Εικόνα 71:

Δομή επικάλυψης σε στροβιλομηχανές



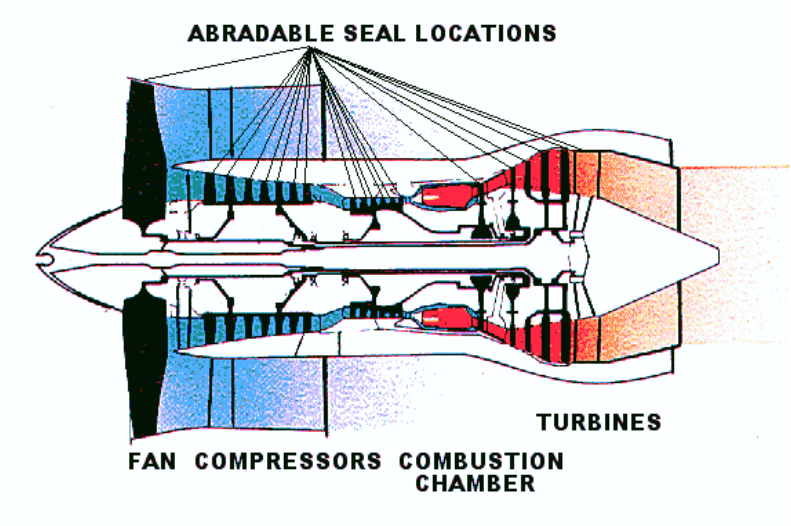
Ανάλυση της επιφανειακής επικάλυψης:

Όπως φαίνεται στην πιο πάνω επιφανειακή δομή, διακρίνονται μη λιωμένα σωματίδια και πορώδη επιφανειακή δομή. Αυτή η μορφή της επιφανειακής δομής αποσκοπεί στην επίτευξη κατάλληλης σκληρότητας της επικάλυψης και στην αντοχή στις υφιστάμενες συνθήκες λειτουργίας του στροβιλοκινητήρα.

Η επιφανειακή δομή της επικάλυψης αποτελείται από μίγμα αλουμινίου και πυριτίου, ενώ η σκλήρυνση επιτυγχάνεται με τη χρήση πούδρας πολυεστέρα

Εικόνα 72:

Περιοχές που επικαλύπτονται σε ένα στροβιλοκινητήρα



Επίσης η τεχνική θερμικού ψεκασμού με πλάσμα χρησιμοποιείται κατά την κατασκευή των στροβιλομηχανών, έτσι ώστε να έχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε δύσκολες ή ήπιες συνθήκες.

Οι επικαλύψεις θερμικού ψεκασμού αρχίζουν να διαδίδονται και να εφαρμόζονται σε στροβιλοσυμπιεστές αυτοκινήτων και σε στροβιλομηχανές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

b. <u>Θερμικές επικαλύψεις με τη χρήση της τεχνικής HVOF (τεχνική υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου) στους στροβιλοκινητήρες:</u>

Η τεχνική HVOF χρησιμοποιείται στους στροβιλοκινητήρες για την προστασία των μερών του κινητήρα που εκτίθενται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Τα μέρη που προστατεύονται με τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι:

i. Στρόβιλος,

ii. Λεπίδες ή πτερύγια ρύθμισης πίεσης εξόδου των καυσαερίων.

iii. Ρουλεμάν.

Αντίστοιχα, οι κοινές επικαλύψεις του τύπου τιτάνιο (Τ-800) και χρωμιονικελίνης χρησιμοποιούνται για την αντιδιαβρωτική προστασία στα μέρη του συμπιεστή.

Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στις θερμικές επικαλύψεις:

a. Οξείδια κεραμικών και συγκεκριμένα το ύτριο με σταθεροποιητή το υλικό ζιρκόνια (yttria-stabilized zirconia-YSZ).
b. Αλουμίνιο.
c. Ανοξείδωτος χάλυβας.

<u>Εικόνα 73:</u>

Διάφορες εικόνες στροβιλοκινητήρων







3.1.3 Ναυπηγεία:

Στον τομέα της ναυπηγικής, η εφαρμογή των θερμικών επικαλύψεων γίνεται σε εξαρτήματα μηχανών πλοίων. Η εφαρμογή γίνεται με τη χρήση της τεχνικής πλάσματος και της τεχνικής υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου.

Σκοπός και οφέλη από τη χρήση αυτών των τεχνικών:

Ο σκοπός είναι να επικαλυφθούν διάφορα ζωτικά εξαρτήματα των μηχανών πλοίων, όπως είναι η αντλία καυσίμου, τα έμβολα (διωστήρες και πιστόνια), βαλβίδες και κυλινδροκεφαλές.

Τα οφέλη από τη χρήση αυτών των τεχνικών είναι τα εξής:

a. Αντιδιαβρωτική προστασία εσωτερικά και εξωτερικά των εξαρτημάτων.
b. Προστασία από τυχόν χαράξεις στην εξωτερική αλλά και εσωτερική επιφάνεια.

3.1.4 Χημική και πετροχημική βιομηχανία:

a. Χημική βιομηχανία:

Στη χημική βιομηχανία χρησιμοποιείται η τεχνική HVOF για την προστασία διαφόρων εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στην γραμμή παραγωγής χημικών υγρών και υλικών.

Η τεχνική αυτή προστατεύει τα διάφορα εξαρτήματα από την διάβρωση που προκαλούν διάφορα χημικά παράγωγα.

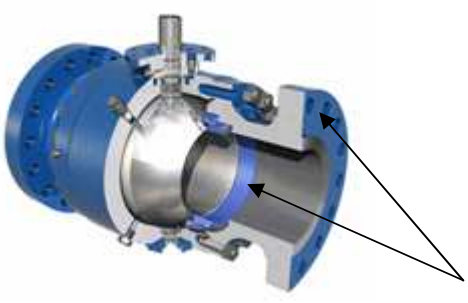
b. Πετροχημική βιομηχανία:

Στην πετροχημική βιομηχανία συναντάται το πρόβλημα της αντιμετώπισης της πίεσης σε μεγάλα βάθη της θάλασσας και της διάβρωσης από το θαλασσινό νερό σε εξαρτήματα που εγκαθίστανται για την άντληση πετρελαίου ή φυσικού αερίου, όπως φλάντζες και βαλβίδες τύπου μπίλιας.

Πιο παλιά γινόταν χρήση σφραγιστικών υλικών, τα οποία ήταν κατασκευασμένα από πολυμερή, με αποτέλεσμα να μην αντέχουν στις μεγάλες πιέσεις που προκαλούνται σε αυτά τα βάθη. Σήμερα γίνεται χρήση σφραγιστικών εξαρτημάτων (φλάντζες), οι οποίες είναι κατασκευασμένες από χάλυβα και κατεργασμένες με την τεχνική HVOF.

Εικόνα 74:

Αντλία που διαθέτει κατεργασμένες φλάντζες με την τεχνική HVOF



Φλάντζες από χάλυβα οι οποίες είναι κατεργασμένες με την τεχνική HVOF.

Αυτή η τεχνική προστατεύει τις βαλβίδες και τις φλάντζες από την εμφάνιση διάβρωσης, σπασίματος της επιφανειακής δομής του υλικού και από τις μεγάλες πιέσεις (η προστασία των φλαντζών από τις μεγάλες πιέσεις καθίσταται δυνατή από τη μικροσκληρότητα που έχει η επικάλυψη HVOF).

3.1.5 Αεροναυπηγική:

Στην αεροναυπηγική βιομηχανία εφαρμόζονται οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου (HVOF) και θερμικού ψεκασμού πλάσματος σε συνδυασμό με νανο-πούδρες.

Τα εξαρτήματα των κινητήρων που κατεργάζονται με τις προαναφερθέντες τεχνικές είναι οι τριβείς (ρουλεμάν) και οι βαλβίδες.

Οφέλη:

Τα οφέλη των συγκεκριμένων εξαρτημάτων από τη χρήση των πιο πάνω τεχνικών θερμικού ψεκασμού σε συνδυασμό με τις νανο-πούδρες είναι τα εξής:

- Αντιδιαβρωτική προστασία.
- Αντοχή στις καταπονήσεις και στις υψηλές θερμοκρασίες.

3.1.6 Χαρτοβιομηχανία:

Στο χώρο της χαρτοβιομηχανίας παρουσιάζεται το πρόβλημα της οξείδωσης σε ξηραντήρια χαρτιού. Αυτά τα μηχανήματα ξηραίνουν και συμπιέζουν τον χαρτοπολτό, έτσι ώστε το χαρτί να παρέχεται σε αποξηραμένη μορφή, χωρίς κανένα ίχνος υγρασίας.

Κατά τη διαδικασία αυτή παρουσιάζονται στα τοιχώματα των ξηραντήριων υπολείμματα χαρτιού και άλλων χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία παραγωγής χαρτιού και τα οποία συντελούν στην παρουσία οξείδωσης στα τοιχώματα

των ξηραντήριων. Η οξείδωση προκαλεί μείωση του πάχους των ξηραντήριων με αποτέλεσμα το κίνδυνο ραγίσματος και καταστροφής του. Επίσης η παραγωγή χαρτιού γίνεται σε ένα οξειδωτικό περιβάλλον με αποτέλεσμα την κάκιστη ποιότητα χαρτοπολτού.

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα εφαρμόζεται η τεχνική θερμικού ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου (HVOF), η οποία ανοικοδομεί την επιφανειακή δομή του υλικού (το οποίο είναι κατασκευασμένο από κραματοποιημένο χάλυβα).

Οφέλη:

Τα οφέλη από τη χρήση της τεχνικής HVOF είναι τα εξής:

- Αντιδιαβρωτική προστασία.
- Ψεκασμός λεπτού επιστρώματος νανο-πούδρας που ενσωματώνεται στην επιφανειακή δομή του υλικού, διασφαλίζοντας αντίσταση στην πίεση λειτουργίας του μηχανήματος.

3.1.7 Μεταλλουργία:

Ένα σημαντικό πρόβλημα που συναντάται στο τομέα της μεταλλουργίας είναι η διάβρωση.

Όπως είναι γνωστό, η διάβρωση προκαλείται από την αντίδραση της επιφάνειας του μετάλλου με το οξυγόνο, δημιουργώντας έτσι ένα σκουροκίτρινο χρώμα στην επιφάνεια του υλικού, που οδηγεί με την πάροδο του χρόνου σε απώλεια σημαντικών ποσοτήτων υλικού.

Η αντιμετώπιση της διάβρωσης είναι ένα σοβαρό θέμα για τη μεταλλουργία και μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση των τεχνικών θερμικών επικαλύψεων. Η διάβρωση δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με ειδικές αντιδιαβρωτικές μπογιές, οι οποίες αποδείχτηκαν αναποτελεσματικές, καθώς η διάβρωση συνεχίζεται κάτω από το στρώμα της μπογιάς και μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα σε διάφορα μηχανολογικά εξαρτήματα και κατασκευές.

Οι θερμικές επικαλύψεις έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώσουν στην επικαλυπτόμενη επιφάνεια τις ειδικά επεξεργασμένες πούδρες, οι οποίες αποτρέπουν τη δημιουργία διάβρωσης. Επίσης οι πούδρες αυτές έχουν τη δυνατότητα αλλαγής ή βελτιστοποίησης των μηχανικών ιδιοτήτων των μεταλλικών επιφανειών.

Εφαρμογές μεταλλικών πουδρών σε διάφορες μεταλλικές κατασκευές:

- Μεταλλικές επικαλύψεις από γαλβανισμένα υλικά:

Στις ανεμογεννήτριες και στις γέφυρες εφαρμόζονται οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού χρησιμοποιώντας πούδρες από γαλβανισμένα υλικά όπως:

- Ψευδάργυρος και αλουμίνιο: Ο ψευδάργυρος και το αλουμίνιο προστατεύουν το σίδηρο και το ατσάλι από την εμφάνιση διάβρωσης σε κατασκευές που βρίσκονται εκτεθειμένες σε θαλασσινή αύρα ή στο περιβάλλον. Η τεχνική της θερμικής επικάλυψης μεταλλικών επιφανειών έχει αποδείξει ότι είναι πολύ πιο αποδοτική από τις επικαλύψεις των μεταλλικών επιφανειών με αντιδιαβρωτικές μπογιές.

Εικόνα 75:

Γέφυρα (αριστερά) και ανεμογεννήτριες (δεξιά), όπου στα μεταλλικά τους μέρη χρησιμοποιούνται μεταλλικές επικαλύψεις





- Επικαλύψεις αντιδιαβρωτικής προστασίας:

Υπάρχουν πολλά αντιδιαβρωτικά υλικά με τα οποία μπορούν να επικαλυφθούν οι διάφορες μεταλλικές επιφάνειες. Μερικά από τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής:

- Χρωμιούχο νικέλιο και χρωμιούχο κοβάλτιο:

Οι δύο πιο πάνω συνδυασμοί υλικών μπορούν να δημιουργήσουν μια ασπίδα προστασίας κατά της διάβρωσης στις μεταλλικές επιφάνειες. Κατά την επίστρωση τους στην επιφάνεια του μετάλλου, παρουσιάζουν μια πορώδη επιφανειακή δομή, η οποία βοηθά ουσιαστικά στην μη εμφάνιση διάβρωσης. Η πορώδης επιφανειακή δομή που εμφανίζεται είναι χαμηλότερη του 1%.

- Οξείδια κεραμικών υλικών:

Τα οξείδια κεραμικών υλικών παρουσιάζουν επίσης αυξημένη αντίσταση στην εμφάνιση της διάβρωσης και μπορούν να επικαλύψουν αρκετούς τύπους μεταλλικών επιφανειών.

- Κεραμικά υλικά:

Τα κεραμικά υλικά, όπως και τα οξείδια των κεραμικών υλικών παρέχουν αυξημένη προστασία σε μεταλλικές επιφάνειες από τη διάβρωση.

- Συνδυασμός κεραμικών και μεταλλικών υλικών:

Τα κεραμικά συνδυασμένα με μεταλλικά υλικά είναι ουσιαστικά τα καρβίδια και χρησιμοποιούνται σε μορφή πουδρών. Τα καρβίδια εφαρμόζονται σε αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις μεταλλικών επιφανειών.

- Επεξεργασία αντικατάστασης της σκληρής επιχρωμίωσης:

Η επεξεργασία αντικατάστασης της σκληρής επιχρωμίωσης επιβάλλεται λόγω επιπτώσεων στην υγεία των εργαζομένων και στο περιβάλλον. Έτσι, οι σκληρές επιχρωμιώσεις αντικαθίστανται με χρήση τεχνικών θερμικού ψεκασμού.

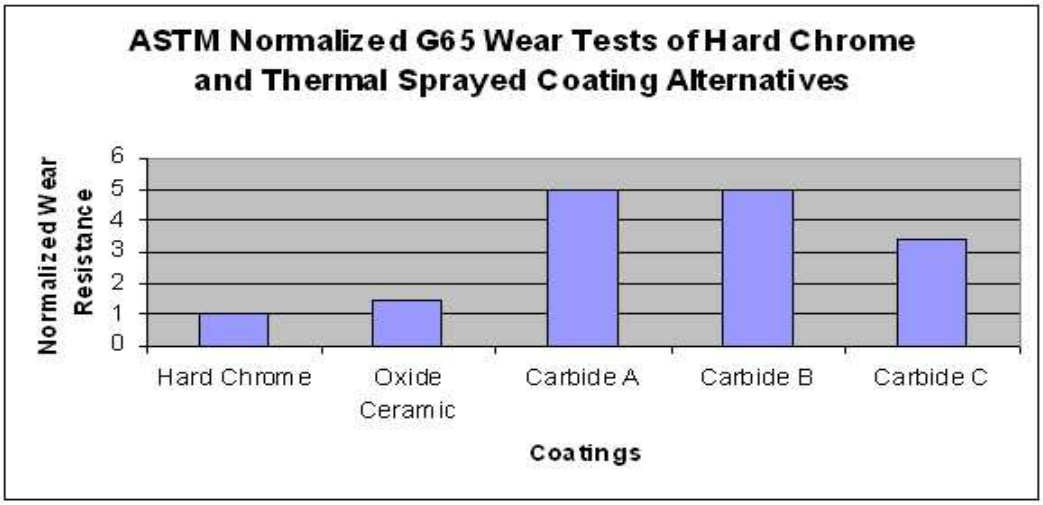
- Εναλλακτικές εφαρμογές έναντι της σκληρής επιχρωμίωσης:

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, οι εναλλακτικές εφαρμογές έναντι της σκληρής επιχρωμίωσης είναι οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού.

Λόγω της υψηλής αποδοτικότητας τους και της μη ύπαρξης καρκινογόνων σωματιδίων, οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού, είναι καλύτερες από τη σκληρή επιχρωμίωση. Επίσης, οι εφαρμογές θερμικού ψεκασμού σε συνδυασμό με τις πούδρες που χρησιμοποιούνται, διαφυλάσσουν την επιφανειακή δομή του υλικού από τυχόν διάβρωση ή γήρανση, ενώ σε πολλές περιπτώσεις, η επιφανειακή δομή του υλικού διαφυλάσσεται και από τους δύο παράγοντες.

Πίνακας 3.α:

Πίνακας που παρουσιάζει συγκριτικά το ποσοστό της αντίστασης σε διάβρωση των διαφόρων πουδρών που χρησιμοποιούνται στις τεχνικές θερμικού ψεκασμού έναντι της σκληρής επιχρωμίωσης



Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα, η σκληρή επιχρωμίωση παρουσιάζει χαμηλό βαθμό αντίστασης στη διάβρωση, ενώ οι πούδρες θερμικού ψεκασμού παρουσιάζουν ένα αυξημένο επίπεδο αντίστασης.

3.1.8 Ιατρική:

Στην ιατρική συναντώνται πολλές εφαρμογές των τεχνικών του θερμικού ψεκασμού.

Μερικοί τομείς όπου συναντώνται οι εφαρμογές θερμικού ψεκασμού στην ιατρική είναι οι εξής:

- Ηλεκτρικά εργαλεία χειρουργικής.
- Μηχανήματα ακτινών Χ.
- Μηχανήματα MRI.
- Οδοντιατρικά και ορθοπεδικά εμφυτεύματα.
- Προσθετικά.

➢ Οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού ή οι επικαλύψεις που συναντώνται στην ιατρική είναι οι εξής:

- Διηλεκτρικές επικαλύψεις:

Οι διηλεκτρικές επικαλύψεις χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη διαφόρων ηλεκτρικών ιατρικών εργαλείων.

Οι επικαλύψεις που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν συμπαγή επιφανειακή δομή και δυνατούς δεσμούς. Επίσης παρουσιάζουν λιγότερο του 1% πορώδη επιφανειακή δομή.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις διηλεκτρικές επικαλύψεις είναι τα εξής:

- Οξείδια κεραμικών υλικών:

Τα οξείδια των κεραμικών υλικών χρησιμοποιούνται στις διηλεκτρικές επικαλύψεις γιατί παρουσιάζουν:

i. Αντίσταση στη φθορά.
ii. Αντίσταση στη διάβρωση.
iii. Συμπαγή επιφανειακή δομή.
iv. Περισσότερες διηλεκτρικές ιδιότητες έναντι των πολυμερών υλικών.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοινά υλικά όπως:

i. Οξείδια αλουμινίου.
ii. Τιτάνιο.
iii. Ύτριο.

Άλλα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι πούδρες επικάλυψης και οι αναμείξεις υλικών.

- Πολυμερή.

Επίσης, στον τομέα της ιατρικής οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού χρησιμοποιούνται και για την εφαρμογή ειδικών επικαλύψεων, οι οποίες προστατεύουν ειδικά ευαίσθητα όργανα από επικίνδυνες ακτινοβολίες. Αυτές οι επικαλύψεις μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά υλικά συμπεριλαμβανόμενων και των:

- Πλαστικών.
- Ινών άνθρακα.
- Fiberglass.

Γενικότερα οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού μπορούν να εφαρμοστούν και σε πολύπλοκες επιφανειακές δομές.

- Εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού σε βιοσυμβατά ιατρικά εμφυτεύματα:

Ιατρικά εμφυτεύματα, όπως τα ορθοπεδικά ή οδοντιατρικά εμφυτεύματα, τυγχάνουν επιφανειακής επεξεργασίας με τεχνικές θερμικού ψεκασμού για να μην παρουσιάζουν επιφανειακή διάβρωση.

Οι επικαλύψεις που χρησιμοποιούνται είναι πορώδες τιτάνιο και υδροξυαπατίτης.

3.1.9 Ηλεκτρονική:

- Εφαρμογή του θερμικού ψεκασμού σε νανοδομημένες μαγνητικές επιστρώσεις για συστήματα απορρόφησης μικροκυμάτων (NAMACO):

Σε αυτή την εφαρμογή, εφαρμόζεται η τεχνική θερμικού ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου (HVOF), με τη χρήση νανοκρυσταλλικής πούδρας.

Η νανοκρυσταλλική πούδρα παράγεται με τη μέθοδο HVOF και το υλικό που την αποτελεί είναι ο φερρίτης.

Οφέλη:

Τα οφέλη από την εφαρμογή της τεχνικής HVOF με τη χρήση της νανοκρυσταλλικής πούδρας φερρίτη είναι τα εξής:

- Ικανότητα απορρόφησης μικροκυμάτων στα ηλεκτρονικά συστήματα, για την προστασία διαφόρων συσκευών και του ανθρώπου.
- Η επιφανειακή νανοδομή της πούδρας είναι μερικώς πορώδης και αυτό υποβοηθά στην καλύτερη λειτουργία του συστήματος.

- Εφαρμογή του θερμικού ψεκασμού στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συνδέσεις:

Η εφαρμογή του θερμικού ψεκασμού στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συνδέσεις ποικίλει ανάλογα με τους εξής παράγοντες:

- Υλικό κατασκευής της ηλεκτρικής ή ηλεκτρονικής σύνδεσης.
- Θερμοκρασία λειτουργίας του υλικού.
- Περιβάλλον λειτουργίας.
- Κύκλος ζωής του υλικού.

Σήμερα τα υλικά που συναντώνται στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συνδέσεις είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο και ο μόλυβδος.

- Υλικά επικάλυψης:

Τα υλικά επικάλυψης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συνδέσεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Ηλεκτρικές συνδέσεις που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες:

Στις ηλεκτρικές συνδέσεις που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιούνται τα εξής υλικά επικάλυψης:

- Μεταλλικές επικαλύψεις αλουμινίου.
- Μεταλλικές επικαλύψεις χαλκού.

Στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συνδέσεις που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες προτιμούνται οι πιο πάνω επικαλύψεις καθώς παρουσιάζουν αντίσταση στη φθορά και τη διάβρωση.

- Ηλεκτρικές συνδέσεις που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες:

Στις ηλεκτρικές συνδέσεις που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιούνται τα εξής υλικά επικάλυψης:

- Μεταλλικές επικαλύψεις σιδήρου-χρωμίου-αλουμινίου.
- Επικαλύψεις μολυβδαινίου.

Οι πιο πάνω επικαλύψεις προτιμούνται σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συνδέσεις για το λόγο ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στην υψηλή θερμοκρασία, στη φθορά και στη διάβρωση.

Επίσης οι επικαλύψεις που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ηλεκτρονικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υλικά όπως τα πολυμερή και τα πολύπλοκα κεραμικά.

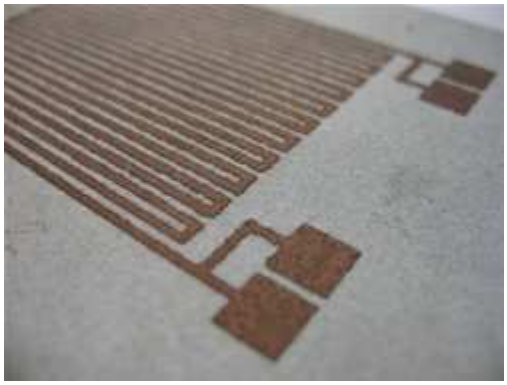
- Παραδείγματα εφαρμογών των επικαλύψεων θερμικού ψεκασμού σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα και εξαρτήματα:

Οι επικαλύψεις θερμικού ψεκασμού έχουν εφαρμοστεί και δοκιμαστεί στον τομέα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και εξαρτημάτων. Μερικά από τα παραδείγματα που εφαρμόστηκαν είναι τα εξής:

- Αντιστάσεις θέρμανσης ρευστών.
- Δακτύλιοι ολίσθησης.
- Εύκαμπτα κυκλώματα.

Εικόνα 76:

Ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο έχει επικαλυφθεί με διηλεκτρική επικάλυψη



3.1.10 Βιομηχανία τροφίμων:

Στη βιομηχανία τροφίμων γίνεται χρήση των τεχνικών θερμικού ψεκασμού για την προστασία των διαφόρων εξαρτημάτων που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα, από τη φθορά και τη διάβρωση.

- Εξαρτήματα που επικαλύπτονται και υλικά επικάλυψης:

Εξαρτήματα στεγανοποίησης σε αντλίες μεταφοράς διαφόρων υγρών τροφίμων:

Τα εξαρτήματα στεγανοποίησης (φλάντζες) σε αντλίες μεταφοράς διαφόρων υγρών τροφίμων είναι κατασκευασμένες από ατσάλι (τύπου 316L SS) και επικαλύπτονται με:

- Κεραμικά μεταλλικά υλικά όπως:
  - i. Οξείδια του χρωμίου.
  - ii. Καρβίδια.

Τα πιο πάνω υλικά περιέχουν στη δομή τους πρόσθετα τα οποία παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση στη φθορά. Επίσης η σκληρότητα που παρουσιάζουν αυτές οι επικαλύψεις είναι 1200-1500 Vickers, έτσι ώστε να μην παρουσιάζουν φθορά ακόμα και αν έρθουν σε επαφή με τρόφιμα τα οποία μπορούν να διαβρώσουν ή να φθείρουν την επιφανειακή δομή τους.

Παστεριωτές υγρών:

Οι παστεριωτές υγρών επικαλύπτονται με καρβίδια και οξείδια των κεραμικών τα ο-ποία παρουσιάζουν εξαιρετική αντίσταση στη φθορά και στη διάβρωση. Έχουν επίσης ισχυρή σκληρότητα που φτάνει τα 1200-1500 Vickers και παρουσιάζουν πολύ συμπαγή επιφανειακή δομή, εφόσον έχουν λιγότερο από 1% πορώδη επιφάνεια.

Αυτά τα υλικά επίστρωσης αντικατέστησαν τη σκληρή επιχρωμίωση η οποία ήταν επιβλαβής για την υγεία των καταναλωτών.

Άξονες αντλιών, δακτύλιοι ολίσθησης και έδρανα κύλισης:

Οι άξονες των αντλιών, οι δακτύλιοι ολίσθησης και τα έδρανα κύλισης επικαλύπτονται κυρίως με καρβίδια, τα οποία έχουν πρόσθετα για την προστασία της επιφανειακής δομής των εξαρτημάτων από τη φθορά και τη διάβρωση.

Η επικάλυψη καρβιδίων σε αυτά τα εξαρτήματα είναι η ιδανικότερη λύση έναντι της σκληρής επιχρωμίωσης.

3.1.11 Θερμικές επικαλύψεις σε άνθρακα και οπλισμένα πολυμερή:

Οι θερμικές επικαλύψεις σε άνθρακα και οπλισμένα πολυμερή, γίνονται συνήθως από αλουμίνιο ή ψευδάργυρο. Αυτές οι θερμικές επικαλύψεις προσδίδουν στην επιφανειακή δομή του υλικού καλύτερες μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες.

Όμως το μειονέκτημα σε αυτές τις εφαρμογές είναι ότι δεν χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Εφαρμογές και επιφανειακές δομές ανθρακονημάτων και οπλισμένων πολυμερών:

Εφαρμογές:

- Θερμικός ψεκασμός σε ίνες πολυμερισμένου άνθρακα:

Εικόνα 77:

Τέσσερις σωλήνες από πολυμερισμένο άνθρακα, οι οποίες έχουν επεξεργαστεί με διαφορετικές πούδρες θερμικού ψεκασμού



Ανάλυση:

Πάνω αριστερός σωλήνας:

Ο πάνω αριστερός σωλήνας είναι επικαλυμμένος με: βολφράμιο-άνθρακα-κοβάλτιο-χρώμιο (σε αναλογία 1/1/10/4 WC/10Co/4Cr).

Πάνω δεξιός σωλήνας:

Ο πάνω δεξιός σωλήνας είναι επικαλυμμένος με: νικέλιο/χρώμιο/βόριο/πυρίτιο (Ni/Cr/B/Si).

Κάτω αριστερός σωλήνας:

Ο κάτω αριστερός σωλήνας είναι επικαλυμμένος με: οξείδιο του χρωμίου (Chromium oxide).

Κάτω δεξιός σωλήνας:

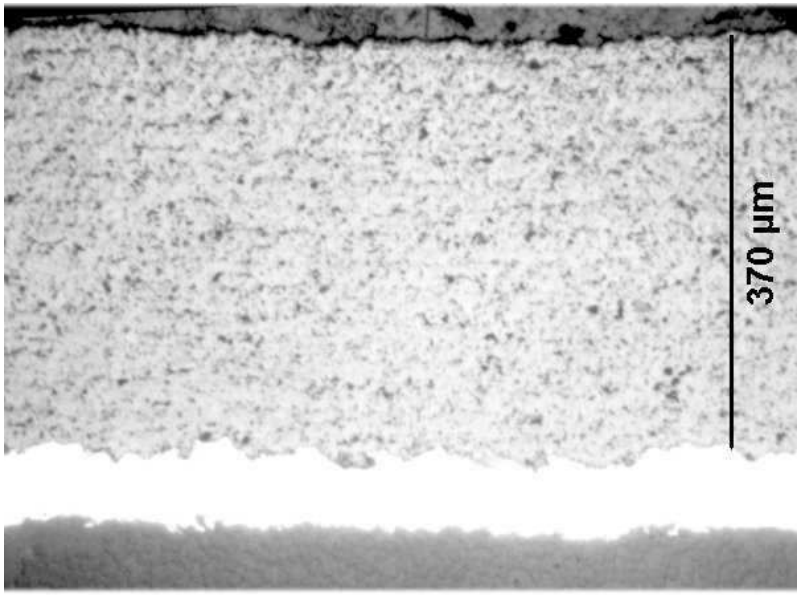
Ο κάτω δεξιός σωλήνας είναι επικαλυμμένος με αλουμίνα με 3% τιτάνιο (alumina/3% titania).

Ο θερμικός ψεκασμός σε ίνες πολυμερισμένου άνθρακα αποδίδει στο υλικό καλύτερες θερμικές, μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Επίσης, το προστατεύει από τη φθορά.

Επιφανειακές δομές:

Εικόνα 78:

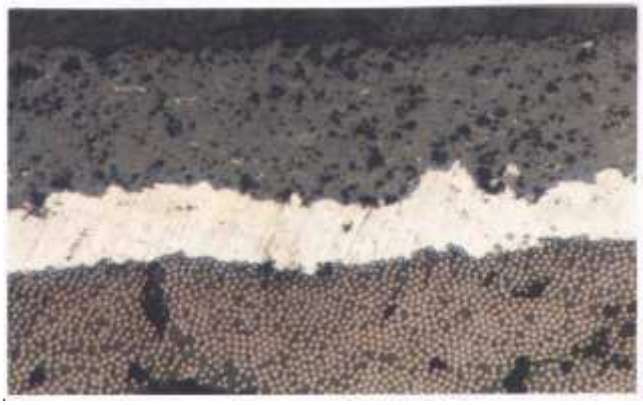
Ψεκασμός πλάσματος με οξείδιο του χρωμίου σε επιφανειακή δομή πολυμερισμένων ινών γυαλιού



Στην πιο πάνω εικόνα φαίνεται στο πάνω μέρος η επίστρωση των οξειδίων του χρωμίου, ενώ στο κάτω μέρος φαίνεται η δομή των ινών γυαλιού, η οποία είναι 370μm πάχος.

Εικόνα 79:

Ψεκασμός πλάσματος με γκρίζα αλουμίνα σε επιφανειακή δομή πολυμερισμένων ινών άνθρακα



Στην πιο πάνω εικόνα φαίνεται η πορώδης δομή του θερμικού ψεκασμού πλάσματος με αλουμίνα, ενώ στο κάτω μέρος φαίνονται καθαρά οι παραταγμένες ίνες άνθρακα.

3.1.12 Αντλίες –Υδραυλικά συστήματα:

Στις αντλίες και στα υδραυλικά συστήματα γίνεται εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού στα εξής σημεία:

- Εξωτερικά χιτώνια αντλιών.
- Έδρανα κύλισης (Ρουλεμάν).
- Φτερωτές αντλιών.

Οφέλη:

Τα οφέλη από την εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού στις αντλίες και τα υδραυλικά συστήματα είναι τα εξής:

- Προστασία από τη φθορά.
- Προστασία από τη διάβρωση.
- Μεγαλύτερος κύκλος ζωής των φτερωτών των αντλιών και γενικότερα της αντλίας.
- Αντοχή σε όξινο ή βασικό περιβάλλον.

3.1.13 Μεταφορά βιομηχανικών ορυκτών και μεταλλευμάτων:

Στον τομέα των μεταφορών βιομηχανικών και ορυκτών μεταλλευμάτων γίνεται εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού στα εξής σημεία:

- Μεταφορικά μηχανήματα μεταλλευμάτων.
- Μηχανήματα που έρχονται σε επαφή με μέταλλα μεγάλης οξύτητας.

Οφέλη:

Τα οφέλη από την εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού στον τομέα των μεταφορών των βιομηχανικών ορυκτών και των μεταλλευμάτων είναι τα εξής:

- Προστασία από μέταλλα μεγάλης οξύτητας.
- Προστασία από τη διάβρωση.
- Προστασία από τη φθορά.

3.1.14 Γεωργικά μηχανήματα-Εργαλεία:

Στον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων και εργαλείων γίνεται εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού στα εξής σημεία:

- Μεταλλικά μέρη γεωργικών μηχανημάτων.
- Εξαρτήματα τα οποία έρχονται σε επαφή με φυτοφάρμακα.

Οφέλη:

Τα οφέλη από την εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού στον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων είναι τα εξής:

- Αντιδιαβρωτική προστασία από την υγρασία και τους άλλους οξειδωτικούς παράγοντες.
- Προστασία από τη διάβρωση και τη φθορά των εξαρτημάτων τα οποία έρχονται σε επαφή με διάφορα χημικά.

3.1.15 Εργαλεία μεταλλείων-ορυχείων:

Στον τομέα των εργαλείων ορυχείων γίνεται εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού στα εξής σημεία:

- Μεταλλικά μέρη εργαλείων που έρχονται σε επαφή με ορυκτά και γενικά με το έδαφος.
- Μέρη μηχανημάτων τα οποία έρχονται σε επαφή με διαβρωτικά μέταλλα.

Οφέλη:

Τα οφέλη από την εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού στον τομέα των εργαλείων μεταλλείων, ορυχείων είναι τα εξής:

- Προστασία μεταλλικών μερών από τη διάβρωση.
- Προστασία από τη φθορά.
- Προστασία της επιφανειακής δομής των εργαλείων από τις κρούσεις.

3.2 Εφαρμογές σύνθετων και νανοσύνθετων υλικών:

3.2.1 Εφαρμογές σύνθετων υλικών:

Τα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών στην καθημερινή μας ζωή λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων τους. Σαν παράδειγμα, τα σύνθετα υλικά έχουν αντικαταστήσει μεταλλικά μέρη αεροσκαφών λόγω της υψηλής δυσκαμψίας και αντοχής που παρουσιάζουν σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές πιέσεις, που εμφανίζονται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Ακόμα έχουν αντικατασταθεί εξωτερικά καλύμματα μηχανών εσωτερικής καύσης αφενός για αισθητικούς λόγους και αφετέρου γιατί τα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν χαμηλή θερμική σταθερότητα.

Οι ιδιότητες που παρουσιάζουν τα σύνθετα υλικά είναι:

- Υψηλή δυσκαμψία.
- Υψηλή αντοχή.
- Χαμηλή πυκνότητα.
- Χαμηλή θερμική σταθερότητα.

Οι κυριότερες εφαρμογές των σύνθετων υλικών είναι οι εξής:

1. Αθλητικά είδη:

- Κράνη.
- Πέδιλα.
- Ρακέτες.
- Ποδήλατα.

Εικόνα 80:

Αθλητικά είδη όπου χρησιμοποιούνται τα σύνθετα υλικά. Αριστερά ποδήλατο και δεξιά ρακέτες.



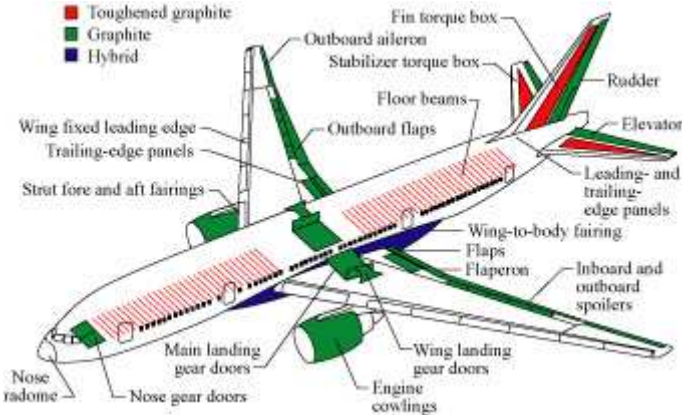
2. <u>Βιομηχανίες αεροσκαφών:</u>

- Πτέρυγες πολεμικών ή επιβατικών αεροσκαφών.
- Σκελετοί πολεμικών ή επιβατικών αεροσκαφών .
- Δοκοί.

<u>Εικόνα 81:</u>

Πολεμικό αεροσκάφος (αριστερά) και σκελετός πολιτικού αεροσκάφους (δεξιά) όπου γίνεται εφαρμογή των συνθετικών υλικών





3. <u>Σκάφη αναψυχής:</u>

- Σκαριά σκαφών.
- Δοκοί σκαφών.

<u>Εικόνα 82:</u>

Σκάφος αναψυχής όπου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του συνθετικά υλικά



4. <u>Αποθηκευτικά μέσα:</u>

- Φιάλες.
- Πιεστικά δοχεία.
- Δεξαμενές.

Εικόνα 83:

Πιεστικά δοχεία και δοχεία διαστολής κατασκευασμένα από συνθετικά υλικά



3.2.2 Εφαρμογές νανοσύνθετων υλικών:

Τα νανοσύνθετα υλικά, όπως αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 2.3, είναι ο τομέας των υλικών όπου γίνεται εφαρμογή των τεχνικών επεξεργασίας και παραγωγής των νανοσύνθετων υλικών.

Στον τομέα αυτό χρησιμοποιούνται επτά τεχνικές οι οποίες επεξεργάζονται ή παράγουν νανοσύνθετα υλικά και εφαρμόζονται στους εξής τομείς:

- Υγρή τοποθέτηση πάνω στο υλικό (Wet lay-up):

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής γίνεται στους εξής τομείς:

- Αεροναυπηγική βιομηχανία.
- Αυτοκινητοβιομηχανίες.

Οφέλη:

Τα οφέλη από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Ενίσχυση επιφανειακών δομών με ρητινούχα παρασκευάσματα.
- Βελτιστοποίηση επιφανειακών δομών με τη χρήση ρητινών ή ινών για τη τελειοποίηση της υφής της επιφανειακής δομής.
- Αντιδιαβρωτική προστασία επιφανειακών δομών.
- Προστασία από τη φθορά.

- Έλξη σωματιδίων (Pultrusion):

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής γίνεται στους εξής τομείς:

- Παραγωγή συνθετικών ινών για ενίσχυση επιφανειακών δομών.

- Επεξεργασία πολυμερισμένων ινών.

Οφέλη:

Τα οφέλη από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Ενίσχυση και ενδυνάμωση καταπονημένων επιφανειακών δομών.
- Αντιδιαβρωτική προστασία επιφανειακών δομών.
- Προστασία από τη φθορά.

➢ Καλούπωμα με μεταφορά ρητίνης (Resin Transfer Molding):

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής γίνεται στους εξής τομείς:

- Βιομηχανίες παραγωγής ημιαγωγών.
- Βιομηχανίες παραγωγής κελυφών αεροσκαφών.
- Βιομηχανίες παραγωγής πλαστικών για την επικάλυψη εξωτερικών μερών μηχανών εσωτερικής καύσης.

Οφέλη:

Τα οφέλη από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Ενίσχυση και τελειοποίηση επιφανειακών δομών με ρητίνες.
- Προστασία από τη φθορά.
- Προστασία επιφανειακών δομών από τις επιδράσεις εξωτερικού παράγοντα.
- Προστασία θερμαινόμενων μερών κινητήρων.

➢ Καλούπωμα με μεταφορά ρητίνης υποβοηθούμενο από κενό (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding):

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής γίνεται στους εξής τομείς:

- Βιομηχανίες παραγωγής θερμοσκληραινόμενων πλαστικών.
- Κατασκευή πτερών ανεμογεννητριών.
- Αεροναυπηγική βιομηχανία.
- Αυτοκινητοβιομηχανίες.

Οφέλη:

Τα οφέλη από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Τελειοποίηση επιφανειακής δομής.
- Προστασία της επιφανειακής δομής της ρητίνης από τους εξωτερικούς παράγοντες.
- Προστασία από τη διάβρωση.
- Προστασία από τη φθορά.

- Επεξεργασία σε αυτόκλειστο σύστημα (Autoclave processing):

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής γίνεται στους εξής τομείς:

- Αεροδιαστημική βιομηχανία.
- Αεροπορική βιομηχανία.

Οφέλη:

Τα οφέλη από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Βελτίωση επιφανειακών και μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού.

- Περιέλιξη νήματος (Filament winding):

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής γίνεται στους εξής τομείς:

- Σε σωλήνες.
- Σε κουπιά.
- Σε πιρούνια ποδηλάτων.
- Σε πόλους μεταβίβασης τάσης.
- Για την κατάλληλη πίεση σε πυραυλικά σκάφη.
- Σε θήκες ασφαλειών και λυχνίες σηματοδότησης.
- Σε κεραίες γιότ.
- Σε δοχεία πίεσης.

Οφέλη:

Τα οφέλη από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Υψηλή αντοχή νημάτων.
- Επιδιόρθωση και επαναφορά εξαρτημάτων που υπέστησαν ζημιά.
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης.

- Τοποθέτηση ινών (Fiber placement):

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής γίνεται στους εξής τομείς:

- Βιομηχανίες ενίσχυσης εξωτερικής επιφανειακής δομής ατράκτων ή σωλήνων.
- Αυτοκινητοβιομηχανίες

Οφέλη:

Τα οφέλη από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Αντιδιαβρωτική προστασία.
- Προστασία από τη φθορά.

3.3 Νανοσωλήνες άνθρακα:

Ο τομέας των νανοσωλήνων άνθρακα είναι ένας σημαντικότατος τομέας, καθώς μελλοντικά θα επιφέρει μεγάλα τεχνολογικά επιτεύγματα. Δεν είναι πάντως τυχαίο το ότι πολλοί μελετητές-επιστήμονες που έχουν μελετήσει τους νανοσωλήνες αναφέρονται σε πολλές δυνατότητες και ιδιότητες οι οποίες είναι:

Ιδιότητες:

- Μηχανικές ιδιότητες που υπερβαίνουν τις δυνατότητες των σιδηρούχων κραμάτων (ατσάλι) και γενικότερα των κραματωμένων μετάλλων.
- Πολύ καλές ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες.
- Μπορούν να παρουσιάσουν ιδιότητες ημιαγωγού.

Δυνατότητες:

Οι δυνατότητες που μπορούν να παρουσιάσουν οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι οι εξής:

- Μπορούν να συγκρατήσουν βάρος πολύ μεγαλύτερο από το δικό τους.
- Μπορούν να είναι διαφανείς.
- Μπορούν να αλλάξουν οι ιδιότητες τους μέσω χημικής ή ηλεκτρικής διέγερσης.

Εφαρμογές των νανοσωλήνων άνθρακα:

Οι εφαρμογές των νανοσωλήνων άνθρακα είναι οι εξής:

i. Νανοσυνθετικά υλικά:

Στον τομέα των νανοσυνθετικών υλικά οι νανοσωλήνες άνθρακα βρίσκουν εφαρμογή στα εξής:

- Ποδήλατα.
- Ρακέτες τένις.
- Μπαστούνια του γκολφ.

Οφέλη:

- Ελαφρύτερα υλικά.
- Ανθεκτικότητα στη φθορά και στη διάβρωση.

ii.Φωτοβολταϊκά στοιχεία:

Στον τομέα των φωτοβολταϊκών στοιχείων, οι νανοσωλήνες άνθρακα βρίσκουν εφαρμογή στα εξής:

- Δέκτες ηλεκτρονίων σε φωτοβολταϊκά στοιχεία.
- Υβριδικά συστήματα με βάση τους νανοσωλήνες άνθρακα.

Οφέλη:

- Προσφέρουν ιδεατή μορφολογία στο ηλιακό-φωτοβολταϊκό στοιχεία.
- Εξαιτίας των ιδιοτήτων τους μπορούν να αποτελέσουν ιδανικό συμπλήρωμα για πολλούς δότες ηλεκτρονίων.
- Καλύτερη συλλογή ηλιακού φωτός.
- Καλύτερη ενεργειακή απόδοση από τα συμβατικά υλικά.

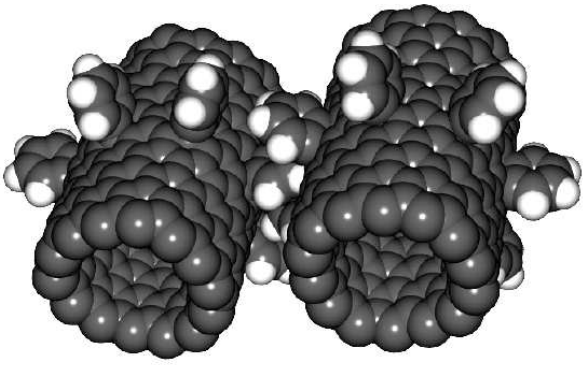
Συμπεριλαμβανομένων και των πιο πάνω τομέων, οι νανοσωλήνες άνθρακα εφαρμόζονται σε ένα μεγάλο εύρος του επιστημονικού κλάδου.

Πίνακας 3.β: Εφαρμογές των νανοσωλήνων στον ευρύτερο επιστημονικό τομέα

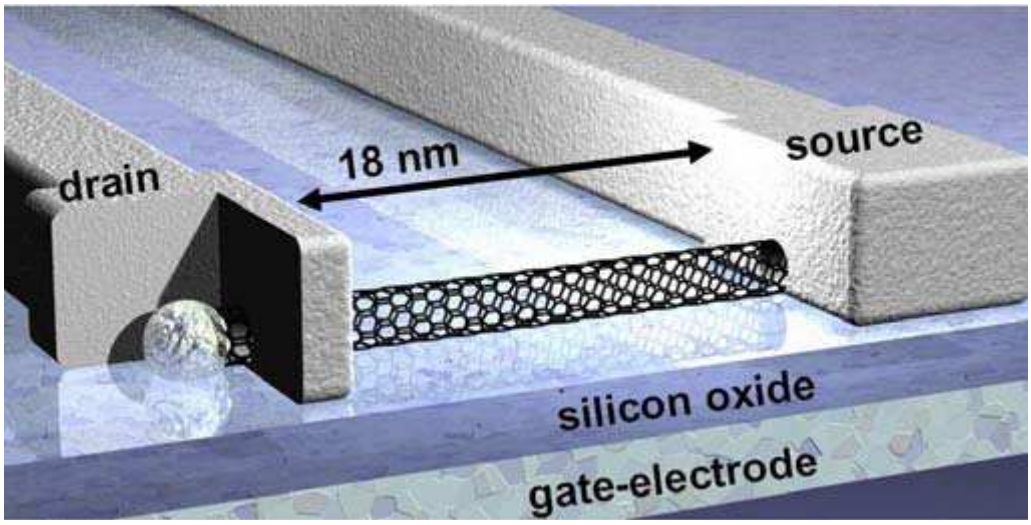
Μικροηλεκτρονική/ημιαγωγοί
Ελεγχόμενη απελευθέρωση φαρμάκων
Τεχνητοί μύες
Υπερ-πυκνωτές
Μπαταρίες
Νανο-ηλεκτρονική
Νανο-λαβίδες
Αποθήκευση δεδομένων
Νανο-τροχοί
Ενεργοποιητής νανοσωλήνας
Αποθήκευση υδρογόνου
Αποθήκευση ηλιακής ενέργειας
Μοριακά κβαντικά καλώδια
Φίλτρα διάλυσης
Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση
Υλικά προστασίας από σύγκρουση
Αεροναυτική ηλεκτρονική
Θερμική προστασία
Ενιαίες κρυσταλλολυχνίες ηλεκτρονίων
Ενισχυμένα σύνθετα με νανοσωλήνες
Ενίσχυση τεθωρακισμένων
Ενίσχυση πολυμερών

Εικόνες εφαρμογών νανοσωλήνων άνθρακα στο μέλλον:

Εικόνα 84:
Εφαρμογή των νανοσωλήνων άνθρακα ως νάνο-γραναζιών σε διάφορα μηχανικά ή ηλεκτρικά κυκλώματα



Εικόνα 85:
Εφαρμογή των νανοσωλήνων άνθρακα ως νάνο-καλωδίων σε νάνο-κυκλώματα



Διάφορες μελλοντικές εφαρμογές των νανοσωλήνων:

Εικόνα 86:

Στην αριστερή εικόνα φαίνεται μια δημοσίευση αμερικανικού επιστημονικού περιοδικού η οποία αναφέρεται σε μια πιθανή σύνδεση της γης με διαστημικούς δορυφόρους, οι οποίοι θα συγκρατούνται από νανοσωλήνες άνθρακα.





Γενικότερα τα οφέλη από τη χρήση των νανοσωλήνων είναι:

- Μείωση της χρήσης μπετόν για το κτίσιμο κατοικιών εφόσον σαν κολώνες θα χρησιμοποιούνται νανοσωλήνες άνθρακα.
- Αύξηση μηχανικών ιδιοτήτων των μεταλλικών μερών σε κινητήρες εσωτερικής καύσης έτσι ώστε να μειωθούν οι απώλειες.
- Παρασκευή καλλυντικών και άλλων μέσων καλλωπισμού από νανοσωλήνες άνθρακα, που ουσιαστικά παραπέμπει στη μείωση της χρήσης συμβατικών προϊόντων.
- Αντιτριβικές εφαρμογές σε πολλά καταπονούμενα μέρη κινητήρων.

3.4 Νανοτεχνολογία στα αυτοκίνητα:

Οι τομείς στους οποίους θα εφαρμοστεί η νανοτεχνολογία στα αυτοκίνητα είναι οι εξής:

3.4.1 Ανεμοθώρακες:

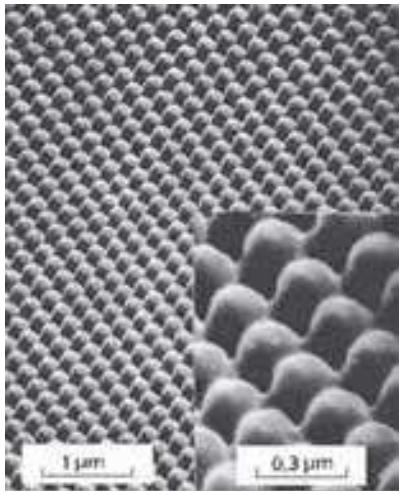
Στους ανεμοθώρακες, ο τομέας της νανοτεχνολογίας προτίθεται να εφαρμόσει το σύστημα sol-gel, το οποίο είναι μια τεχνική κολλοειδούς διαλύματος/πηκτώματος.

Η τεχνική αυτή θα προσδώσει στον ανεμοθώρακα μια σκληρή επιφανειακή δομή, η οποία δεν θα μπορεί να χαραχθεί από οποιοδήποτε αντικείμενο.

Επίσης η επιφανειακή δομή δεν θα επιτρέπει την σκέδαση των ηλιακών ακτινών με αποτέλεσμα να γίνεται απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη χειμερινή περίοδο και αποβολή αυτής κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Εικόνα 87:

Επιφανειακή δομή του ανεμοθώρακα στον οποίο εφαρμόστηκε η τεχνική sol-gel



Μια άλλη παράμετρος που θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη είναι ότι, οι ανεμοθώρακες που είναι εμπλουτισμένοι με υλικά νάνο-κλίμακας θα μπορούν μελλοντικά να είναι χρήσιμοι και στον κλιματισμό οχημάτων ή κτιρίων. Δηλαδή η παράμετρος αυτή θα μπορεί να εφαρμοστεί εφόσον ληφθεί υπόψη η αυξομειούμενη πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε ένα ανεμοθώρακα. Με βάση ένα αισθητήρα φωτός και την τάση στην έξοδο του, θα δίνεται σήμα στο κλιματιστικό για να ξεκινήσει τη λειτουργία του. Έτσι θα επιτυγχάνεται υψηλή οικονομία ενέργειας.

3.4.2 Βαφές φανοποιίας:

Οι βαφές φανοποιίας με υλικά νάνο-κλίμακας θα μπορούσαν μελλοντικά να συμβάλλουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, με διαδικασία όμοια με αυτή στα σημερινά φωτοβολταϊκά συστήματα. Η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται, θα διοχετεύεται στο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές) ή ακόμα και σε αντλίες θερμότητας για την αποβολή της θερμότητας από ένα όχημα.

3.4.3 Καταλύτες:

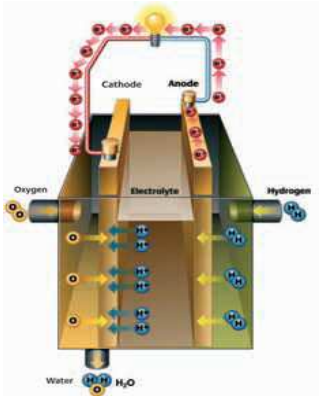
Όπως γνωρίζουμε σήμερα, οι καταλύτες παίζουν σημαντικό ρόλο και στην συλλογή των οσμών σε ένα όχημα, καθώς συλλέγουν τα επιβλαβή αέρια από την εξάτμιση.
Η νανοτεχνολογία συμβάλλει σε αυτή την εφαρμογή των καταλυτών με τα νανοσωματίδια χρυσού, τα οποία έχουν την ιδιότητα να διασπούν τα οξείδια του αζώτου και το μονοξείδιο του άνθρακα κατά την ψυχρή εκκίνηση του κινητήρα.

3.4.4 Κυψέλες καυσίμου:

Οι κυψέλες καυσίμου είναι μια ανερχόμενη τεχνολογία, στην οποία συσσωρευτής και μετατροπέας ενέργειας είναι ουσιαστικά μαζί.
Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να τροφοδοτηθούν με καύσιμο ή υδρογόνο και από τη διάσπαση του καυσίμου και τη συνένωση του υδρογόνου και του οξυγόνου να παραχθούν ιόντα με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Η διαφορά με τους συμβατικούς συσσωρευτές είναι ότι δεν χρησιμοποιούν επιβλαβή μέσα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (όπως το θειικό οξύ και ο μόλυβδος) και ότι το μόνο «απόβλητο» τους είναι το καθαρό νερό.

Εικόνα 88:

Αριστερά μια κυψέλη καυσίμου και δεξιά ένας επιστήμονας ο οποίος κατασκευάζει μια κυψέλη καυσίμου





Η νανοτεχνολογία συμβάλλει στην ανάπτυξη και στην τελειοποίηση αυτών των συστημάτων παρέχοντας κεραμικές μεμβράνες, νανοδομημένες επιφάνειες και νανοσωματίδια με καταλυτική δράση.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια, η νανοτεχνολογία έχει αποτελέσει το αντικείμενο πολλών συζητήσεων και αντιπαραθέσεων. Όμως, σε τι ακριβώς αναφερόμαστε όταν μιλάμε για τη νανοτεχνολογία; Αναφερόμαστε στην επιστήμη που αφορά τον κόσμο των ατόμων, δηλαδή το ελάχιστο μέγεθος. Αναφερόμαστε και στις τεχνολογίες, αφού μία από τις ιδιαιτερότητες της νανοτεχνολογίας είναι ότι επιτρέπει την παρατήρηση και τον έλεγχο σε επίπεδο ατόμου, κάτι που ανοίγει νέες προοπτικές στους τομείς της ιατρικής, της μηχανικής, των επικοινωνιών ή του ελέγχου ενέργειας. Αναφερόμαστε επίσης σε εφαρμογές και συνεπώς στην οικονομία και τις αγορές. Μιλάμε ωστόσο και για κινδύνους, καταχρήσεις και φόβους. Τι προφυλάξεις πρέπει να πάρουμε μπροστά στις τεχνολογίες που απασχολούν κάθε πλευρά της καθημερινής μας ζωής; Σε κάθε περίπτωση, οι τεχνολογίες που αφορούν υλικά με ελάχιστο μέγεθος απευθύνονται κυρίως σε νέες γενιές, δηλαδή σε παιδιά από 10 χρονών και πάνω.

Ο όρος νανοτεχνολογία χαρακτηρίζεται από ευρύτητα, όντας πολύ γενικός για να περιγράψει οτιδήποτε συμβαίνει στις διαστάσεις του νανομέτρου. Κατά συνέπεια, μπορεί να χωρισθεί σε πιο ειδικές ενότητες όπως αυτές της νανοηλεκτρονικής, των νανοϋλικών και άλλων. Οι εφαρμογές της είναι αναρίθμητες ενώ οι επιπτώσεις γίνονται αντιληπτές σε πολλαπλά επίπεδα, κατά κύριο λόγο στον οικονομικό τομέα, επηρεάζοντας παγκόσμια βιομηχανίες και οικονομίες, αλλά και στον κοινωνικό, βελτιώνοντας το επίπεδο ζωής μας.

Η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη δημιουργία και χρήση λειτουργικών δομών μεγέθους μεταξύ 1 και 100 νανομέτρων, της τάξεως δηλαδή του 10^{-9} μέτρων. Οι διαστάσεις γίνονται ευκολότερα αντιληπτές αν κάποιος λάβει υπόψη του ότι ένα νανόμετρο ισούται περίπου με το $\frac{1}{80000}$ μιας ανθρώπινης τρίχας ή με το μήκος 10 ατόμων υδρογόνων σε σειρά. Κατά παρόμοιο τρόπο ορίζεται και ο όρος νανοεπιστήμη, ο οποίος αναφέρεται σε επιστήμες οι οποίες μελετούν φαινόμενα στην κλίμακα αυτή.

Επιπλέον το μικρότερο σωματίδιο της ύλης, όπως το είχε αναφέρει ο Δημόκριτος, είναι το άτομο. Το άτομο, σύμφωνα με την κλασσική προσέγγιση, είναι το μόνο αδιαίρετο σωματίδιο της ύλης και το πιο σημαντικό, όπου παίζει ένα μεγάλο ρόλο στην εξέλιξη της.

Η ικανότητα «μέτρησης» του ατόμου ως προς τη δομή και ως προς τι το αποτελεί επέφερε επανάσταση στα μεταγενέστερα χρόνια και συγκεκριμένα στον τομέα της επιστήμης γιατί η ύλη μπορούσε πλέον να διασπαστεί και να συνενωθεί με άλλου τύπου ύλη και έτσι να δημιουργείται ένα πολύπλοκο σύμπλεγμα μορίων και ατόμων διαφορετικών υλικών. Έτσι, το πιο σημαντικό κομμάτι της ύλης έγινε το άτομο. Δηλαδή η επιστήμη εξετάζει πρώτα τα μικρότερα σωματίδια, τα οποία με τις αντιδράσεις τους προκαλούν τη μετατροπή ή τη διαφοροποίηση της δομής της ύλης, οδηγώντας στα υλικά με μακροσκοπικές διαστάσεις.

Αν και το πεδίο της νανοτεχνολογίας μόλις πρόσφατα άρχισε να αναπτύσσεται ουσιαστικά, οι δυνατότητες της είχαν αρχίσει να γίνονται εμφανείς ήδη από την εποχή που ο φυσικός Richard Feynman έδωσε το λόγο με τίτλο "There's Plenty of Room at the Bottom" μιλώντας για τα μεγάλα περιθώρια που αφήνουν οι νόμοι της φύσης για τον έλεγχο της ύλης σε ατομικό επίπεδο. Στη μέχρι τώρα ανάπτυξη της, σημαντικό ρόλο έπαιξαν η σημαντική βελτίωση των τεχνικών χαρακτηρισμού, ενώ σταθμοί μπορούν να θεωρηθούν οι ανακαλύψεις δομών άνθρακα σε μορφή σφαίρας, γνωστές ως φουλερένια, καθώς και σε μορφή σωλήνα, γνωστές ως νανοσωλήνες άνθρακα, με ιδιαίτερες ιδιότητες το καθένα.

Δε θα πρέπει ωστόσο να φανταστεί κάποιος πως η νανοτεχνολογία αφορά μια επιστημονική επανάσταση. Τα περισσότερα θέματα με τα οποία σχετίζεται προκύπτουν σαν λογική συνέπεια της εξέλιξης της ικανότητας της επιστήμης και της τεχνολογίας να ερευνά και να εργάζεται σε όλο και μικρότερη κλίμακα. Εξάλλου, η κατάλυση, ένα φαινόμενο που ανέκαθεν χαρακτηριζόταν από νανομετρικές διαστάσεις, αποτελεί επιστημονικό κλάδο ο οποίος αναπτύσσεται πολλές δεκαετίες. Επιπλέον, ολόκληρα επιστημονικά πεδία όπως η χημεία ή η βιολογία ανέκαθεν δούλευαν σε τέτοιες διαστάσεις παρόλο που ο όρος νανοεπιστήμη εισήχθη μόλις πρόσφατα. Σήμερα η επιστήμη προχωράει προς την κατεύθυνση της νανοτεχνολογίας και προσπαθεί να φτιάξει σωματίδια τα οποία μεταξύ άλλων μπορούν να αλλάξουν την επιφανειακή δομή ενός οποιουδήποτε υλικού και να το κάνουν ανεπηρέαστο από τους εξωγενής παράγοντες.

Όμως για να διαφοροποιηθεί η δομή της ύλης σε σημείο που να μην επηρεάζεται από το περιβάλλον ή από άλλους εξωγενείς παράγοντες, θα πρέπει να επηρεαστεί η επιφανειακή δομή του υλικού κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην υπάρχει απώλεια ή θραύση του υλικού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Γι’ αυτό τον σκοπό έχουν γίνει και γίνονται ειδικές μελέτες σχετικά με επικαλύψεις υλικών, οι οποίες έχουν δείξει ότι με την εφαρμογή επίστρωσης από ειδικές νανοκρυσταλλικές πούδρες, μπορεί να επηρεα-

στεί η επιφανειακή δομή του υλικού, ούτως ώστε να δημιουργηθεί μια ασπίδα προστασίας που να περιβάλλει το υλικό και να το προστατεύει από τους εξωγενείς παράγοντες που τείνουν να το φθείρουν. Επίσης τριβολογικές μελέτες έδειξαν ότι μπορεί να μειωθεί η τριβή μεταξύ δύο υλικών (π.χ. στροφαλοφόρος άξονας, έμβολα, έδρανα κύλισης, οδοντωτοί τροχοί) όχι μόνο με λιπαντικά μέσα αλλά με επικάλυψη των τριβόμενων επιφανειών με νανοκρυσταλλικές πούδρες με βάση το σίδηρο, το μολυβδαίνιο και τον άνθρακα. Συγκεκριμένα υλικά όπως τα καρβίδια και τα κεραμικά μπορούν επίσης να μειώσουν την τριβή κατά μεγάλο βαθμό και να παρουσιάσουν μεγαλύτερη σκληρότητα απ' ότι η επιφανειακή δομή του χάλυβα.

Η νανοτεχνολογία έχει ήδη αντίκτυπο σε διάφορα προϊόντα όπως νέα τρόφιμα, ιατρικές συσκευές, χημικές επιστρώσεις, ατομικά κιτ εξέτασης της υγείας, αισθητήρες για συστήματα ασφάλειας, μονάδες καθαρισμού ύδατος για επανδρωμένα διαστημόπλοια, οθόνες για παιχνίδια-υπολογιστές χειρός και κινηματογραφικές οθόνες υψηλής ευκρίνειας. Η παγκόσμια αγορά προϊόντων νανοηλεκτρονικής εκτιμάται σε εκατοντάδες δισεκατομμύρια ευρώ και αποτελεί την κινητήριο δύναμη για την πρόσφατη ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας. Η νανοηλεκτρονική θα δημιουργήσει πολύ ισχυρότερους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τρανζίστορ για τηλέφωνα, αυτοκίνητα, οικιακές συσκευές και πλήθος των άλλων καταναλωτικών και βιομηχανικών εφαρμογών που ελέγχονται επί του παρόντος από μικροεπεξεργαστές.

Αντίστοιχα, η κατασκευή νανοδομών θα παράγει υλικά με νέες και βελτιωμένες ιδιότητες για χρήση σε ηλιακούς επίπεδους συλλέκτες, αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις, σκληρότερα και ανθεκτικότερα εργαλεία κοπής, φωτοκαταλυτικούς καθαριστές αέρα, ανθεκτικότερες ιατρικές συσκευές, χημικούς καταλύτες, καθώς και στη βιομηχανία μεταφορών. Επιπλέον, θα δημιουργηθούν νέα υλικά για οπτικές, ηλεκτρονικές και ενεργειακές εφαρμογές αποθήκευσης και προϊόντα. Επομένως, ο κλάδος της νανοτεχνολογίας σήμερα έχει αναπυχθεί σε τέτοιο μεγάλο βαθμό ώστε να υπάρχουν εντυπωσιακά και μεγάλων δυνατοτήτων προϊόντα τα οποία μπορούν να αλλάξουν καθοριστικά τον καθημερινό τρόπο ζωής.

Η εφαρμογή της νανοτεχνολογίας σε διάφορους κλάδους (βιομηχανικό, κατασκευαστικό κ.τ.λ.) εισήγαγε νέα πρότυπα και νέες προκλήσεις. Μεταξύ άλλων, ο τομέας των εφαρμογών του θερμικού ψεκασμού δημιούργησε επικαλύψεις που με τις κατάλληλες τεχνικές επίστρωσης (ψεκασμός φλόγας, ψεκασμός υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου HVOF, ψεκασμός σύρματος με φλόγα FS, ατμοσφαιρικός ψεκασμός πλάσματος APS, ψεκασμός σύρματος με ηλεκτρικό τόξο WAS και ψεκασμός πλάσματος σε κενό

VPS) μπορούν να προσφέρουν τη δυνατότητα προστασίας διαφόρων τμημάτων κινητήρων ή κατασκευών από εξωτερικούς παράγοντες, υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας και τριβές.

Στον τομέα των νανοσύνθετων υλικών, η νανοτεχνολογία έχει κάνει σημαντικά άλματα ως προς τον τρόπο επεξεργασίας και διαχείρισης των υλικών αυτών, τα οποία τείνουν να καλύψουν ένα μεγάλο τομέα των συμβατικών υλικών. Οι εκπληκτικές ιδιότητες των νανοσύνθετων υλικών, όπως είναι η υψηλή δυσκαμψία και αντοχή που παρουσιάζουν σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές πιέσεις, έχουν κινήσει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας ώστε να στραφεί στη χρήση τέτοιων υλικών. Σήμερα χρησιμοποιούνται νανοσύνθετα υλικά σε επιβατικά και πολεμικά αεροσκάφη γιατί είναι πιο ελαφρύτερα και πιο ανθεκτικά στις εξωτερικές συνθήκες. Επίσης χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία κατασκευής δοχείων πίεσης και δοχείων διαστολής γιατί δεν φθείρονται εύκολα με το χρόνο και δεν χρειάζονται συντήρηση, σε σύγκριση με τα μεταλλικά δοχεία διαστολής τα οποία φθείρονται σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Στον τομέα των νανοσωλήνων άνθρακα, η νανοτεχνολογία έφερε την επανάσταση καθώς οι νανοσωλήνες άνθρακα παρουσιάζουν ιδιότητες οι οποίες ξεπερνούν τις δυνατότητες κάθε άλλου φυσικού υλικού. Μπορούν να εφαρμοστούν σε νανοσύνθετα υλικά και να τους παρέχουν πιο εξελιγμένες ιδιότητες όπως μεγαλύτερη ελαστικότητα, μικρότερο βάρος και αντοχή σε φθορά και διάβρωση. Μπορούν να εφαρμοστούν σε φωτοβολταικά στοιχεία και να παρέχουν ιδιότητες όπως καλύτερη συλλογή ηλιακού φωτός και καλύτερη ενεργειακή απόδοση από τα συμβατικά υλικά. Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν σε νανοηλεκτρικά κυκλώματα.

Στον τομέα της νανοτεχνολογίας στα αυτοκίνητα, έχει προχωρήσει η ανάπτυξη ειδικών επιστρώσεων, όπως η επίστρωση sol-gel, η οποία καθιστά τον ανεμοθώρακα ενός οχήματος μη εύθραυστο και παρέχει ιδιότητες όπως την αποφυγή της αντανάκλασης. Επίσης η νανοτεχνολογία στα αυτοκίνητα τείνει να εφαρμοστεί και σε βαφές φανοποιείας, στους καταλύτες και στις κυψέλες καυσίμου.

Είναι προφανές ότι τεχνητά νανοσωματίδια είναι παρόμοιων διαστάσεων με αντίστοιχα φυσικά αντικείμενα και οι εφαρμογές τους οφείλονται στις διαφορετικές ιδιότητές τους σε σύγκριση με υλικά με διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες. Παρακάτω θα αναφέρουμε μερικές εφαρμογές σε περιοχές μεγάλου επιστημονικού και κοινωνικού ενδιαφέροντος, οι οποίες με κανένα τρόπο δεν καλύπτουν όλα τα πιθανά πεδία.

Είναι γνωστό ότι ένας από τους κλάδους που η νανοτεχνολογία έχει μεγάλη επίδραση είναι ο κλάδος της πληροφορικής. Ο γνωστός νόμος του Moore που προβλέπει ότι κάθε

18 μήνες η πυκνότητα των τρανζίστορ διπλασιάζεται, οδηγεί τις σημερινές διατάξεις σε μεγέθη μερικών νανομέτρων. Η νανοεπιστήμη που μελετά τις ιδιότητες υλικών σε αυτές τις διαστάσεις είναι απαραίτητη ενόψει των απαιτήσεων για πιο γρήγορους, ελαφρότερους και λιγότερο ενεργοβόρους επεξεργαστές. Η πρώτη εφαρμογή της νανοτεχνολογίας είναι η αποθήκευση και ανάγνωση της πληροφορίας με μαγνητικά μέσα-σκληρούς δίσκους στους Η/Υ, που στα τελευταία χρόνια ακολουθώντας το δικό της νόμο Moore, έχει αυξήσει τη χωρητικότητα τουλάχιστον κατά 1 εκατομμύριο φορές (από Kbits/in^2 σε εκατοντάδες Gbits/in^2).

Οι αυστηροί περιορισμοί για τη μεταφορά φορτίων στο διάστημα αλλά και οι μακροχρόνιες αποστολές μπορούν να γίνουν πραγματικότητα αν γίνουν δραστικές σμικρύνσεις στο μέγεθος, το βάρος και τη κατανάλωση ενέργειας. Νανοδομημένα υλικά με καλύτερες μηχανικές, θερμικές ιδιότητες και πολύ μικρότερο βάρος μπορούν να δώσουν την απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις και ήδη μίκρο ή νάνο δορυφόροι έχουν σχεδιαστεί για την αποστολή στο διάστημα. Επιπλέον η έλλειψη βαρύτητας και το απόλυτο κενό στο διάστημα αποτελούν το ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη νέων υλικών τα οποία δεν μπορούν να αναπτυχθούν στη γη. Αυτές είναι μερικές από τις εφαρμογές που είναι στο στάδιο σχεδιασμού η παραγωγής. Για το μέλλον, προβλέπονται πολύ περισσότερες εφαρμογές όπως μοριακές μηχανές που «κολυμπούν» στο ανθρώπινο σώμα και μετρούν διάφορες ουσίες ή και επισκευάζουν ανθρώπινα όργανα, νέα υλικά για ρούχα με ιδιότητες που καταστρέφουν τις οσμές που εγκρίνονται από το σώμα ή με μηχανικές και θερμικές ιδιότητες που δεν υπάρχουν σήμερα, αποθήκευση πληροφορίας στην αλυσίδα του DNA και άλλες εφαρμογές που μόνο η φαντασία του ανθρώπου μπορεί να περιορίσει. Οι νανοεπιστήμες και η νανοτεχνολογία είναι νέα πεδία επιστημονικών δραστηριοτήτων και ως εκ τούτου η αποδοχή τους από την επιστημονική κοινότητα αλλά κυρίως από το ευρύτερο κοινό, ενόψει και των εφαρμογών που ξεπερνούν κάθε φαντασία, δεν έχει γίνει εύκολα αποδεκτή. Υπάρχουν αρκετές επιφυλάξεις που βασίζονται κυρίως σε ελλιπή πληροφόρηση αλλά και στους πιθανούς κινδύνους «μόλυνσης», επειδή τα νανοσωματίδια μπορούν εύκολα να διασκορπιστούν στο περιβάλλον και να προκαλέσουν διάφορες μεταβολές λόγω της δραστικότητάς τους ή να εισχωρήσουν στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνευστικής οδού ή μέσω των πόρων του δέρματος. Τα παραπάνω θέματα μπορούν να αντιμετωπισθούν με καλύτερη πληροφόρηση και αυστηρότερη επιτήρηση των εργαστηρίων που ασχολούνται με νανοτεχνολογία αλλά και με την εκπαίδευση όλων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μου δίνεται η ευκαιρία με την περάτωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας να σημειώσω ότι, είναι ιδιαίτερα δύσκολο και κοπιαστικό να ολοκληρώσει το έργο που ξεκινά κάποιος μια στιγμή έχοντας ταυτόχρονα και άλλες υποχρεώσεις. Πολλές φορές είναι μάταιο και άλλες πάλι εφικτό.

Γι΄ αυτόν ακριβώς το λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον εισηγητή μου κύριο Κουδουμά Εμμανουήλ που μου έδωσε την ώθηση να ακολουθήσω αυτό το θέμα, καθώς και για την υπομονή και καθοδήγηση του, καθ' όλη τη διάρκεια της ενασχόλησης μου με τη πτυχιακή εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τα κοντινά μου πρόσωπα, την οικογένεια και τους φίλους μου, για την υποστήριξη και την κατανόηση που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα και για τον λίγο χρόνο που τους αφιερώσαμε με την ελπίδα να τους το ανταποδώσουμε τα επόμενα χρόνια.

Ηράκλειο, Ιανουάριος 2010

Βικεντίου Μάριος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΆΡΘΡΑ-ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

a) http://edu.demokritos.gr/intern/public/myd/show/66
b) http://ekfe.reth.sch.gr/index.php?option=content&task=view&id=340
c) http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scc~news~scid~3829~.html?action=longview&
d) http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=EN_NEWS&ACTION=D&SESSION=&RCN=23683
e) http://el.tech-faq.com/nanotechnology.shtml
f) http://www.texnologia.gr/index.asp?mod=articles&ID=5950
g) http://www.edra.ntua.gr/forum/archive/index.php/t-866.html
h) http://ec.europa.eu/research/leaflets/nanotechnology/page_52_el.html#
i) http://www.nano.gr/
j) http://www.nano.gr/nanotechnology.asp
k) http://www.nano.gr/nanotechnology_history.asp
l) http://www.nano.gr/Richard-Feynman.asp
m) http://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY349/
n) http://nn.physics.auth.gr/pms/n_bio.htm
o) http://www.tovima.gr/default.asp?pid=46&ct=33&artId=170944&dt=06/04/2008
p) http://www.xlaxanas.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=1711&Itemid=37
q) http://e-jst.teiath.gr/issue_11_2009/Vlachos_11_abs.htm
r) http://dcwww.fys.dtu.dk/~getri/docs/MThesis.pdf
s) http://www.greenroofs.gr/node/206
t) http://www.omnipress.gr/article.asp?article=380
u) http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace//handle/123456789/1508
v) http://openarchives.gr/view/348297
w) http://nn.physics.auth.gr/pms/n_bio.htm
x) http://www.islab.demokritos.gr/liaison/gr/technology_transfer_gr/lab_exper_mater_scinece.htm
y) http://www.physics.auth.gr/el/research_activity/show/22
z) http://cordis.europa.eu/greece/el/spotlight24.htm
aa) http://cordis.europa.eu/greece/el/spotlight21.htm
bb) http://cordis.europa.eu/greece/el/spotlight21.htm

cc) http://www.makthes.gr/index.php?name=News&file=article&sid=27046
dd) http://orthodoxia.forumup.gr/post-4569-orthodoxia.html#4569
ee) http://www.sts.gr/151/article_2023.aspx
ff) http://www.ntua.gr/archtech/orfanos/keimeno.htm#_ftn1
gg) http://monosimacon.blogspot.com/2008_07_01_archive.html
hh) http://www.iceht.forth.gr/about/ra1-gr.html
ii) http://www.gsrt.gr/default.asp?V_ITEM_ID=3740
jj) http://greeknews.byzantinewalls.org/archives/9894
kk) http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php
ll) http://hirc.ekt.gr/opencms/opencms/hirc/services/newsletter/inn4/keramika.htm
mm) http://www.metalchrom.gr/index.asp?navTo=el,services