



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ ΤΙΤΑΝΙΑΣ ΣΕ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ
ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ



ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΥ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία ξεκίνησε το 2010 και ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβρη του 2011 .

Με τη εργασία αυτή μου δόθηκε η δυνατότητα να γνωρίσω το αντικείμενο του ατμοσφαιρικού ψεκασμού πλάσματος . Επιπλέον ασχολήθηκα και με τις διάφορες πειραματικές μεθόδους και έκανα χρήση αρκετών μηχανημάτων και έτσι εμπλούτισα τις γνώσεις μου στο τομέα αυτό .

Για το λόγο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω το κύριο Δημήτριο Μανωλάκο που μου έδωσε αυτήν την ευκαιρία να εκπονήσω αυτή τη εργασία και το κύριο Κυριάκο Πασαλή για τη πολύτιμη βοήθεια του στα εργαστήρια

Τέλος αφιερώνω τη εργασία αυτή στους ανθρώπους που με στήριξαν ουσιαστικά με πολλούς τρόπους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου .Ιδιαίτερα στην οικογένεια μου που με ανέχθηκαν και με στήριξαν .

Πρόλογος

Βρισκόμαστε στο σταυροδρόμι εκείνο όπου η ευημερία και η τεχνολογία συναντούν την καταναλωτισμό και τη ποιότητα. Ο έντονος ανταγωνισμός και η αποδοτική παραγωγή, έκαναν την απόκτηση των προϊόντων όχι απλώς εφικτή σε όλους, αλλά και υποχρεωτική. Ο άνθρωπος του 21ου αιώνα εκτιμά τη ποιότητα όταν τη βρίσκει και το απαιτεί όταν λείπει. Τα αντικείμενα του περιβάλλοντος μας βελτιώνονται με αποτέλεσμα να γινόμαστε έτσι πιο απαιτητικοί.

Με τον όρο βελτίωση δεν εννοούμε μόνο τις αισθητικές δυνατότητες (εξωτερικά του χαρακτηριστικά) των αντικειμένων αλλά αναφερόμαστε στις ιδιότητες ενός αντικειμένου στις δομικές του σχέσεις . Αυτές οι ιδιότητες δηλαδή που το καθιστούν ένα αντικείμενο μια συνεκτική μονάδα οι οποίες είναι μηχανικές ιδιότητες , χημικές , αντοχή στην οξείδωση κ. α. .

Το κλειδί για τη βελτίωση μια γκάμας προϊόντων είναι η δημιουργία καινούργιων και καινοτόμων τεχνικών επικάλυψης στο στάδιο αυτό της παράγωγης γι'αυτο και μια καινούργια τεχνική οπου τώρα παρουσιάζει τα πρώτα της δειλά βήματα στο τομέα της βιομηχανίας είναι ο ατμοσφαιρικός ψεκασμός με χρήση πλάσματος .

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπός της είναι η μελέτη και η έρευνα για τη μελέτη των μηχανικών και τριβολογικών ιδιοτήτων επικαλύψεως της τιτανίας σε μεταλλικά υποστρώματα με τη χρήση της μεθόδου του ατμοσφαιρικού ψεκασμού πλάσματος και πως οι διάφοροι παράμετροι κατά τον ψεκασμό επιδρούν θετικά ή αρνητικά στο δοκίμιο όπου θα ψεκαστή.

Οι μετρήσεις οι οποίες θα γίνουν θα είναι με βάση τις ιδιότητες του υλικού μας τις οποίες θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε (όπως τριβή ,εφελκυσμός κ.ά.) και πως διαφοροποιούνται με βάση τις διάφορες παραμέτρους που αλλάζουν κατά την διαδικασία του ψεκασμού.

Introduction

We are at a crossroad where prosperity and technology meet the consumerism and quality. Competition and the efficient production made the acquisition of products not only feasible in all but also compulsory. The man of the 21st century appreciates the quality when he finds it and demands it when it's missing. The objects of our environment improve and we become more demanding in return.

The term does not only mean improvement of the aesthetic possibilities (external characteristics) of an object, but refers to its properties in structural relationships. These properties make it an object a cohesive unit which are mechanical properties, chemical resistance to oxidation e.t.c..

The key to improving a range of products is creating new and innovative coating techniques at this stage of production and one which now has its first tentative steps into the industry is the method of air plasma spraying .

This study's purpose is to research the engineering and tribology properties of titanium dioxide coating on metallic substrates using the method of air plasma spraying, and how various parameters during spraying affect positively or negatively the sprayed area .

The measurements will be made based on the properties of our material which we want to optimize (such as friction, tension, etc.) and how they differ based on various parameters that change during the process of plasma spraying.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 Εισαγωγή.....	10
-----------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 Τεχνολογία επιφανειών.....	11
2.1 Κατεργασίες επιφάνειας	13
2.2 Επικαλύψεις	14
2.2.1 Παράμετροι προστασίας.....	17
2.2.2 Ιδιότητες των υλικών επικάλυψης.....	20
2.3 Τύποι Επιμετάλλωσης και Επικαλύψεων και ιδιότητες.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 Πλάσμα.....	26
3.1 Τρόποι δημιουργίας του πλάσματος.....	28
3.2 Χαρακτηριστικά πλάσματος.....	29
3.3 Περιβλήματα.....	31
3.3.1 Ηλεκτρικές εκκενώσεις.....	32

3.3.2 Εκκενώσεις αίγλης ραδιοσυχνότητας.....	33
3.3.3 Χωρικά συζευγμένη εκκένωση.....	34
3.4 Μέθοδοι μελέτης του πλάσματος.....	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 Γενικά για τις θερμικές επικαλύψεις.....	39
4.1 Διαδικασία και στάδια θερμικού ψεκασμού.....	41
4.2 Μέθοδοι επικαλύψεις θερμικού ψεκασμού.....	43
4.2.1 Ψεκασμός φλόγας.....	44
4.2.2 Ψεκασμός σύρματος με ηλεκτρικό τόξο.....	45
4.2.3 Ψεκασμός υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου (HVOF).....	46
4.2.4 Ψεκασμός με χρήση πλάσματος.....	47
4.3 Δομή επικάλυψης και παράμετροι σύνδεσης.....	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 Ψεκασμός με χρήση πλάσματος.....	55
5.1 Πλάσμα.....	58
5.2 Σκόνη Ψεκασμού.....	60
5.2.1 Ταχύτητα σωματιδίων σκόνης ψεκασμού.....	61
5.2.2 Ανταλλαγή θερμότητας.....	63
5.3 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.....	64

5.4 Δομή επίστρωσης.....	65
5.5 Πυρσός και σχηματισμός πλάσματος.....	66
5.6 Οργανολογία διάταξης.....	68
5.7 Παράμετροι ψεκασμού πλάσματος.....	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 Προετοιμασία επιφάνειας.....	72
6.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη ποιότητας επιφάνειας.....	74
6.2 Οξείδωση – διάβρωση.....	75
6.3 Προετοιμασία επιφάνειας.....	76
6.3.1 Σημασία του καθαρισμού των επιφανειών.....	77
6.3.2 Απολίπανση.....	78
6.3.3 Μηχανικός καθαρισμός με χρήση ηλεκτροκίνητων εργαλείων.....	79
6.3.4 Τόρνευση.....	80
6.3.5 Καθαρισμός με αμμοβολή.....	81
6.4 Τραχύτητα επιφάνειας.....	83
6.4.1 Μετρούμενα μεγέθη τραχύτητας.....	84
6.4.2 Έλεγχος επιφάνειας.....	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7 Κεραμικά υλικά.....	90
-----------------------	----

7.1 Παραδοσιακά κεραμικά.....	94
7.2 Σύνθετα κεραμικά υλικά.....	96
7.3 Ατομικοί δεσμοί και μικροδομή.....	99
7.4 Φυσικές ιδιότητες κεραμικών υλικών.....	102
7.5 Θερμικές ιδιότητες.....	105
7.6 Μηχανικές ιδιότητες.....	106
7.6 .1 Σκληρότητα και ελαστικότητα.....	107
7.6 .2 Αντοχή & στιβαρότητα.....	108
7.7 Σχήματα ιδιοτήτων των υλικών.....	111
7.8 Μερικές εφαρμογές κεραμικών υλικών.....	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8 Το τιτάνιο και τα Οξειδία του.....	116
8.1 Τιτανία.....	119
8.2 Ιδιότητες του διοξειδίου του τιτανίου.....	122
8.3 Η τιτανία στη βιομηχανία.....	125

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9 Διαδικασία ψεκασμού.....	133
9.1 Δοκίμια.....	133
9.2 Προετοιμασία δοκιμίων.....	134
9.3 Σκόνη ψεκασμού.....	135
9.3.1 Σκόνη ψεκασμού.....	135
9.3.2 Προετοιμασία σκόνης.....	137
9.4 Παράμετροι ψεκασμού.....	138
9.5 Μέτρα προστασίας.....	140
9.6 Μετρήσεις και αποτελέσματα.....	141

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10 Προετοιμασία δοκιμίων για τα πειράματα.....	148
10.1 Δειγματοληψία.....	148
10.2 Κοπή δοκιμίων.....	149
10.3 Εγκιβωτισμός.....	150
10.4 Λείανση.....	152
10.5 Στίλβωση.....	153
10,6 Μικροσκόπιο.....	154
10.7 Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο.....	156
10.8 Εξέταση σκόνης sulzer metco 6231.....	158

10.9 Επικάλυψη.....	163
---------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

11 Τριβολογική συμπεριφορά δοκιμίου.....	170
11.1 Τριβόμετρο.....	170
11.2 Τριβολογικό πείραμα.....	171
11.3 Μετρήσεις και αποτελέσματα.....	173

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

12 Εφελκυσμός.....	197
12.1 Θεωρία εφελκυσμού.....	197
12.1.2 Εφαρμοζόμενα μεγέθη.....	198
12.1.3 Νόμος του Hooke.....	198
12.2 Εργαστηριακό εξοπλισμός.....	200
12.3 Μετρήσεις στην Instron.....	202
12.4 Παρατηρήσεις.....	217

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	219
-------------------	-----

1 Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα που απασχολούσε τον άνθρωπό από πάρα πολύ παλιά είναι η διάβρωση των υλικών. Υπολογίζεται πως η διάβρωση ήταν σημαντικό πρόβλημα ακόμα από το 2000 μ.Χ. κατά τη Μινωική εποχή, όπου τα χάλκινα αντικείμενα που χρησιμοποιούνταν σε όλες τις εργασίες παρουσίαζαν το συγκεκριμένο φαινόμενο με την πάροδο του χρόνου.

Στη σημερινή εποχή με την τεράστια έκταση των τεχνολογικών εφαρμογών που βασίζονται σε μέταλλα, οι επιπτώσεις της διάβρωσης είναι κάτι παραπάνω από σημαντικές. Οι επιπτώσεις στην οικονομία για παράδειγμα γίνονται σαφής μέσω των δύο ακόλουθων στατιστικών στοιχείων: α) Θεωρείται σήμερα ότι το 40% των μετάλλων και κραμάτων που παράγονται παγκόσμια καταστρέφονται από τη διάβρωση. Αυτό που θα πρέπει να γίνει κατανοητό είναι πως το ποσοστό αυτό είναι πολύ μικρότερο στην περίπτωση που αναφερόμαστε στην ίδια τη διάβρωση αλλά εδώ συμπεριλαμβάνονται και οι επιπτώσεις της (π.χ. αντικατάσταση μερών πλοίων ή κατασκευών αν διαβρωθούν ως ένα ποσοστό). β) Σύμφωνα με στατιστικές, στις ΗΠΑ μόνο οι ετήσιες ζημιές από τη διάβρωση ανέρχονται στα $80 \cdot 10^9$ \$. Και αυτό θα πρέπει να τονισθεί ότι συμβαίνει παρά τις μεθόδους προστασίας που έχουν αναπτυχθεί.

Με δεδομένο λοιπόν ότι η διάβρωση των μετάλλων αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα όχι μόνο στη σημερινή εποχή αλλά και διαχρονικά, μια από τις σημαντικές προκλήσεις που αντιμετώπισαν στο παρελθόν και σίγουρα εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες, είναι η καταπολέμηση αυτού του φαινομένου. Δεν είναι τυχαίο, άλλωστε, πως πάνω από 200.000 ερευνητές ασχολούνται με την έρευνα για την προστασία των μετάλλων και των κραμάτων τους από τη διάβρωση.

Αυτό που θα μας απασχολήσει στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι η αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος στο τομέα ψεκασμού του οξειδίου της τιτάνιας με ατμοσφαιρικό ψεκασμό πλάσματος και παρατήρηση μετά από κάποιες σειρές μετρήσεων των διαφόρων ιδιοτήτων.

Οι στόχοι της παρούσας διπλωματική εργασίας είναι η μέτρηση και η βελτίωση του ρυθμού εναπόθεσης των λεπτών υμεναίων των οξειδίων της τιτάνιας με την προαναφερθείσα τεχνική.

2 Τεχνολογία επιφανειών

Βρισκόμαστε στο σταυροδρόμι εκείνο όπου η ευημερία και η τεχνολογία συναντούν την καταναλωτισμό και τη ποιότητα. Ο έντονος ανταγωνισμός και η αποδοτική παραγωγή έκαναν την απόκτηση των προϊόντων όχι απλώς εφικτή σε όλους, αλλά και υποχρεωτική. Ο άνθρωπος του 21ου αιώνα εκτιμά τη ποιότητα όταν τη βρίσκει και το απαιτεί όταν λείπει. Τα αντικείμενα του περιβάλλοντος μας βελτιώνονται με αποτέλεσμα να γινόμαστε πιο απαιτητικοί. Οι κατασκευαστές όλων των ειδών πλέον δίνουν μεγάλη σημασία στην ποιότητα, γιατί διαφορετικά γνωρίζουν αρκετά καλά πως τα προϊόντα τους δεν θα πουληθούν.

Η ιστορία του κόσμου μπορεί να καταγραφεί από τον σχεδιασμό αντικειμένων, η μελέτη αυτών των αντικειμένων δίνει ένα καθαρό μήνυμα για τις αλλαγές που συνέβαιναν στην κοινωνία. Πράγματι, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε πολλές περιπτώσεις, ειδικότερα στον 20 αιώνα, η καινοτομία των προϊόντων, επέφερε σημαντικές αλλαγές στην κοινωνία. Είναι σχεδόν αδύνατον να μιλάμε για αλλαγές σε προηγούμενες από την βιομηχανική επανάσταση εποχές, έστω κι αν ήδη από την αρχαιότητα, υπάρχουν παραδείγματα αντικειμένων που έχουν παραχθεί «εν σειρά» με την μερική επέμβαση των πρωτόγονων μηχανημάτων, όπως ο τόρνος, ο τροχός των αγγειοπλαστών και οι πρέσες χεριού στα καμίνια για την παραγωγή πλίνθων.

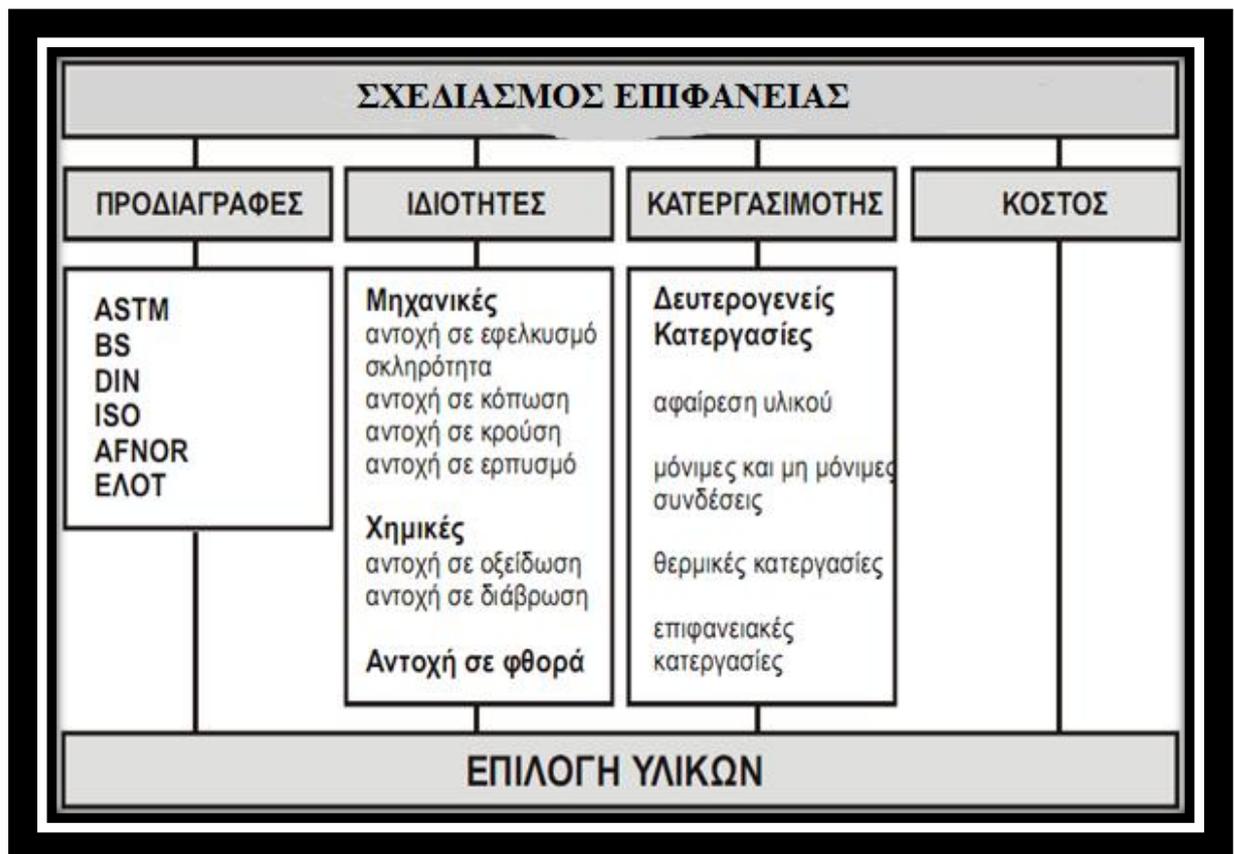
Η πρώτη αναγνώριση της σπουδαιότητας των καινούριων μεθόδων επεξεργασίας παρουσιάστηκε στον τομέα της μηχανικής, την στιγμή που η πρώτη εδραίωση της βιομηχανικής επανάστασης έλαβε χώρα μέσα στο χώρο της επεξεργασίας χυτοσιδήρου.

Σε όλους τους πολιτισμούς που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης, τόσο η τεχνική εμπειρία όσο και η παραγωγή των αντικειμένων βρίσκονταν στα χέρια ενός και μόνου ατόμου: του τεχνίτη. Ο τεχνίτης ελάμβανε παραδοσιακή κατάρτιση και περνούσε μια περίοδο μαθητείας, μετά την οποία εφοδιάζονταν με γνώσεις όχι μόνο να παράγει προϊόντα σύμφωνα με προδιαγραφές που καθορίζονταν από τον πελάτη, αλλά καθορίζοντας τις γενικές παραμέτρους και σε κάποιες περιπτώσεις, δημιουργώντας τον κατάλληλο εξοπλισμό. Η τεχνική γνώση αυτού του είδους διαφέρει ριζικά από τα πλέον συμβατικά ρητώς μεταφερόμενα σώματα γνώσης όπως αυτό της επιστήμης.

Μετά τη βιομηχανική επανάσταση, όταν οι εργαλείο-μηχανές αντικατέστησαν τα εργατικά χέρια, μια νέα μορφή ήρθε στο προσκήνιο ο μηχανικός, ο οποίος ώθησε τον τεχνίτη έξω από το στάδιο της παραγωγής.

Οι μηχανικοί ήταν οι πρώτοι που από τις τεχνικές επεσήμαναν και τις αισθητικές δυνατότητες των καινούριων συστημάτων παραγωγής, επωφελούμενοι από στοιχεία βιομηχανικής παραγωγής για την πραγματοποίηση των προϊόντων με αυξημένες δυνατότητες με τη χρήση λιγότερου υλικού και αύξηση των μηχανικών τους ιδιοτήτων.

Όταν αναφερόμαστε στις ιδιότητες ενός αντικειμένου, εννοούμε όχι μόνο τα εξωτερικά του χαρακτηριστικά, αλλά υπεράνω όλων τις δομικές σχέσεις που καθιστούν ένα αντικείμενο (ή ένα σύστημα αντικειμένων) μια συνεκτική μονάδα τόσο από τη σκοπιά του παραγωγού όσο και του καταναλωτή.



Σχήμα : Παράμετροι για απόφαση τελικής επιφάνειας προϊόντων

2.1 Κατεργασίες επιφάνειας

Όταν ένα υλικό προστίθεται ή εναποτίθεται στην επιφάνεια ενός άλλου ή του ίδιου υλικού, καλείται επίστρωση-επικάλυψη . Επικαλύψεις χρησιμοποιούνται συχνά για πληθώρα εφαρμογών, όπως την προστασία της επιφάνειας από το περιβάλλον το οποίο μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις διάβρωσης και εκφυλισμού ή την βελτίωση της επιφανειακής εμφάνισης ή αντοχής. Υπάρχουν πολλές τεχνικές σχηματισμού επικαλύψεων και η επιλογή της καταλληλότερης εξαρτάται από λειτουργικές απαιτήσεις (το μέγεθος, το σχήμα και το είδος) του υποστρώματος, την προσαρμοστικότητα του υλικού επίστρωσης στην τεχνική που θα επιλεγεί, την απαιτούμενη συνάφεια υποστρώματος-επιστρώματος και την διαθεσιμότητα και το κόστος του εξοπλισμού.

Παρ' όλα αυτά, οι χρησιμοποιούμενες διεργασίες βασίζονται σε τρεις γενικές μεθόδους: Φυσική εναπόθεση ατμών (Physical Vapour Deposition - PVD), χημική εναπόθεση ατμών (Chemical Vapour Deposition - CVD) και θερμικό ψεκασμό (Thermal spray). Η διεργασία της χημικής εναπόθεσης ατμών δύναται να οριστεί ως η εναπόθεση στερεού πάνω σε θερμαινόμενη επιφάνεια μέσω της χημικής αντίδρασης από την αέρια φάση.

Αυτές, καθώς και πληθώρα άλλων μεθόδων εφαρμόζονται για ένα ευρύ φάσμα επιστρωμάτων, το οποίο ποικίλλει από επιστρώματα επικάλυψης μέχρι επιστρώματα διάχυσης. Στα επιστρώματα επικάλυψης, η αλληλεπίδραση επιστρώματος/υποστρώματος είναι συνήθως περιορισμένη. Παραδείγματα τέτοιων επιστρωμάτων είναι τα νιτρίδια και καρβίδια του τιτανίου, του χρωμίου και του βαναδίου τα οποία παρουσιάζουν άριστες ιδιότητες έναντι της φθοράς. Επιστρώματα διάχυσης εφαρμόζονται συνηθέστερα για προστασία έναντι της διάβρωσης υψηλών θερμοκρασιών (αλουμινιούχα, χρωμιούχα, σπάνιες γαίες), αλλά και έναντι της φθοράς των χαλύβων σε απαιτητικές λειτουργίες (ενανθράκωση, εναζώτωση). Η χαρακτηριστική διαφορά των δύο ειδών επιστρωμάτων είναι πως στα επιστρώματα διάχυσης η κατανομή της συγκέντρωσης των στοιχείων του επιστρώματος είναι φθίνουσα προς το εσωτερικό του υποστρώματος, ενώ στα επιστρώματα επικάλυψης παραμένει σταθερή.

Κατά τη λειτουργία τους, τα επιστρώματα υποβαθμίζονται στην διεπιφάνεια αερίου περιβάλλοντος - επιστρώματος και την διεπιφάνεια επιστρώματος - υποστρώματος.

Στην πρώτη περίπτωση η υποβάθμιση οφείλεται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, ενώ στη δεύτερη σε διάχυση στερεάς κατάστασης. Αυτή παρατηρείται σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλώντας μεταβολές στη σύσταση και στερώντας το επίστρωμα από ζωτικά για αυτό στοιχεία. Στη χειρότερη περίπτωση, η ενδοδιάχυση μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό ρωγμών και ολική καταστροφή του επιστρώματος.

Υποκατηγορία	Χαρακτηριστικά	Είδος κατεργασίας
Μηχανικές επιφανειακές κατεργασίες	Εισαγωγή «επωφελών» πεδίων παραμενουσών τάσεων στην επιφάνεια του υλικού. Κρυσταλλική δομή και χημική σύσταση της επιφάνειας παραμένουν αμετάβλητες.	1. Σφαιροβολή 2. Επιφανειακή έλαση
Θερμικές επιφανειακές κατεργασίες	Επιβολή συνδυασμένων κύκλων θέρμανσης/ψύξης. Μεταβάλλεται μόνο η κρυσταλλική δομή της επιφάνειας, ενώ η χημική της σύσταση δεν αλλάζει.	1. Φλογοβαφή 2. Επαγωγική βαφή 3. Βαφή με δέσμη laser 4. Βαφή με δέσμη ηλεκτρονίων
Θερμοχημικές επιφανειακές κατεργασίες ή εμποτισμοί	Η επιφάνεια εμπλουτίζεται με άτομα άλλου στοιχείου μέσω μηχανισμών διάχυσης, με αποτέλεσμα την αλλαγή της χημικής της σύστασης.	1. Ενανθράκωση 2. Εναζώτωση 3. Ενανθρακαζώτωση 4. Ενδοκυάνωση 5. Εγχρωμίωση 6. Εναργιλίωση 7. Ενσιλικώση 8. Βορίωση 9. Σεραρδίωση 10. Βαναδίωση 11. Εμφύτευση ιόντων

Πινάκας: επιφανειακών κατεργασιών επιφάνειας

Ως διάβρωση μπορεί να χαρακτηριστεί η αλληλεπίδραση ενός μετάλλου με το περιβάλλον που έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των ιδιοτήτων του μετάλλου και που συχνά μπορεί να καταλήξει στην υποβάθμιση της λειτουργίας του μετάλλου ή του τεχνικού συστήματος του οποίου αποτελεί τμήμα.

Τα μέταλλα και κράματα παθαίνουν αυθόρμητα διάβρωση σύμφωνα με το 2ο θερμοδυναμικό αξίωμα, επειδή είναι ενεργειακά αναβαθμισμένα ως προς τη φυσιολογική, οξειδωμένη μορφή τους με την οποία βρίσκονται στη φύση ως

μεταλλεύματα. Είναι θερμοδυναμικά επιτρεπτή η έναρξη της διάβρωσης σε συνηθισμένη θερμοκρασία ακόμη και χωρίς την παρουσία υγρασίας. Αυτή η διάβρωση συνεχίζεται μέχρι εξαντλήσεως του υλικού.

2.2 Επικαλύψεις

Είναι μία ευρύτατα χρησιμοποιούμενη τεχνική στην βιομηχανία και όχι μόνο σε αυτήν η οποία κατέχει εξέχουσα θέση στην σύγχρονη τεχνολογία των υλικών. Οι επικαλύψεις συνίσταται στη επιφανειακή επικάλυψη ενός αντικειμένου συνήθως με ένα λεπτό στρώμα ενός υλικού. Το υλικό που επικάθεται επιφανειακά και καλύπτει κάποιες ανεπιθύμητες ιδιότητες του αντικειμένου που καλύπτεται για λόγους διαφόρων προβλημάτων, οικονομικούς, βελτιώσεις και προστασίας του υλικού.

Οι επικαλύψεις αποτελούν μία από τις βασικότερες παραγωγικές διαδικασίες στο στάδιο της τελικής επεξεργασίας των μεταλλικών επιφανειών. Χωρίς επικάλυψη της επιφάνειας τους τα μεταλλικά προϊόντα θα είχαν πολύ μικρότερο χρόνο ζωής, εξαιτίας της διάβρωσης και φθοράς τους. Οι επικαλύψεις μπορούν να εφαρμοστούν για την ενίσχυση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων, την μορφοποίηση των μετάλλων, την αισθητική βελτίωση τους κλπ. Διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες, τις μεταλλικές και μη μεταλλικές επικαλύψεις.

Διαδικασίες επικάλυψης εφαρμόζονται στην παραγωγική διαδικασία πολλών κλάδων όπως είναι οι βιομηχανίες αυτοκινήτων, ηλεκτρονικών, κοσμημάτων, μηχανολογικού εξοπλισμού, τηλεπικοινωνιών και αεροναυπηγικής.

Η επικάλυψη τροποποιεί γενικά την επιφάνεια των μεταλλικών προϊόντων και αποσκοπεί στην ενίσχυση της:

- αντίστασης στη διάβρωση
- αντοχής στη φθορά
- ηλεκτρικής αγωγιμότητας ή ηλεκτρικής αντίστασης
- φωτεινότητας και λάμψης

- συγκολλητικότητας
- αντοχής σε χημική προσβολή
- σκληρότητας

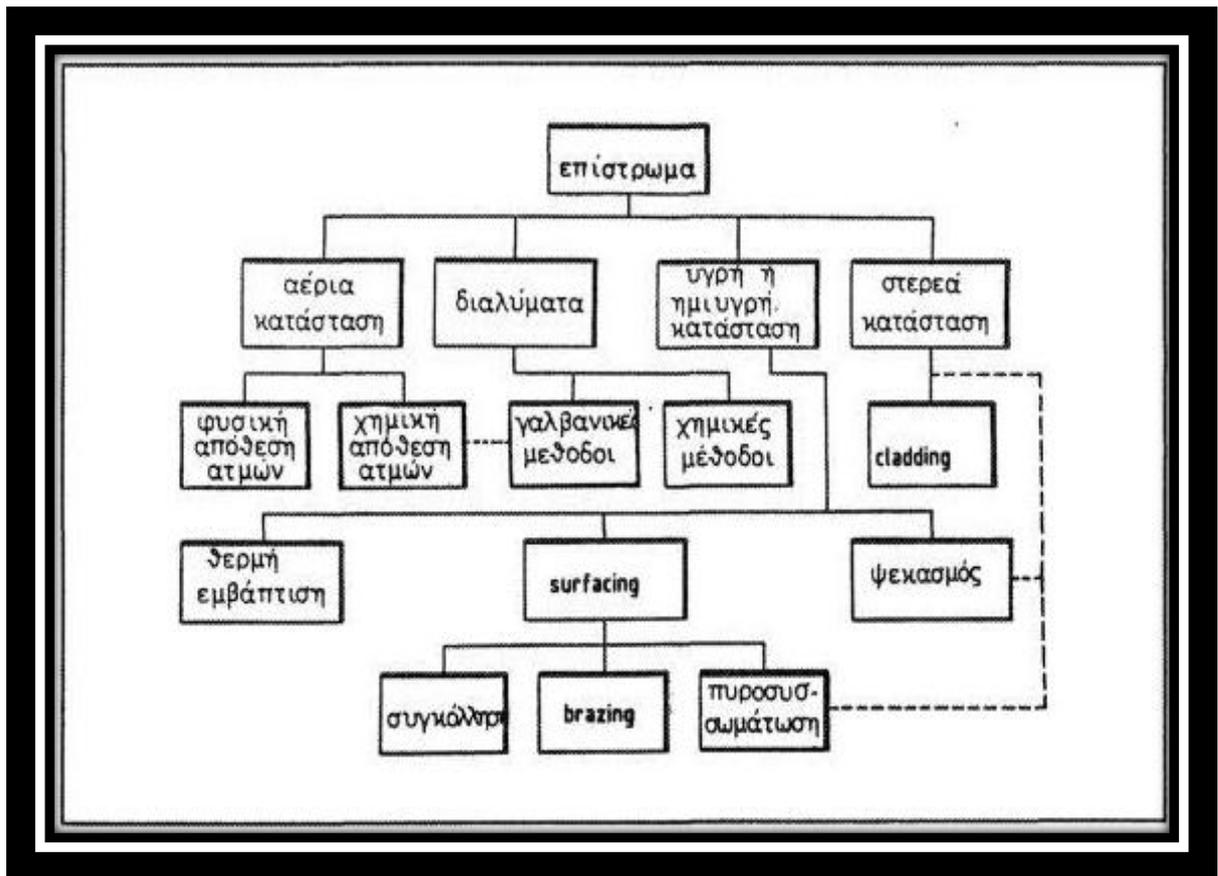
Οι επικαλύψεις αποτελούν βελτιωτικές επεξεργασίες της επιφάνειας με σκοπό να μεταβάλουν την αισθητική και την εμφάνιση αλλά και να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα έναντι θερμικών , μηχανικών ,φυσικών ,και χημικών επιδράσεως και γενικώς να αυξήσουν την αξία χρήσεως του προϊόντος.

Κατά την επικάλυψη χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός υλικών και διαδικασιών για τον καθαρισμό, τη χάραξη και την επίστρωση, με στόχο τη δημιουργία τελικών προϊόντων με επιθυμητά χαρακτηριστικά επιφάνειας. Η ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, η μη ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, επικαλύψεις με χημικές και ηλεκτροχημικές μεθόδους αποτελούν τυπικές διαδικασίες που απαντώνται ευρέως στη βιομηχανία. Οι συνήθεις συμπληρωματικές επεξεργασίες περιλαμβάνουν απολίπανση, καθαρισμό, χάραξη και στίλβωση

Αλλά η διαδικασία της επικάλυψης όπως και όλα τα πράγματα σύμφωνα με τη αρχαία λαϊκή ρήση «Ουδέν καλόν αμιγές κακού» έχουν και τα κακά τους όπως:

- πόροι
- ασυνέχειες
- ρωγμές
- υψηλές εφελκύστηκες και θλιπτικές τάσεις .

Παρόλα αυτά όμως η μέθοδος των μεταλλικών επικαλύψεων είναι ευρέως διαδιδόμενη και για μια οικονομικά βιώσιμη βιομηχανία έχει γίνει απαραίτητη . Γι'αυτό διατίθενται και αρκετοί πόροι για την ανάπτυξη νέων μεθόδων ή βελτιστοποίησης των υπάρχουσών μεθόδων επικαλύψεων



Σχήμα : Γενική ταξινόμηση μεθόδων επικάλυψης

2.2.1 Παράμετροι προστασίας

Χημική (μεταλλουργική) συμβατότητα. Το επίστρωμα πρέπει να είναι σταθερό λαμβάνοντας υπόψη το υπόστρωμα προς αποφυγή υπερβολικής ενδοδιάχυσης και χημικών αντιδράσεων στις συνθήκες λειτουργίας. Ασταθές επίστρωμα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της θερμοκρασίας τήξης του συστήματος υποστρώματος-επιστρώματος ή σε μείωση αντοχής σε ερπυσμό, κόπωση ή θραύση.

Συμβατότητα της διεργασίας επίστρωσης. Ενδέχεται το υλικό που έχει επιλεγεί ως επίστρωμα να είναι πλήρως συμβατό με το υπόστρωμα, η διεργασία όμως που θα

χρησιμοποιηθεί να μην είναι η κατάλληλη (πχ. απαίτηση υψηλών θερμοκρασιών ή χημικής κατεργασίας ακατάλληλης για το υπόστρωμα).

Μηχανική συμβατότητα. Επιστρώματα ανθεκτικά σε οξείδωση και διάβρωση διατηρούν τη δυνατότητα προστασίας μόνο εφόσον έχουν καλή συνάφεια με το υπόστρωμα και δεν παρουσιάζουν κάθετες προς την επιφάνεια ρωγμές. Έτσι πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να έχουν τα δύο υλικά παρόμοιους συντελεστές θερμικής διαστολής, να παρουσιάζουν συνοχή και το επίστρωμα να είναι ικανό να αντέχει σε καταπονήσεις.

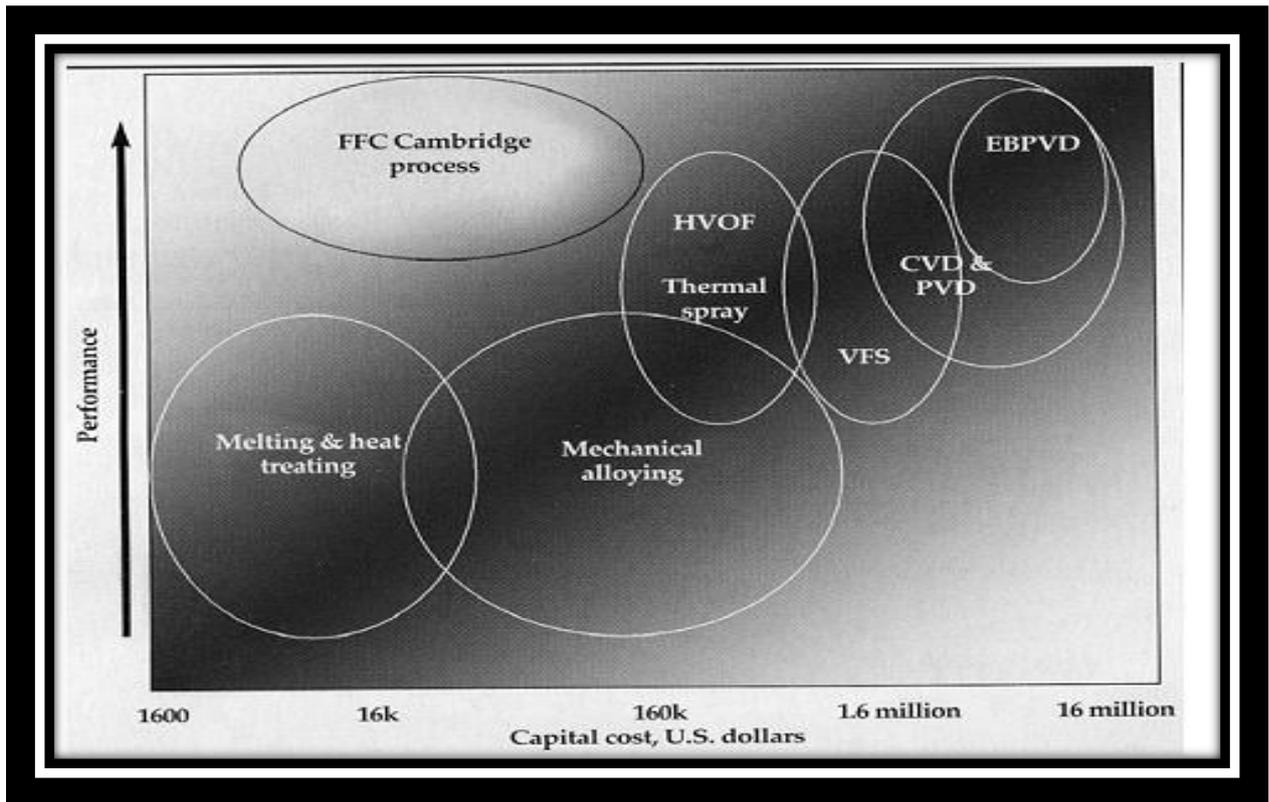
Ικανότητα επικάλυψης υποστρώματος. Η δυνατότητα εναπόθεσης κάποιου επιστρώματος στην επιθυμητή επιφάνεια είναι συνάρτηση της γεωμετρίας και του μεγέθους του αντικειμένου, καθώς και της δυνατότητας της ακολουθούμενης διεργασίας. Κάποιες διεργασίες επίστρωσης είναι οπτικής ευθείας (line-of-sight) και συνεπώς δεν μπορεί με αυτές να επιστρωθούν εσωτερικές επιφάνειες. Η δυνατότητα ομοιόμορφης επίστρωσης σε γωνίες και ακμές πρέπει να ληφθεί υπόψη. Επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη τυχόν μεταβολή των διαστάσεων λόγω του επιστρώματος.

Ακαθαρσίες στον αέρα και τα καύσιμα (καθώς και νερό και ατμός για βιομηχανικές τουρμπίνες). Οι ακαθαρσίες μπορεί να προκαλέσουν συνδυαστική δράση στο θάλαμο υψηλών θερμοκρασιών, προκαλώντας διάβρωση υπό συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Πρέπει να μελετηθούν επιτρεπτά όρια συγκεντρώσεων για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας του επιστρώματος.

Επίπεδα εκπομπής ρύπων των τουρμπινών. Οι αεριοτουρμπίνες είναι δυνατό να παράγουν εκπομπές βλαβερών ρύπων σαν αποτέλεσμα της καύσης. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, οι εκπομπές αυτές έχουν μειωθεί. Γενικά περιλαμβάνουν οξείδια του αζώτου (NO και NO₂, γενικά NO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), άκαυστους υδρογονάνθρακες, οξείδια του θείου (κυρίως SO₂ και SO₃), καθώς και σωματίδια.

Επιπλέον στα επιστρώματα δίνεται σημασία στο πάχος τους, στη σκληρότητα και στο πορώδες, καθώς η έλλειψη πορώδους εμποδίζει την άμεση επαφή του διαβρωτικού περιβάλλοντος με το μέταλλο.

Στην εικόνα φαίνονται οι κυριότερες διεργασίες επιμετάλλωσης, όπου συγκρίνονται η απόδοση με το κόστος επένδυσης. Όπως φαίνεται από την εικόνα αυτή, η διεργασία CVD είναι ιδιαίτερα αποδοτική.



Σχήμα: Επιδόσεις και κόστος επένδυσης για διάφορες τεχνολογίες κυμάτωσης και επίστρωσης

Οι βελτιώσεις των κραμάτων νικελίου και κοβαλτίου (υπερκράματα) τα τελευταία χρόνια για αυξημένη αντοχή σε ερπυσμό σε υψηλές θερμοκρασίες, έχουν γίνει εις βάρος της αντοχής τους σε οξείδωση και διάβρωση, με συνέπεια να είναι αναγκαία η επιφανειακή τους προστασία με χρήση επιστρωμάτων. Τα υπερκράματα έχουν εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να ανταποκρίνονται στη μηχανική καταπόνηση σε υψηλές θερμοκρασίες, θυσιάζοντας χημική αντίσταση απαιτούμενη για την προστασία έναντι της διάβρωσης. Για το λόγο αυτό, η χρήση επιστρωμάτων είναι απαραίτητη για την εγγύηση ασφαλούς και μακροχρόνιας απόδοσης. Το ιδανικό υπερκράμα διαθέτει εξαιρετικά υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και συγχρόνως εμπεριέχει την αντίσταση σε οξείδωση και διάβρωση λόγω των επιστρωμάτων.

2.2.2 Ιδιότητες των υλικών επικάλυψης

Όλα τα επιστρώματα πρέπει να εκπληρώνουν ορισμένους όρους, ώστε η σχετική προστασία που προκαλούν να είναι η καλύτερη. Έτσι γίνεται έλεγχος αν τα επιστρώματα εκπληρώνουν τους ακόλουθους όρους:

- Πάχος των επικαλύψεων. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος, τόσο μεγαλύτερη χρονική αντοχή θα έχει το μέταλλο ή κράμα που προστατεύουν. Αυτό, γιατί το επίστρωμα θα καταναλωθεί μετά από μεγαλύτερο χρόνο, αλλά και γιατί κατά την διάβρωση με βελονισμούς τα ιόντα του μετάλλου ή κράματος, που προστατεύεται, έχουν να διατρέξουν μεγαλύτερο δρόμο. Δεν υπάρχουν διεθνείς προδιαγραφές για τα πάχη. Οι τιμές εξαρτώνται και απ' το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος και τη χρήση του προϊόντος.
- Συνάφεια είναι μια ιδιότητα με εξαιρετικό ενδιαφέρον, που πρέπει να έχουν τα επιστρώματα, είναι η δυνατή πρόσφυση δηλ. η συνάφειά τους με το βασικό μέταλλο, που με αυτή εξασφαλίζεται αντοχή στην αποφλοίωση. Αν πρόκειται για μεταλλικά επιστρώματα, κατασκευάζεται κύλινδρος απ' το βασικό μέταλλο ή κράμα και με τις ίδιες συνθήκες επιμετάλλωσης, που χρησιμοποιήθηκαν για το αντικείμενο, επιμεταλλώνεται η άκρη του. Με μηχανική επεξεργασία δίνουμε στο δοκίμιο τη μορφή του σχήματος. Το βάζουμε στο βάθρο και ασκούμε δύναμη μέχρι να αποκολληθεί. Η δύναμη αυτή ανάγεται ανά τετραγωνικό χιλιοστό της επιφάνειας των δύο μετάλλων, δηλ. βρίσκεται η σ σε Kg/mm^2 . Η σ πρέπει να έχει τιμή μεταξύ της σ θραύσης του βασικού και του καλυπτικού μετάλλου. Ένας άλλος απλός τρόπος είναι να λυγίσει το επιμεταλλωμένο μέταλλο κατά 90° και η συνάφεια θεωρείται αρκετή, αν δεν ξεφλουδίσει το επίστρωμα..
- Σκληρότητα Μια τρίτη ιδιότητα, που εξετάζεται, είναι η σκληρότητα. Εάν τα επιστρώματα δεν είναι αρκετά σκληρά, υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού και αποφλοίωσής τους, κατά τη χρησιμοποίηση των αντικειμένων. Μετρίεται με την μέθοδο Vickers και Brinell, πυραμίδας διαμαντιού πάνω στο δοκίμιο. Υψώνεται με κατάλληλη διάταξη ο φακός του μεταλλογραφικού

μικροσκοπίου, ώστε η πυραμίδα να αφήσει πάνω στο δοκίμιο ίχνος, και μετά φέρνουμε τον φακό σε θέση παρατήρησης, μετρώνται οι διαγώνιοι της τετράγωνης βάσης της πυραμίδας και ο μετρήσεις γίνονται σε Kg/mm^2 .

- Πορώδες Η έλλειψη πορώδους εμποδίζει την άμεση επαφή του διαβρωτικού περιβάλλοντος με το μέταλλο, που προστατεύεται με στρώμα άλλου μετάλλου και αυτό μεγαλώνει τη χρονική διάρκεια του επιστρώματος. Το πορώδες εκφράζεται : 100% μέσος όρος αριθμών πόρων ανά mm^2 .

2.3 Τύποι Επιμετάλλωσης και Επικαλύψεων και ιδιότητες

Από τα αρχαία χρόνια η ανάγκη για εξασφάλιση και αύξηση των ιδιοτήτων των υλικών έχει οδηγήσει στην ανακάλυψη διαφόρων μεθόδων επικάλυψης των υλικών .Αναλόγως όμως χρησιμοποιούμενου υλικού , συνθήκες χρήσης , συνθήκες περιβάλλοντος και κόστος η μέθοδος μπορεί να διαφέρει. Πιο κάτω παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι εν συντομία .

- Επικαλύψεις με εμβάπτιση σε λουτρό .Είναι η διαδικασία όπου κατά την οποία δύο αγωγίμα υλικά έρχονται σε επαφή, έτσι μεταφέρεται ηλεκτρικό φορτίο από το ένα υλικό στο άλλο. Έτσι, η μέση ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται μακροσκοπικά από τη θέση τους, δηλαδή από το πού βρίσκονται μέσα στο ένα ή το άλλο υλικό . Ως αποτέλεσμα το ένα υλικό φορτίζεται θετικά και το άλλο αρνητικά και έτσι συνεπάγεται ότι τα δύο υλικά εμφανίζουν αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο.

Κατά την διαδικασία αυτή παρατηρείται ότι χρειάζεται υψηλή θερμοκρασία του λουτρού για να εξασφάλιση στην διεπιφάνεια επικάλυψης – υποστρώματος καλή πρόσφυση , σχηματίζονται όλες οι ενδιάμεσες φάσεις και ενώσεις ,χρειάζεται καλός καθαρισμός της προς επικάλυψη επιφάνειας .

- Ηλεκτρολυτική επικάλυψη .Συμβαίνει κατά το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης δηλαδή όταν αρνητικό φορτίο τοποθετείται επί του αντικειμένου που πρόκειται να επικαλυφθεί. Το αντικείμενο εν συνέχεια βυθίζεται σε διάλυμα άλατος του μετάλλου που θα χρησιμοποιηθεί για την επικάλυψη του αντικειμένου. Συνδέονται με μια πηγή ρεύματος αποκαθιστώντας έτσι ένα κλειστό κύκλωμα και έτσι τα μεταλλικά ιόντα του άλατος είναι θετικά φορτισμένα και, επομένως, έλκονται από το αρνητικά φορτισμένο αντικείμενο. Μόλις έρθουν σε επαφή, τα θετικά φορτισμένα ιόντα και έρθουν στην μεταλλική μορφή τους ξανά τότε έχουμε το φαινόμενο της ηλεκτρολυτικής επικάλυψης .

Κατά την διαδικασία αυτή παρατηρείται ότι , το πάχος επικάλυψης εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια της επικάλυψης , τη μάζα το σθένος και το ατομικό βάρος του μετάλλου και τη ένταση του ρεύματος της πηγής. Ακόμη σημαντικός παράγοντας είναι η αποφυγή H_2 στην κάθοδο διότι προκαλεί ψαθυροποίηση .

- Χημικές επικαλύψεις .Η διαδικασία αυτή διακρίνεται σε δυο υποκατηγορίες τη φωσφατωση και χημική επινικέλωση .

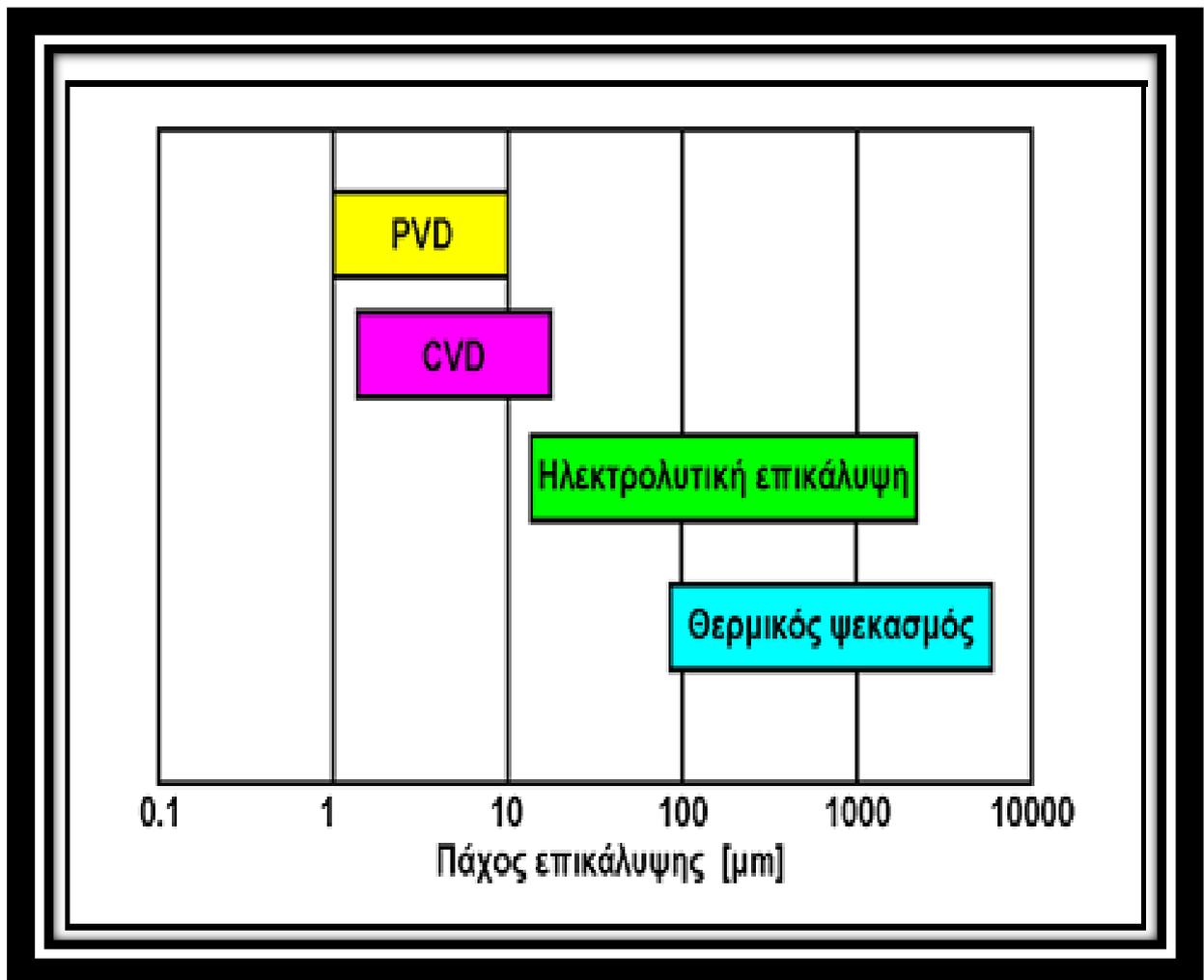
Η φωσφατωση λαμβάνει χώρα όταν το αντικείμενο μας βυθίζεται σε διάλυμα οξέος και σημειώνονται κάποιες αντιδράσεις και έτσι επιτυγχάνεται η πρόσφυση του επιστρώματος στην επιφάνεια μετά αποκρανώνονται τα επιστρώματα με βύθιση ή με ψεκασμό νερού .Στη συνέχεια βυθίζεται σε διάλυμα ασβεστίου και μετά οδηγείται στο ξηραντήρα για απομάκρυνση της παραμένουσας υγρασίας .Κατά την διαδικασία αυτή έχουμε δημιουργία φωσφορικού άλατος σε επιφανειακές στοιβάδες πάχους 10-20 μm , μεγάλη αντοχή σε διάβρωση και υπόβαθρο για περαιτέρω επικάλυψη με χρώμα για πρόσφυση λιπαντικού .

Η χημική επινικέλωση είναι η διαδικασία κατά την οποία το αντικείμενο μας βυθίζεται σε διάλυμα όπου επικαλύπτεται η εμβαπτισμένη μας επιφάνεια χωρίς την αγωγιμότητα κάποιας πηγής (παρόμοια διαδικασία με ηλεκτρολυτική επικάλυψη). Κατά την διαδικασία παρατηρείται ομοιόμορφη

επικάλυψη χωρίς πολυπλοκότητα μορφής ,πάχος επικάλυψης 10-20 μm , μεγάλη αντοχή σε διάβρωση .

- Επικαλύψεις με θερμικό ψεκασμό .Η διαδικασία που ακολουθείτε κατά την απόθεση επιστρωμάτων με ψεκασμό τηγμένων μεταλλικών και κεραμικών σωματιδίων όπου το υλικό επικάλυψης θερμαίνεται και ψεκάζεται τηκόμενο στην επιφάνεια του υλικού μας όπου προσκρούόμενο στερεοποιείται απότομα δημιουργώντας την επικάλυψη .Διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες οι όποιες είναι : ψεκασμός φλόγας , ψεκασμός τόξου , ψεκασμός με υψηλής ταχύτητας καύσης με οξυγόνο (HVOF) ,ψεκασμός πλάσματος .
Κατά την διαδικασία έχουμε : υψηλή αντίσταση σε φθορά και διάβρωση , θερμική μόνωση , υπεραγωγιμότητα και βιοσυμβατότητα .
- Επικαλύψεις με ακτινοβολία laser . Οι κατεργασίες επικάλυψης με δέσμη ακτινών laser γίνεται με παραγωγή υψηλής ισχύος (10^4 - 10^6 W/cm²) . Η δέσμη laser σαρώνει την επιφάνεια του υποστρώματος η οποία φέρει προϋποτεθειμένη σκόνη επ' αυτής. Επέρχεται τήξη της σκόνης, που οδηγεί σε ανάμιξη των υλικών επιθέματος και υποστρώματος . Διακρίνονται με κριτήριο τον τρόπο τροφοδοσίας του υλικού επικάλυψης σε δύο τεχνικές: επικάλυψη με προϋπόθεση σκόνης στην επιφάνεια του τεμαχίου και επικάλυψη με ταυτόχρονο ψεκασμό σκόνης. Κατά την διαδικασία έχουμε : σκληρές και ανθεκτικές επιστρώσεις , υψηλή αντίσταση σε φθορά και διάβρωση και θερμική μόνωση.
- Επικαλύψεις με εναπόθεση ατμών . Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τη Φυσική εναπόθεση ατμών (PVD) και χημική εναπόθεση ατμών (CVD) .
Φυσική εναπόθεση ατμών έχουμε εξάχνωση του υλικού επικάλυψης σε θάλαμο κενού με τη βοήθεια πηγής θερμότητας. Συμπύκνωση των παραγομένων ατμών κατά την πρόσπτωσή τους στην επιφάνεια υποστρώματος. . Κατά την διαδικασία έχουμε : λεπτά επιστρώματα με πολύ χαμηλό πορώδες, πάχους 1-10 μm , μεγάλη ανθεκτικότητα σε φθορά και διάβρωση.

Χημική εναπόθεση ατμών έχουμε σχηματισμό επιστρώματος με κατάλληλη χημική αντίδραση πάνω στην επιφάνεια του υποστρώματος κατά την οποία έχουμε : λεπτά και πολύ σκληρά επιστρώματα και μεγάλη ανθεκτικότητα σε φθορά



Σχήμα : Πάχος επιστρώματος στις διάφορες επιφανειακές κατεργασίες επικάλυψης

Βιβλιογραφία

1. Δ. Μανωλάκος, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Εφαρμογές Προηγμένων Υλικών
2. Α. Γ. Μάμαλης, Τεχνολογία των κατεργασιών των υλικών
3. Επιστήμη και τεχνολογία των υλικών / William D. Callister μεταφραστική ομάδα Κωνσταντίνος Γαλιώτης
4. Θ.Σκουλικίδης – Π. Βασιλείου Διάβρωση και προστασια των υλικών
5. Process technology and surface analysis / edited by P. K. Datta and J. S. Gray

Δημοσιεύσεις

1. Tucker R C. 1998, Surface Engineering. ASM Metals Hand Book. American Society for Metals International, Ohio, Materials Park
2. M.H. Jacobs The Processing, Properties and Applications of Metallic and Ceramic Materials
3. Deanne J. Draeger and E. D. Case Engineering the surface texture and shape of channels in ceramic substrates

Ιστοσελίδες

1. <http://en.wikipedia.org>
2. <http://www.journalamme.org>
3. <http://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY349/>
4. http://jestec.taylors.edu.my/Vol%205%20Issue%203%20September%2010/Vol_5_3_293_301_DP_Selvaraj.pdf

3 Πλάσμα

Πλάσμα ονομάζουμε ένα σώμα το οποίο δεν έχει συγκεκριμένο όγκο και σχήμα, στο οποίο βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή ηλεκτρικά φορτισμένα ατομικά σωματίδια (ιόντα και ηλεκτρόνια). Υπάρχουν δύο ορισμοί του πλάσματος

* Πλάσμα είναι ιονισμένο αέριο.

* Πλάσμα είναι η κατάσταση της ύλης η οποία αποτελείται από ελεύθερα ιόντα και ηλεκτρόνια.

Ο ένας ορισμός θεωρεί το πλάσμα μορφή αερίου, ενώ ο άλλος όχι και το κατατάσσει ως τέταρτη μορφή της ύλης. Το πλάσμα διαφέρει από ένα μη-ιονισμένο αέριο. Σχηματίζεται όταν ένα αέριο γίνει πολύ υπέρθερμο με αποτέλεσμα ηλεκτρόνια να δραπέτεύσουν από το άτομό τους και να γίνουν ελεύθερα (ελεύθερα ηλεκτρόνια). Το πλάσμα συνίσταται επομένως από ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα, άτομα ή μόρια που έχουν χάσει ή αποκτήσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, και είναι η υπεριορισμένη κατάσταση της ύλης.

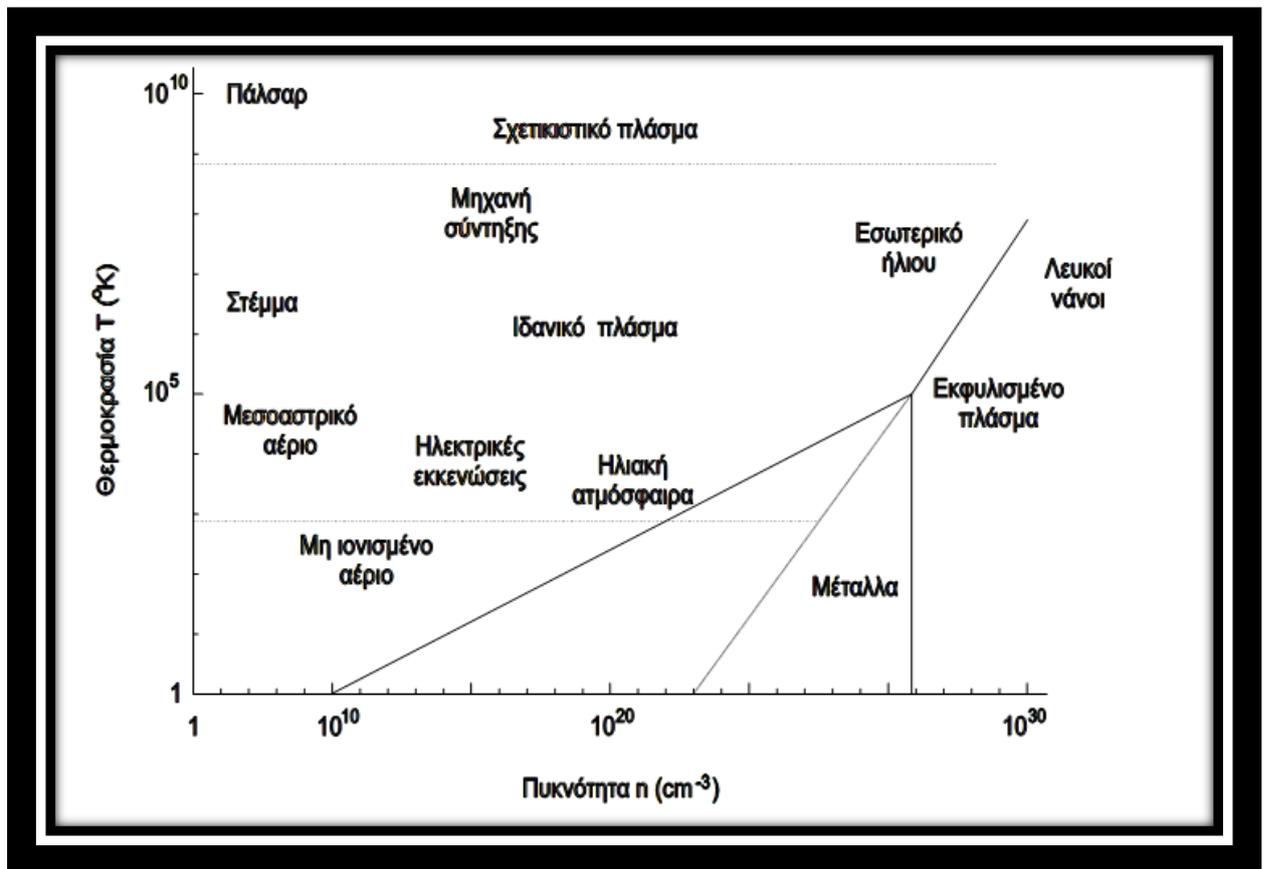
Πλάσμα συναντάται στον Ήλιο, στους αστέρες, στο μεσοαστρικό χώρο και τους κεραυνούς. Ο ηλιακός άνεμος αποτελείται από πλάσμα. Σε συνθήκες εργαστηρίου δημιουργείται σε θερμοπυρηνικούς αντιδραστήρες και στους σωλήνες φωτισμού που περιέχουν το αέριο νέον. Σε αντίθεση με τα άλλα αέρια το πλάσμα είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού.

Το πλάσμα, που μερικές φορές αναφέρεται ως "η τέταρτη κατάσταση της ύλης" (εκτός από τη στερεή, την υγρή και την αέρια), αναφέρεται σε αυτή την περίπτωση σε ένα αέριο στο οποίο έχει παρωχευθεί αρκετή ενέργεια για να αποχωριστούν τα άτομα από τα ηλεκτρόνιά τους (ιονισμός) και να παραχθεί ένα νέφος από ιόντα και ηλεκτρόνια. Επειδή τα σωματίδια αυτά είναι ιονισμένα (φορτισμένα), το αέριο συμπεριφέρεται διαφορετικά από ένα ουδέτερο αέριο, για παράδειγμα όταν υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Το πλάσμα ως θερμοδυναμική φάση εκδηλώνει διαφορετικές ιδιότητες από τις ιδιότητες των αερίων. Η θερμοκρασία, για παράδειγμα, στην οποία τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται αποκτούν συγκεκριμένο φάσμα ταχυτήτων εξαρτάται από τον βαθμό ιονισμού (δηλαδή την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου). Το φαινόμενο αυτό έχει

σημαντικές τεχνολογικές εφαρμογές, καθώς τεχνολογικές διεργασίες που μέχρι τώρα πραγματοποιούνταν με χρήση μη-ιονισμένων-αερίων σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορούν πλέον να γίνονται με χρήση πλάσματος σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το οικονομικό όφελος είναι προφανές. Αλλά και διεργασίες ανέφικτες με χρήση αερίων γίνονται τεχνικά δυνατές με χρήση πλάσματος[.

Μία βασική διαφορά του πλάσματος από τις άλλες βασικές καταστάσεις της ύλης είναι ότι ο όγκος και το σχήμα του εξαρτάται σημαντικά από τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, από τα οποία συνήθως δημιουργείται, όπως και ο κεραυνός. Η θερμοκρασία του πλάσματος είναι υπερβολικά υψηλή, αλλά η πίεση υπερβολικά χαμηλή. Αν το πλάσμα προσκρούσει σε άλλο σώμα τότε ψύχεται αμέσως χωρίς να θερμάνει το άλλο σώμα



Σχήμα : Παράμετροι συστημάτων που αποτελούνται από πλάσμα

3.1 Τρόποι δημιουργίας του πλάσματος

Στο εργαστήριο το πλάσμα δημιουργείται από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις. Όταν ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο εφαρμοσθεί σε μερικώς ιονισμένο αέριο, τα ηλεκτρόνια και ιόντα επιταχύνονται και αποκτούν μεγάλες ταχύτητες. Όταν φορτισμένα σωματίδια με μεγάλη ταχύτητα συγκρούονται με άτομα ή μόρια, ελευθερώνουν τροχιακά ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα που δημιουργούνται με τη σειρά τους, επιταχύνονται και ιονίζουν άλλα άτομα ή μόρια. Στην καθημερινή μας ζωή συναντάμε τέτοιες συσκευές, όπως για παράδειγμα, η λάμπα φθορισμού κ.α. Η πυκνότητα του πλάσματος και η πίεση διαφέρουν από συσκευή σε συσκευή, για παράδειγμα, σε λαμπτήρες εκκένωσης η πίεση είναι 1 torr, η αριθμητική πυκνότητα $10^9 - 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ και η θερμοκρασία ηλεκτρονίων 10^4 K .

Το πλάσμα μπορεί να δημιουργηθεί και με θερμικό ιονισμό όταν η θερμική ενέργεια του αερίου γίνει ίση με την ενέργεια ιονισμού του. Για τα ουδέτερα μόρια, η ενέργεια ιονισμού είναι της τάξης μερικών eV, και αντιστοιχεί σε θερμοκρασία $10^4 - 10^5 \text{ K}$.

Τα μέταλλα και οι ημιαγωγοί περιλαμβάνουν ελεύθερα ηλεκτρόνια, ένας ημιαγωγός περιέχει ελεύθερα ηλεκτρόνια και 'οπές'. Ένα πλάσμα από ηλεκτρόνια και 'οπές' ονομάζεται 'κβαντικό πλάσμα.' Η μελέτη ενός τέτοιου πλάσματος γίνεται με τη βοήθεια της κβαντομηχανικής, μιας και η αλληλεπίδραση των γειτονικών ηλεκτρονίων γίνεται σημαντική.

Σε ύψος 70 — 500 km πάνω από την επιφάνεια της Γης, η πυκνότητα του ιονισμένου αερίου αυξάνει δραματικά και σιγά-σιγά αρχίζει να γίνεται μεγαλύτερη από την πυκνότητα του μη-ιονισμένου αερίου. Το στρώμα αυτό ονομάζεται 'ιονόσφαιρα'. Η αριθμητική πυκνότητα του πλάσματος στην ιονόσφαιρα είναι 10^{16} cm^{-3} , ενώ η θερμοκρασία είναι 2000 K. Η θερμοκρασία και η πυκνότητα μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, με την εναλλαγή των εποχών καθώς και με τη δραστηριότητα του Ήλιου. Πλάσμα ρέει από την επιφάνεια του Ήλιου στο μεσοπλανητικό χώρο και ονομάζεται 'ηλιακός άνεμος'.

Επίσης το εσωτερικό των αστέρων, καθώς και οι ατμόσφαιρες των αστέρων βρίσκονται σε κατάσταση πλάσματος. Στο εσωτερικό των αστέρων η πυκνότητα είναι 10^2 gr/cm^3 και η θερμοκρασία 10^7 K , ενώ στο εσωτερικό των αστέρων που βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο εξέλιξης, όπως οι λευκοί νάνοι, η πυκνότητα

μπορεί να φτάσει τα $10^5 — 10^8 \text{ gr/cm}^3$, τιμές που αναλογούν σε αριθμητικές πυκνότητες των ηλεκτρονίων της τάξης των $10^{28} — 10^{31} \text{ cm}^{-3}$. Ακόμη, στο σύμπαν συναντάμε διάφορα αστροφυσικά αντικείμενα, όπως υπολείμματα υπερκαινοφανών, πάλσαρς, αστέρες που εκπέμπουν ακτίνες- X, ενεργά κέντρα γαλαξιών, συμπεριλαμβανομένων και ημιαστέρων, όπου το πλάσμα είναι κυρίαρχο συστατικό τους

3.2 Χαρακτηριστικά πλάσματος

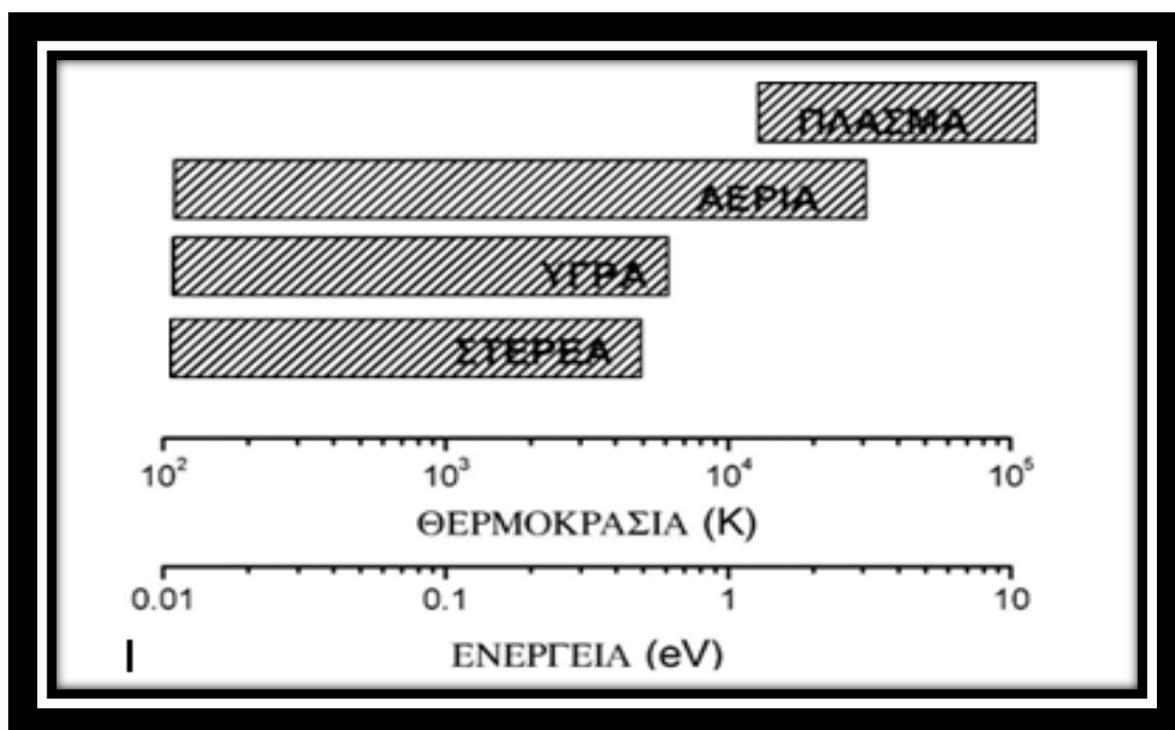
Το πλάσμα είναι από ενεργειακή άποψη, (λαμβάνοντας υπόψη την ενέργεια των σωματιδίων που το αποτελούν), η τέταρτη κατάσταση της ύλης μετά τη στερεά, την υγρή και την αέρια. Στο πιο κάτω σχήμα παρουσιάζεται σχηματικά η διακύμανση της θερμοκρασίας και της ενέργειας των σωματιδίων σε κάθε μια από τις τέσσερις καταστάσεις της ύλης.

Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να ορίσουμε το πλάσμα ως ένα ψευδό-ουδέτερο αέριο που αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια (ιόντα και ηλεκτρόνια) και ουδέτερα σωματίδια και χαρακτηρίζεται από μια «συλλογική συμπεριφορά».

Για να ορίσει κάποιος τι ακριβώς είναι η συλλογική συμπεριφορά καλό είναι να δει πως περιγράφονται τα ιδανικά αέρια με τη βοήθεια της κινητικής θεωρίας. Σύμφωνα με αυτή, σε ένα σύννηθες ουδέτερο αέριο δεν δρουν κανενός είδους δυνάμεις μεταξύ των μορίων, κάνοντας την προσέγγιση πως οι βαρυτικές δυνάμεις είναι αμελητέες και τα άτομα μετακινούνται σε ευθείες τροχιές με μια κατανομή ταχυτήτων. Η κίνηση αυτή των μορίων περιορίζεται από τις συγκρούσεις μεταξύ τους και από αυτές με τα τοιχώματα του δοχείου. Σαν συνέπεια των παραπάνω τα μόρια ακολουθούν μια τυχαία κίνηση Brown.

Στο πλάσμα η κίνηση των σωματιδίων μπορεί να προκαλέσει τοπικές συσσωρεύσεις θετικών και αρνητικών φορτίων, τα οποία δημιουργούν ηλεκτρικά πεδία μεγάλης

εμβέλειας (αλληλεπιδράσεις Coulomb). Τα ηλεκτρικά αυτά πεδία μπορούν να επηρεάσουν την κίνηση φορτισμένων σωματιδίων που βρίσκονται πολύ μακρύτερα από το σημείο που συσσωρεύτηκαν τα αρχικά φορτία. Κατά αυτόν τον τρόπο προσδίδεται στο πλάσμα η «συλλογική συμπεριφορά», εννοώντας έτσι τη δυνατότητα των σωματιδίων του πλάσματος να επηρεάζουν το ένα το άλλο σε μεγάλες αποστάσεις σε σύγκριση με το μέγεθός τους.



Σχήμα : Διακύμανση της θερμοκρασίας και της ενέργειας των σωματιδίων σε κάθε μια από τις τέσσερις καταστάσεις της ύλης

Οι τοπικές συγκεντρώσεις φορτίου στο πλάσμα γίνονται σε όγκους μικρών διαστάσεων λ_D , όπου λ_D είναι μια χαρακτηριστική διάσταση του πλάσματος που ονομάζεται μήκος Debye. Για να γίνει φανερή η σπουδαιότητα της συγκεκριμένης παραμέτρου είναι χρήσιμο πρώτα να αναφερθούν κάποια πράγματα.

Στην περίπτωση που δημιουργηθεί στο πλάσμα ένα ηλεκτρικό φορτίο, τα φορτισμένα σωματίδια θα αντιδράσουν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μειωθεί η επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου σε αυτά. Τα ελαφρύτερα, πιο ευκίνητα ηλεκτρόνια θα αντιδράσουν πρώτα σε αυτήν την κατεύθυνση. Αυτό το φαινόμενο καλείται

προστασία Debye και είναι αυτό που δίνει στο πλάσμα τον ψευδό-ουδέτερο χαρακτήρα του. Υποθέτοντας ότι εφαρμόζεται μια διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο επιφανειών στο πλάσμα, οι επιφάνειες θα προσελκύσουν ίδιο αριθμό φορτισμένων σωματιδίων αντίθετου φορτίου. Η συγκέντρωση των φορτισμένων σωματιδίων θα παρέχει ενός είδους προστασία στις επιφάνειες από την κύρια μάζα του πλάσματος, η οποία θα παραμένει ουδέτερη. Το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο θα αναπτυχθεί κυρίως γύρω από τις επιφάνειες σε μία απόσταση που λέγεται μήκος Debye

Για να είναι το πλάσμα σταθερό, είναι απαραίτητο οι παράμετροι του συστήματος να είναι αρκετά μεγαλύτερες από το μήκος Debye. Έτσι, εξασφαλίζεται η ψευδοουδετερότητα στο πλάσμα. Είναι λοιπόν το μήκος Debye η χαρακτηριστική διάσταση στην οποία μπορεί να συμβεί η διάσπαση της ουδετερότητας στο πλάσμα.

3.3 Περιβλήματα

Τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια που φτάνουν σε μια επιφάνεια επανασυνδέονται και χάνονται για το πλάσμα. Τα ηλεκτρόνια μάλιστα, τα οποία έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες από τα ιόντα φθάνουν στην επιφάνεια γρηγορότερα, φορτίζοντας το πλάσμα θετικά στις περιοχές κοντά στην επιφάνεια. Αναπτύσσεται έτσι δίπλα στην επιφάνεια ένα ηλεκτρικό πεδίο που επιβραδύνει τα ηλεκτρόνια και επιταχύνει τα ιόντα κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μηδενίζεται το συνολικό ρεύμα. Σα συνέπεια του φαινομένου αυτού η επιφάνεια αποκτά ένα αρνητικό δυναμικό σε σχέση με το πλάσμα ή με άλλα λόγια η επιφάνεια αποκτά αρνητική αυτοπόλωση σε σχέση με το πλάσμα.

Κατά αυτόν τον τρόπο το πλάσμα είναι μόνιμα σε θετικό δυναμικό σε σχέση με τις επιφάνειες που έρχεται σε επαφή. Εξαιτίας της προστασίας Debye το δυναμικό που αναπτύσσεται μεταξύ της επιφανείας και της μάζας του πλάσματος είναι σε πάχος της

τάξεως αρκετών μηκών Debye. Αυτό το στρώμα με το θετικό φορτίο που περιβάλλει τις επιφάνειες που βρίσκονται σε επαφή με το πλάσμα ονομάζεται περίβλημα πλάσματος (sheath).

Το δυναμικό του περιβλήματος (sheathpotential) V_s , είναι το ηλεκτρικό δυναμικό για επίπεδη επιφάνεια .

Μόνο τα ηλεκτρόνια έχουν την απαραίτητη ενέργεια για να διαπεράσουν το περίβλημα και να φθάσουν στην επιφάνεια η οποία ούσα αρνητικά φορτισμένη σε σχέση με το πλάσμα, τείνει να απωθεί τα ηλεκτρόνια. Η τιμή του δυναμικού του περιβλήματος αυτορυθμίζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η ροή αυτών των ηλεκτρονίων να είναι ίδια με αυτή των ιόντων που φθάνουν στην επιφάνεια.

3.3.1 Ηλεκτρικές εκκενώσεις

Οι εκκενώσεις με τη εφαρμογή της τάσης, τα λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια που βρίσκονται σχεδόν σε κάθε αέριο κερδίζουν ενέργεια από το ηλεκτρικό πεδίο και ξεκινούν μια διαδικασία πολλαπλασιασμού μέσω ιονιστικών συγκρούσεων με τα μόρια ή τα άτομα του αερίου. Ο πολλαπλασιασμός των ηλεκτρονίων είναι γρήγορος αφού κάθε ηλεκτρόνιο που συμμετέχει σε μια σύγκρουση ιονισμού παράγει ακόμα ένα ηλεκτρόνιο που με τη σειρά του θα συμμετάσχει σε άλλες διαδοχικές συγκρούσεις. Για να αποκτήσει η διεργασία χαρακτήρα μιας μόνιμης κατάστασης, πρέπει ο ρυθμός παραγωγής ηλεκτρονίων μέσω ιονισμού να εξισορροπήσει το ρυθμό απώλειας των ηλεκτρονίων που χάνονται στις επιφάνειες ή μέσω επανασύνδεσης .

3.3.2 Εκκενώσεις αίγλης ραδιοσυχνότητας

Η συχνότητα διέγερσης σε αυτές τις εκκενώσεις συνήθως βρίσκεται στην περιοχή $f = \omega/2\pi = 1 - 100$ MHz, όπου αντιστοιχεί σε μήκος κύματος $\lambda = 3 - 300$ m, μήκος αρκετά μεγαλύτερο από τις διαστάσεις των συνηθισμένων αντιδραστήρων πλάσματος. Τα 13.56 MHz καθώς και οι τέσσερις ανώτερες αρμονικές του είναι συχνότητες προορισμένες για βιομηχανικές εφαρμογές και είναι επιτρεπτές από τις διεθνείς τηλεπικοινωνιακές αρχές.

Η εκκένωση ενός αερίου μπορεί να παραχθεί χρησιμοποιώντας συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα. Στην πράξη όμως σήμερα η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος έχει επικρατήσει. Γενικά η συμπεριφορά του περιβλήματος του ηλεκτροδίου ισοδυναμεί ηλεκτρικά με πυκνωτή. Με την εφαρμογή μιας εναλλασσόμενης τάσης ο πυκνωτής δεν άγει ρεύμα κατά τη διάρκεια της μισής περιόδου όπου θετικό φορτίο συσσωρεύεται στο περίβλημα. Στο υπόλοιπο ήμισυ της περιόδου το περίβλημα αποφορτίζεται επιτρέποντας στο ρεύμα να διέλθει μέσω αυτού. Δηλαδή, το πολωμένο ηλεκτρόδιο δρα εναλλακτικά σαν κάθοδος ή άνοδος. Αξίζει να σημειωθεί ότι για σχετικά χαμηλές συχνότητες το πεδίο επιταχύνει τα ιόντα προς την επιφάνεια των ηλεκτροδίων προκαλώντας με αυτό τον τρόπο την παραγωγή δευτερογενών ηλεκτρονίων όπως συμβαίνει στις εκκενώσεις συνεχούς ρεύματος. Άλλα με την αύξηση της συχνότητας τα ιόντα αδυνατούν να ανταποκριθούν στις εναλλαγές του πεδίου με αποτέλεσμα να μη μπορούν να φτάσουν στα ηλεκτρόδια κατά τη διάρκεια ενός κύκλου της ραδιοσυχνότητας.

Εάν μια εκκένωση χρησιμοποιείται για την εναπόθεση ενός διηλεκτρικού υμενίου, τα ηλεκτρόδια που εκτίθενται στο πλάσμα, βαθμιαία καλύπτονται από ένα μονωτή. Έτσι παρόλο που ανάβει μια εκκένωση συνεχούς ρεύματος, δεν διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα μιας και τα ηλεκτρόνια που συγκεντρώνονται στο μονωτή επανασυνδέονται με τα διαθέσιμα ιόντα.

Στην περίπτωση που εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό πεδίο χαμηλής συχνότητας (<100 Hz) μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, κάθε ηλεκτρόδιο δρα εναλλακτικά σαν άνοδος και κάθοδος. Όταν η συχνότητα του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνει πάνω από την λεγόμενη κρίσιμη ιοντική συχνότητα ο χρόνος που χρειάζονται τα θετικά ιόντα να μετακινηθούν μεταξύ των ηλεκτροδίων γίνεται μεγαλύτερος από το μισό της περιόδου του ηλεκτρικού πεδίου. Τα ιόντα που δημιουργούνται κοντά στην άνοδο δεν

μπορούν να φθάσουν στην κάθοδο πριν την αναστροφή του πεδίου. Στην περίπτωση αυτή, η διαδρομή που διανύουν τα ιόντα είναι μικρότερη από το πάχος του περιβλήματος. Σε τέτοιες συχνότητες το θετικό φορτίο διατηρείται μερικώς μεταξύ των δύο κύκλων του εναλλασσόμενου πεδίου και διευκολύνει κατά αυτόν τον τρόπο την επαναλειτουργία της εκκένωσης

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αίγλης καλύπτουν ένα συνεχώς αυξανόμενο φάσμα εφαρμογών με μεγάλη τεχνολογική και οικονομική σημασία. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι λαμπτήρες φθορισμού που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα και παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Οι λαμπτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια και στους προβολείς των αυτοκινήτων.

Οι σημαντικότερες όμως εφαρμογές των εκκενώσεων αυτών είναι: (α) Η εγχάραξη ή ξηρή λιθογραφία για τη δημιουργία δομών στη μικροηλεκτρονική (β) Το sputtering (γ) Η επεξεργασία επιφανειών με σκοπό την αλλαγή των ιδιοτήτων τους (δ) Η εναπόθεση υλικών σε επιφάνειες

3.3.3 Χωρικά συζευγμένη εκκένωση

Η συμπεριφορά του περιβλήματος που είναι σε επαφή με την επιφάνεια του ηλεκτροδίου είναι πολύ σημαντική σε μια χωρικά συζευγμένη εκκένωση .

Με εφαρμογή μιας χρόνο-μεταβαλλόμενης τάσης, το μήκος του περιβλήματος μεταβάλλεται, λόγω της μετακίνησης των ηλεκτρονίων από ή προς το ηλεκτρόδιο. Αν το ηλεκτρικό πεδίο ταλαντώνεται με συχνότητες > 1 MHz, τότε τα ιόντα δεν μπορούν να ανταποκριθούν έτσι ώστε να αλλάζουν την πυκνότητα τους σε ένα κύκλο της rf. Έτσι, οι περισσότερες μεταβολές οφείλονται στην υψηλή ευκινησία των ηλεκτρονίων.

Καθώς το ηλεκτρόδιο γίνεται όλο και πιο αρνητικό, περισσότερα ηλεκτρόνια απωθούνται από το ηλεκτρόδιο δημιουργώντας έτσι μια περίσσεια θετικού φορτίου στη άκρη του περιβλήματος. Επειδή πάντα θα υπάρχουν λίγα ηλεκτρόνια στην περιοχή του περιβλήματος και επειδή τα ιόντα κινούνται αργά, θα περίμενε κανείς το ρεύμα αγωγιμότητας που διέρχεται στο περίβλημα να είναι πολύ μικρό. Έτσι αναπτύσσεται ένα ισχυρό πεδίο λόγω της συσσώρευσης των ιόντων που απαιτεί ανάλογο αρνητικό φορτίο στο ηλεκτρόδιο. Το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει μόνο μια συνιστώσα (στον άξονα που ορίζουν τα δύο ηλεκτρόδια) και αυτό συμβαίνει διότι οι δυναμικές του γραμμές αδυνατούν να διεισδύσουν ακτινικά του πλάσματος λόγω της υψηλής πυκνότητας ηλεκτρονίων στη κύρια μάζα του πλάσματος.

Το γεγονός ότι το ρεύμα μετατόπισης επικρατεί στο περίβλημα κάνει τη συμπεριφορά του περιβλήματος να είναι όμοια με αυτή ενός μεταβλητού πυκνωτή.

Το συνολικό ρεύμα είναι το άθροισμα του ρεύματος μετατόπισης συν το ρεύμα αγωγιμότητας και πρέπει να είναι ίδιο στο περίβλημα με αυτό στο πλάσμα (bulk) σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή του κύκλου της ραδιοσυχνότητας. Έτσι, καθώς μεταβαίνουμε από το περίβλημα στο πλάσμα (bulk), ένα μεγάλο ποσοστό ρεύματος μετατόπισης μετατρέπεται σε ρεύμα αγωγιμότητας. Ως εκ τούτου, το πλάσμα (bulk) τείνει να συμπεριφέρεται ωμικά.

Είναι γνωστό ότι η προσομοίωση του περιβλήματος με πυκνωτή είναι λόγω της συμπεριφοράς των ηλεκτρονίων που απωθούνται εκτός περιβλήματος κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του κύκλου της ραδιοσυχνότητας. Τώρα αν για οποιοδήποτε λόγω το εξωτερικό κύκλωμα απομακρύνει το αρνητικό φορτίο από το ηλεκτρόδιο, αυτό θα οδηγήσει στη κατάρρευση του περιβλήματος με αποτέλεσμα την μαζική μετατόπιση των ηλεκτρονίων προς το ηλεκτρόδιο]. Όταν όμως το περίβλημα καταρρέει το δυναμικό του περιβλήματος πλησιάζει το μηδέν. Μια τέτοια συμπεριφορά μπορεί να αποδοθεί ηλεκτρικά σε μια δίοδο. Από την άλλη η αντίσταση επιτρέπει το ρεύμα των ιόντων να διέρχεται μέσω του περιβλήματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η δίοδος είναι διαμορφωμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να απωθούνται από το ηλεκτρόδιο στην μη αρνητική του στιγμιαία μεταβολή. Έτσι η δίοδος αποκτά χαρακτήρα βαλβίδας ασφαλείας του

ηλεκτρόδιου ώστε να μην γίνει πιο θετικό από το πλάσμα, την στιγμή που το πλάσμα έλκει ραγδαία τα ηλεκτρόνια και γίνεται πάλι πιο θετικό .

3.4 Μέθοδοι μελέτης του πλάσματος

Το πλάσμα διαφέρει από τα ιδανικά αέρια σε ένα βασικό σημείο: στο ότι παρουσιάζει 'συλλογικά φαινόμενα'. Τα συλλογικά φαινόμενα οφείλονται στη μεγάλη εμβέλεια των δυνάμεων Coulomb, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τα φορτισμένα σωματίδια να μην αλληλεπιδρούν μόνο μέσω συγκρούσεων με τα γειτονικά τους φορτία αλλά και να δέχονται την επίδραση ενός μέσου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που δημιουργούν όλα τα υπόλοιπα φορτία. Σε ένα μεγάλο αριθμό φαινομένων που $v > a$ περιγράφουμε σε αυτό το βιβλίο οι συγκρούσεις παίζουν μικρό ρόλο επειδή τα συλλογικά φαινόμενα εξελίσσονται πολύ πιο γρήγορα από το χαρακτηριστικό χρόνο των συγκρούσεων.

Οι δυνάμεις βαρύτητας έχουν ανάλογες ιδιότητες με τις δυνάμεις Coulomb

έχουν τη μορφή $1/r^2$. Για το λόγο αυτό, η στατιστική μελέτη των γαλαξιών και των αστρικών σμηνών βασίζεται σε μεθοδολογίες ανάλογες με αυτές που χρησιμοποιούμε για τη μελέτη του πλάσματος.

Στη μελέτη του πλάσματος χρησιμοποιούμε διάφορες προσεγγίσεις ανάλογα με τη φύση του προβλήματος που θέλουμε να αναλύσουμε κάθε φορά.

Η κίνηση φορτισμένων σωματιδίων μέσα σε εξωτερικά εφαρμοζόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι η απλούστερη περιγραφή του πλάσματος και αποδίδεται από το νόμο του Νεύτωνα, ο οποίος στο σύστημα cgs, το οποίο χρησιμοποιείται, εκφράζεται από την εξίσωση

$$m \frac{du}{dt} = F = q \left(E + \frac{u \times B}{c} \right)$$

όπου F είναι η δύναμη Lorentz, m και q είναι η μάζα και το φορτίο του σωματιδίου και E , B είναι τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Οι κινήσεις των φορτισμένων σωματιδίων σε συγκεκριμένες μαγνητικές τοπολογίες μας δίνουν αρκετές πληροφορίες για τη μελέτη της παγίδευσης του πλάσματος αλλά και της επιτάχυνσης φορτίων μέσα σε ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Τα συλλογικά φαινόμενα στο πλάσμα περιγράφονται επίσης από τις εξισώσεις Maxwell.

$$\nabla \cdot E = 4\pi\rho$$

$$\nabla \cdot E = 0$$

$$\nabla \times E = -\frac{1}{c} \left(\frac{dB}{dt} \right)$$

$$\nabla \times B = \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{dE}{dt}$$

Όπου περιγράφουν την εξέλιξη του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου με δεδομένα την πυκνότητα φορτίου (ρ) και ρεύματος (J) στο σημείο με διάνυσμα

Ακόμη το πλάσμα συμπεριφέρεται και ως αγωγίμο υλικό και ως διηλεκτρικό, με αποτέλεσμα να διαθέτει χαρακτηριστική 'σχέση διασποράς με βάση την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε τις συχνότητες που μπορούν να διαδοθούν μέσα στο πλάσμα

Βιβλιογραφία

1. Λ. Βλάχος Εισαγωγικές έννοιες φυσική πλάσματος
2. The Physics of plasmas / T. J. M. Boyd, J. J. Sanderson
3. The fourth state of matter : an introduction to plasma science / Shalom Eliezer and Yaffa Eliezer

Δημοσιεύσεις

1. Richard Fitzpatrick Plasma physics
2. G. Bonizzoni and E. Vassallo Plasma physics and technology; industrial applications
3. M. Lamoureux Interest of electron-ion bremsstrahlung for plasma physics
4. A. C. Sicardi Schifino C. Ferro Fontán R. González and A. Costa On the thermodynamic origin of energy principles in plasma physics
5. Principles of plasma discharges and materials processing, M. Lieberman, A. Lichtenberg, Wiley-interscience publication
6. A. M. Wrobel and M. Kryszewski, 'Effect of plasma treatment on surface structure and properties.

Ιστοσελίδες

1. <http://el.wikipedia.org/wiki>
2. [http://mapyourinfo.com/wiki/el.wikipedia.org/Πλάσμα \(Φυσική\)](http://mapyourinfo.com/wiki/el.wikipedia.org/Πλάσμα_(Φυσική))
3. http://www.space.noa.gr/~anastasi/school/euratom_2010.pdf
4. <http://www.iupac.org/publications/pac/pdf/1990/pdf/6209x1825.pdf>

4 Γενικά για τις θερμικές επικαλύψεις

Η τεχνολογία των θερμικών επικαλύψεων ξεκινά τα πρώτα της βήματα στις αρχές του 1900 και χρησιμοποιήθηκε κυρίως για επικαλύψεις επιφανειών κατά της διάβρωσης . Το 1950-1960 μελετήθηκε το φυσικό υπόβαθρο γύρω από τη διαδικασία ψεκασμού. Κατά την τελευταία δεκαετία η διαδικασία του θερμικού ψεκασμού έχει ευρέως αναγνωριστεί και διαδοθεί στην βιομηχανία με όλο αυξανόμενες δυνατότητες που προσφέρει ο ερευνητικός τομέας που εργάζεται για την εκμετάλλευση των πλήρων δυνατοτήτων αυτής της τεχνικής.

Οι τεχνικές θερμικής επικάλυψης είναι διαδικασίες, στις οποίες τα θερμαινόμενα υλικά λιώνουν καθώς ψεκάζονται πάνω σε μια επιφάνεια. Η πρώτη ύλη θερμαίνεται από ηλεκτρικό πλάσμα τόξου ή με χημικά μέσα (φλόγα καύσης).

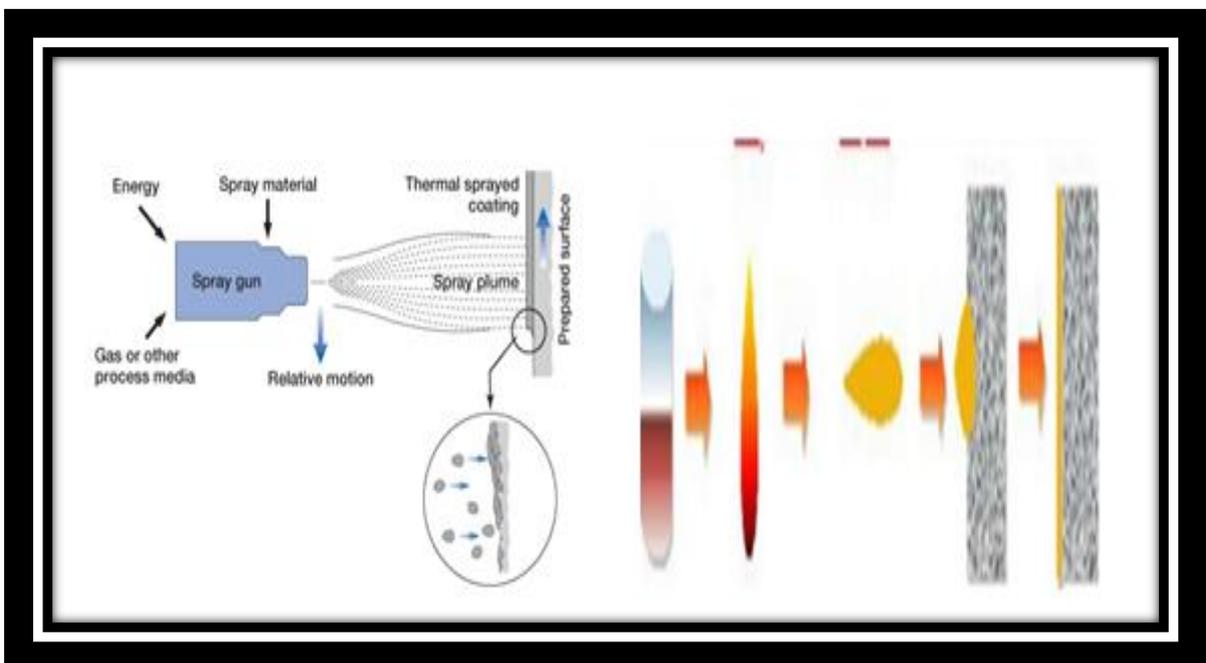
Οι τεχνικές θερμού ψεκασμού είναι διαδικασίες επικάλυψης κατά τις οποίες λιωμένα (ή θερμά) υλικά ψεκάζονται πάνω σε μία επιφάνεια. Η πρώτη ύλη τροφοδοσίας θερμαίνεται με ηλεκτρικά ή χημικά μέσα. Η τεχνική του θερμού ψεκασμού μπορεί να προσφέρει πάχη επικαλύψεων (περίπου της τάξης από 20 μ μέχρι αρκετά mm, ανάλογα με την διαδικασία και τις πρώτες ύλες) με υψηλό ποσοστό απόθεσης σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες επικάλυψης όπως είναι η ηλεκτρολυτική και η φυσική και χημική εναπόθεση ατμών.

Διαθέσιμα υλικά επικάλυψης μπορούν να θεωρηθούν μέταλλα, κράματα, κεραμικά, πλαστικά και σύνθετα. Τα υλικά αυτά τροφοδοτούνται σε μορφή σκόνης ή ελάσματος, θερμαίνονται μέχρι μια λιωμένη ή αμιλλωμένη κατάσταση, και επιταχύνονται προς υποστρώματα με την μορφή σωματιδίων . Ως πηγή ενέργειας για τον θερμό ψεκασμό χρησιμοποιούνται συνήθως η καύση ή η εκφόρτιση ηλεκτρικού τόξου.

Οι επικαλύψεις που δημιουργούνται προκύπτουν από την συσσώρευση πολλών σωματιδίων που έχουν ψεκαστεί. Η επιφάνεια μπορεί και να μην θερμανθεί σημαντικά, επιτρέποντας έτσι την επικάλυψη από εύφλεκτες ουσίες. Η ποιότητα της επικάλυψης συνήθως εκτιμάται με μέτρηση του πορώδους, της περιεκτικότητας σε οξείδιο, της μικρο και μακρο σκληρότητας, της ισχύς δεσμού και της επιφανειακής τραχύτητας. Γενικά η ποιότητα της επίστρωσης αυξάνει με την αυξανόμενη ταχύτητα των σωματιδίων.

Διακρίνονται διάφοροι τρόποι οι οποίοι είναι ,ψυχρός ψεκασμός ,ψεκασμός έκρηξης ,ψεκασμός φλόγας ,ψεκασμός καύσιμου οξυγόνου υψηλής ταχύτητας (HVOF) ,ψεκασμός πλάσματος ,ψεκασμός warm ,ψεκασμός σύρματος-τόξου .

Συμπερασματικά αυτή η καινοτόμος τεχνολογία όπου έχει ξεκινήσει να κάνει τα πρώτα της βήματα στο βιομηχανικό κόσμο είναι ένα ακόμη σκαλί προόδου όπου βοηθά το σύγχρονο άνθρωπο στη παράγωγη καλύτερων προϊόντων για την επιβίωση του αλλά και για την καλύτερευση και του τρόπου ζωής του.



Σχημα : Απεικόνιση διαδικασίας θερμού ψεκασμού και στις 2 εικόνες

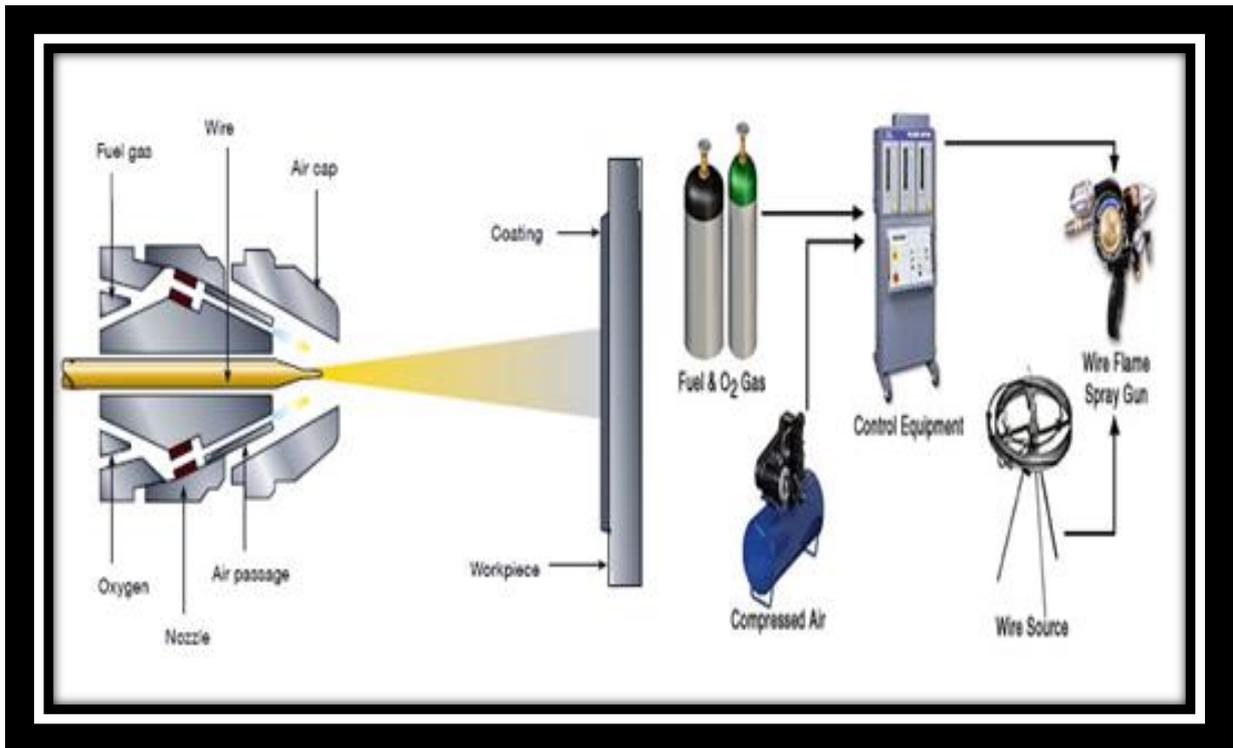
4.1 Διαδικασία και σταδία θερμικού ψεκασμού

Η τεχνική του θερμικού ψεκασμού, είναι μια τεχνική στην οποία χρησιμοποιείται η καύση αερίων για να επέλθει λιώσιμο των διαφόρων σκονών και των διαφόρων υλικών που μπορεί να είναι σε μορφή σύρματος ή ράβδου και αποτελούν το υλικό τροφοδοσίας. Στην συνέχεια, οι λιωμένες σταγόνες που έχουνε δημιουργηθεί προωθούνται πάνω σε μια επιφάνεια-υπόστρωμα, ώστε να δημιουργηθεί η επικάλυψη. Οι ταχύτητες των αερίων στον ψεκασμό φλόγας είναι πολύ μικρότερες από τις ταχύτητες που υπάρχουν στην τεχνική του ψεκασμού καύσιμου οξυγόνου υψηλής ταχύτητας. Με αυτήν την τεχνική μπορούν να δημιουργηθούν επικαλύψεις από ένα τεράστιο φάσμα υλικών, που μπορεί να είναι από πλαστά μέχρι και κεραμικά οξείδια .

Ο ψεκασμός χωρίζεται σε τρεις ειδικές υποκατηγορίες, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους, ανάλογα με την μορφή της πρώτης ύλης (σκόνη ή σύρμα ή ράβδος) . Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι για να δημιουργηθεί η απαιτούμενη ενέργεια για το λιώσιμο των υλικών επικάλυψης χρησιμοποιούνται αέρια καύσιμα. Η καύση, στην ουσία είναι χωρίς όρια γιατί δεν υπάρχει κάποια επέκταση στο ακροφύσιο πάνω στην οποία θα μπορέσει να υπάρξει η επιτάχυνση. Τα κοινά αέρια καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι το υδρογόνο, το ακετυλένιο, το προπάνιο, το φυσικό αέριο και διάφορα άλλα.

Στην τεχνολογία ψεκασμού σαν υλικά επικάλυψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πάρα πολλά υλικά λόγω της δυνατότητας που υπάρχει να γίνεται επεξεργασία σκονών, συρμάτων και ράβδων. Μπορούν να ψεκαστούν μέχρι και κεραμικά οξείδια μεγάλου σημείου ζέσης. Ορισμένες συσκευές ψεκασμού έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να εναποθέτουν κυρίως πολυμερή, όπως νάιλον και πολυεστέρες και να δημιουργήσουν πλαστικές επικαλύψεις με πολύ χαμηλό πορώδες .

Η συγκεκριμένη διαδικασία, του ψεκασμού είναι μια σχετικά απλή διαδικασία και είναι στην ουσία, ο ψεκασμός λιωμένων μετάλλων πάνω σε μία επιφάνεια για να δημιουργηθεί μία επικάλυψη. Τα υλικά τροφοδοσίας, τα οποία βρίσκονται σε μορφή σύρματος, λιώνουν αρχικά σε φλόγας και ψεκάζονται στην συνέχεια, χρησιμοποιώντας πεπιεσμένο αέρα Όταν αυτά έρθουν σε επαφή με την επιφάνεια του υποστρώματος, οι μικρές πολύ καλά λιωμένες σταγόνες στερεοποιούνται πολύ γρήγορα και δημιουργούν την επικάλυψη.



Σχημα : απεικόνιση διατομής του όπλου θερμού ψεκασμού και οργάνων διαδικασίας

4.2 Μέθοδοι επικαλύψεις 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

Οι τεχνικές επιστρωμάτων με θερμό ψεκασμό τηγμένων μεταλλικών ,κεραμικών , κραμάτων και άλλων σύνθετων σωματιδίων αναπτύχθηκε αρχικά με χρήση φλογών καύσης εντός των οποίων το προς ψεκασμό υλικό τροφοδοτείται. Το υλικό τροφοδοσίας ήταν αρχικά σε μορφή σύρματος, ράβδου ή σκόνης και στην συνέχεια κατά την δεκαετία του 1960 έκαμε την εμφάνιση της η μέθοδος ψεκασμού επιστρωμάτων με χρήση πλάσματος, στην οποία η πηγή θερμότητας για τήξη των υλικών είναι ένα ηλεκτρικά δημιουργούμενο πλάσμα. Ως πηγή ενέργειας για το θερμό ψεκασμό χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο η καύση ή η εκφόρτιση ηλεκτρικού τόξου και οι επικαλύψεις δημιουργούνται με την συσσώρευση των σωματιδίων τα οποία έχουν ψεκαστή .

Οι μέθοδοι απόθεσης επιφανειακών επιστρωμάτων με θερμικό ψεκασμό (thermal spraying) είναι οι ακόλουθοι, ανάλογα με την πηγή θερμότητας που χρησιμοποιείται:

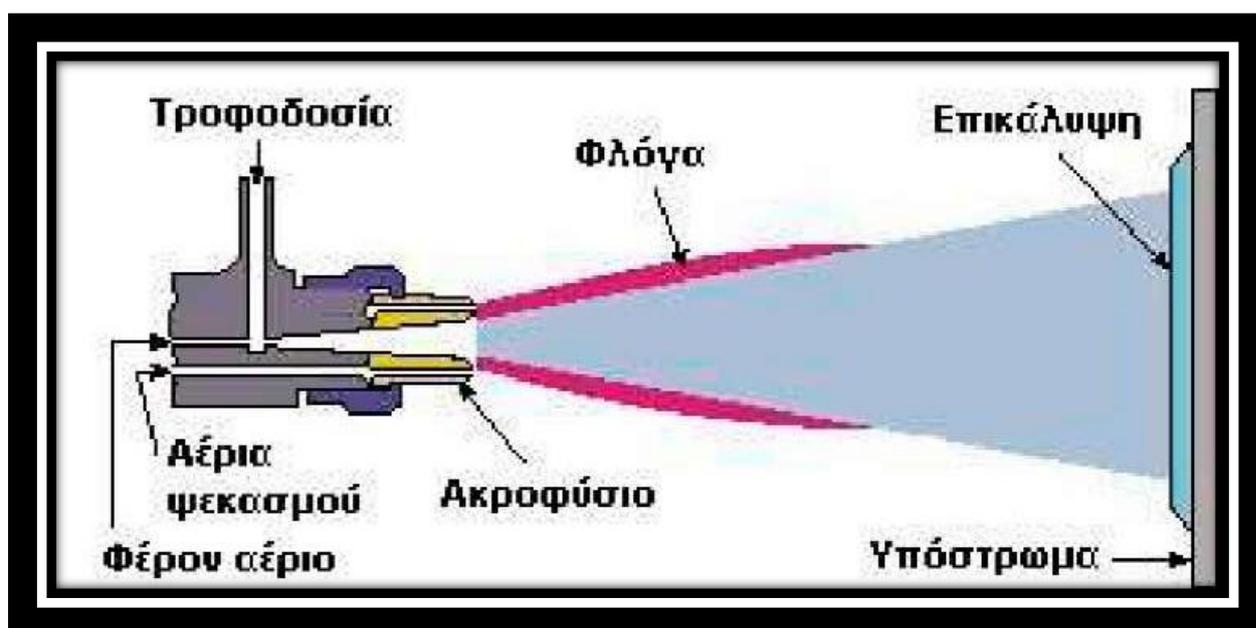
- Ψεκασμός με χρήση ηλεκτρικού τόξου
- Ψεκασμός με χρήση καύσης
- Ψεκασμός με χρήση πλάσματος
- Ψεκασμός με χρήση υπερηχητικής φλόγας καύσης (HVOF)

4.2.1 Ψεκασμός φλόγας

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

Ένα μίγμα οξυγόνου και ασετιλίνης διοχετεύεται σε ένα ακροφύσιο και αναφλέγεται σχηματίζοντας φλόγα καύσης. Το προς ψεκασμό υλικό, που είναι σε μορφή σκόνης ή σύρματος, τροφοδοτείται μέσα στη φλόγα, τήκεται και βάλλεται με μεγάλη ταχύτητα προς το υπόστρωμα επί του οποίου αποτίθεται και σχηματίζει το επίστρωμα. Η μέση θερμοκρασία της φλόγας είναι 3000° C με αποτέλεσμα με την μέθοδο αυτή να μπορούν να αποτεθούν υλικά με σχετικά χαμηλό σημείο τήξης. Οι ταχύτητες των σωματιδίων είναι σχετικά μικρές (90-180 m/sec) οπότε το σχηματιζόμενο επίστρωμα χαρακτηρίζεται από υψηλό πορώδες και μικρή αντοχή πρόσφυσης με το υπόστρωμα, ενώ προκειμένου για μεταλλικά επιστρώματα εμφανίζεται μεγάλο ποσοστό οξειδίων .

Ο ψεκασμός με χρήση φλόγας είναι σχετικά φθηνή μέθοδος και χρησιμοποιείται σε ειδικές εφαρμογές, κυρίως όπου το πορώδες και το υψηλό ποσοστό οξειδίων στο επίστρωμα θεωρούνται πλεονεκτικά (π.χ. σκληρά αντιτριβικά επιστρώματα μολυβδαινίου για δακτύλια εμβόλων).



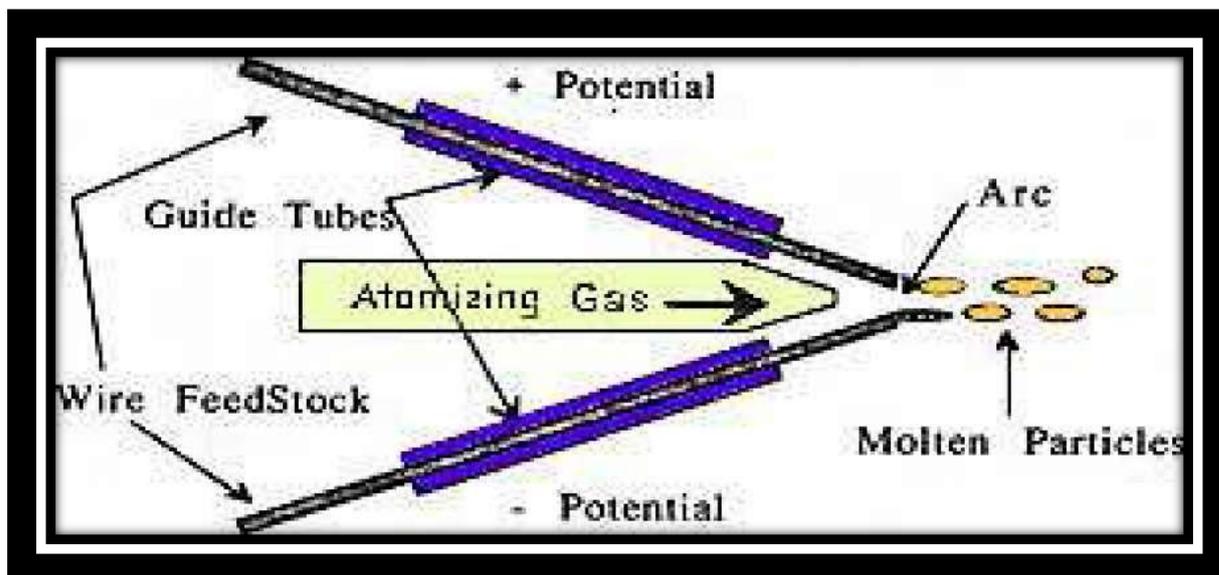
Σχήμα : Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την επικάλυψη μιας επιφάνειας με την τεχνική του θερμικού ψεκασμού φλόγας

4.2.2 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 κατά την διαδικασία αυτή από το ηλεκτρικό τόξο μπορεί να ξεπεράσει τους 5000°C .

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την παραγωγή τηγμένων σωματιδίων στην άκρη των δύο αναλίσκόμενων συρμάτων, τα οποία θερμαίνονται με χρήση ηλεκτρικής αντίστασης. Τα τηγμένα σωματίδια του υλικού εκτοξεύονται με μεγάλη ταχύτητα προς το υπόστρωμα, μέσω ρεύματος πεπιεσμένου αέρα. Ο περιορισμός της μεθόδου είναι ότι μπορούν να ψεκασθούν μόνο αγωγικά υλικά, τα οποία διαμορφώνονται σε μορφή σύρματος . Η ταχύτητα των τηγμένων σωματιδίων στον ψεκασμό με χρήση ηλεκτρικού τόξου είναι μεγάλη (240 m/sec) με αποτέλεσμα τα παραγόμενα επιστρώματα να έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα και καλύτερη πρόσφυση από τα αντίστοιχα που αποτίθενται με ψεκασμό με χρήση φλόγας.

Η τεχνική ψεκασμού με χρήση ηλεκτρικού τόξου χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος και μεγάλους ρυθμούς απόθεσης (μεγάλη παραγωγικότητα).



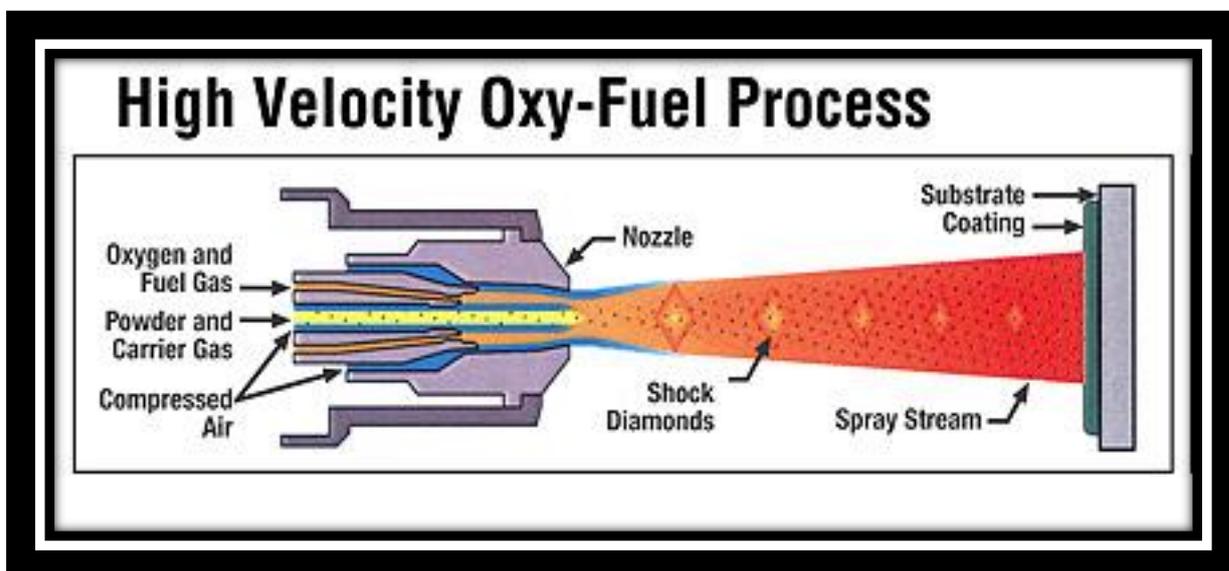
Σχήμα : Μηχανισμός ψεκασμού σύρματος με ηλεκτρικό τόξο

4.2.3 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.

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει το ψεκασμό λιωμένου υλικού πάνω σε μια επιφάνεια με σκοπό τη δημιουργία ενός επιθυμητού πάχους επικάλυψης. Η μέθοδος αυτή διακρίνεται λόγω των υψηλών ταχυτήτων προώθησης που χρησιμοποιούνται. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι μέταλλα, κράματα, κεραμικά, πλαστικά και σύνθετα υλικά. Η μέγιστη θερμοκρασία φλόγας κυμαίνεται στους 2900°C , η θερμοκρασία των σωματιδίων στους 2000°C ενώ η ταχύτητα των σωματιδίων κυμαίνεται μεταξύ 200 -1000 m/s.

Η τεχνική του ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου παρέχει μεγαλύτερη θερμοκρασία φλόγας, που έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω θέρμανση των σωματιδίων επικάλυψης και παρατηρείται κάποια αύξηση της ποιότητας της επίστρωσης.



Σχήμα :Μηχανισμός ψεκασμού υψηλής ταχύτητας με καύση οξυγόνου (HVOF)

4.2.4 Ψεκασμός με χρήση πλάσματος

Ο 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.

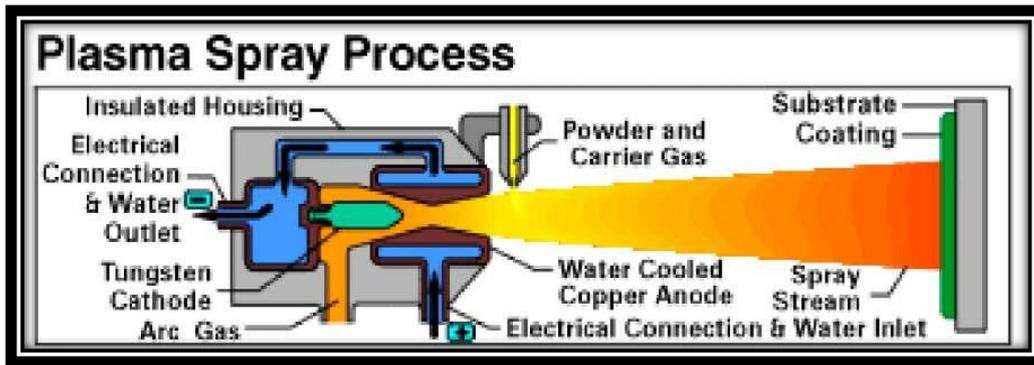
Στη μέθοδο η συσκευή λειτουργεί ως εξής ένα ισχυρό ηλεκτρικό τόξο μεταξύ δύο ηλεκτροδίων (+ και -) με ηλεκτρική εκκένωση υψηλής τάσης. Αδρανές αέριο διοχετεύεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, θερμαίνεται και ιονίζεται πλήρως δημιουργώντας πλάσμα, το οποίο εξέρχεται υπό μορφή φλόγας μεγάλης ταχύτητας. Λεπτόκοκκη σκόνη τροφοδοτείται εντός της φλόγας πλάσματος, παρασύροντας την το θερμό αέριο όπου εξέρχεται, τήκεται και στη συνέχεια εκσφενδονίζεται με μεγάλη ταχύτητα πάνω στο υπόστρωμα επί του οποίου αποτίθεται δομώντας επίστρωμα.

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

Τα επιστρώματα πλάσματος χαρακτηρίζονται από μεγάλες πυκνότητες δεδομένου ότι η ταχύτητα των σωματιδίων είναι πολύ μεγάλη (240-600 m/sec). Ανάλογα με το περιβάλλον, στο οποίο γίνεται ο ψεκασμός

Η μέθοδος διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ψεκασμός σε ατμοσφαιρικές συνθήκες
Κατά τον ψεκασμό σε ατμοσφαιρικές συνθήκες τα τηγμένα σωματίδια κινούνται με μεγάλες ταχύτητες (200 - 400 m/sec) δημιουργώντας πυκνά επιστρώματα. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η εισχώρηση (ανάμιξη) αέρα στη φλόγα πλάσματος, που προκαλεί ελαφρά ψύξη και επιβράδυνση της φλόγας με συνέπεια τη μερική οξειδωση μεταλλικών κόνεων. Η μέθοδος ενδείκνυται για την απόθεση κεραμικών επιστρωμάτων καθώς και μεταλλικών επιστρωμάτων εφόσον το ποσοστό οξειδίων τους διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα



Σχήμα : ατμοσφαιρικού ψεκασμού πλάσματος

- Ψεκασμός υπό κενό

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°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.

- Ψεκασμός σε χαμηλή πίεση

Ο ψεκασμός σε χαμηλή πίεση ελαχιστοποιεί τα προβλήματα, που σχετίζονται με την είσοδο αέρα στη φλόγα πλάσματος. Οι ταχύτητες των σωματιδίων είναι μεγαλύτερες της τάξης των 400 - 600 m/sec

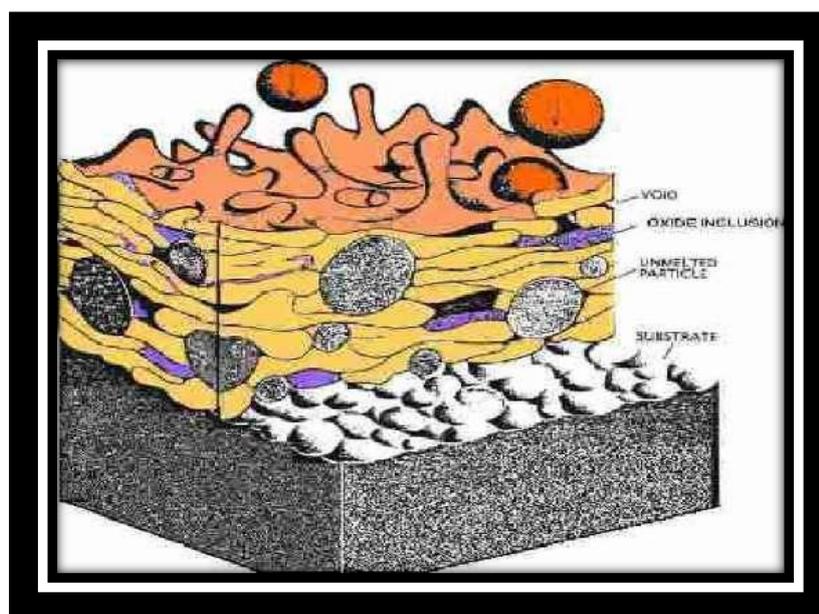
- Ψεκασμός σε περιβάλλον αργού

Στην τεχνική ψεκασμού σε περιβάλλον αργού διοχετεύεται ένα ρεύμα αργού γύρω από την φλόγα πλάσματος και το υπόστρωμα παρέχοντας προστασία έναντι της αρνητικής επίδρασης που έχει η τυχόν ανάμιξη του αέρα στο πλάσμα

4.3 Δομή επικάλυψης και παράμετροι σύνδεσης

Οι επικαλύψεις που παράγονται με την τεχνική του θερμού ψεκασμού προέρχονται από εναπόθεση τηγμένων σωματιδίων πάνω σε ένα υπόστρωμα. Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των επικαλύψεων είναι η φακοειδής πολύ μικρή δομή των κόκκων που προκύπτει από την ταχεία στερεοποίηση των μικρών σφαιριδίων που στερεοποιούνται, χτυπώντας μια ψυχρή επιφάνεια με μεγάλη ταχύτητα

Οι μηχανισμοί πρόσφυσης-συσσωμάτωσης σε μία διεπιφάνεια επικάλυψη/υπόστρωμα στον θερμό ψεκασμό και ανάμεσα στα σωματίδια που συνθέτουν την επικάλυψη είναι ένας τομέας που ακόμη συζητείται. Σε γενικές γραμμές έχει διαπιστωθεί ότι συμβαίνει τόσο μηχανική αλληλοσύνδεση όσο και διάχυση.



Σχήμα : Διάγραμμα μεταλλικής επικάλυψης με θερμό ψεκασμό

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την συσσωμάτωση και την δημιουργία της επικάλυψης είναι οι εξής: καθαρότητα ,η περιοχή της επιφάνεια , η επιφανειακή τοπογραφία ,η θερμοκρασία(θερμική ενέργεια) , ο χρόνος (τάξη αντίδρασης, ψύξης), η ταχύτητα (κινητική ενέργεια) , οι φυσικές και χημικές ιδιότητες και αντιδράσεις

Πολύ σημαντική διαδικασία για την προετοιμασία του υποστρώματος είναι ο καθαρισμός του και η αμμοβολή του. Έτσι μπορούμε να έχουμε μια πιο ενεργή τόσο φυσικά όσο και χημικά επιφάνεια, κάτι το οποίο απαιτείται για μία καλή πρόσφυση

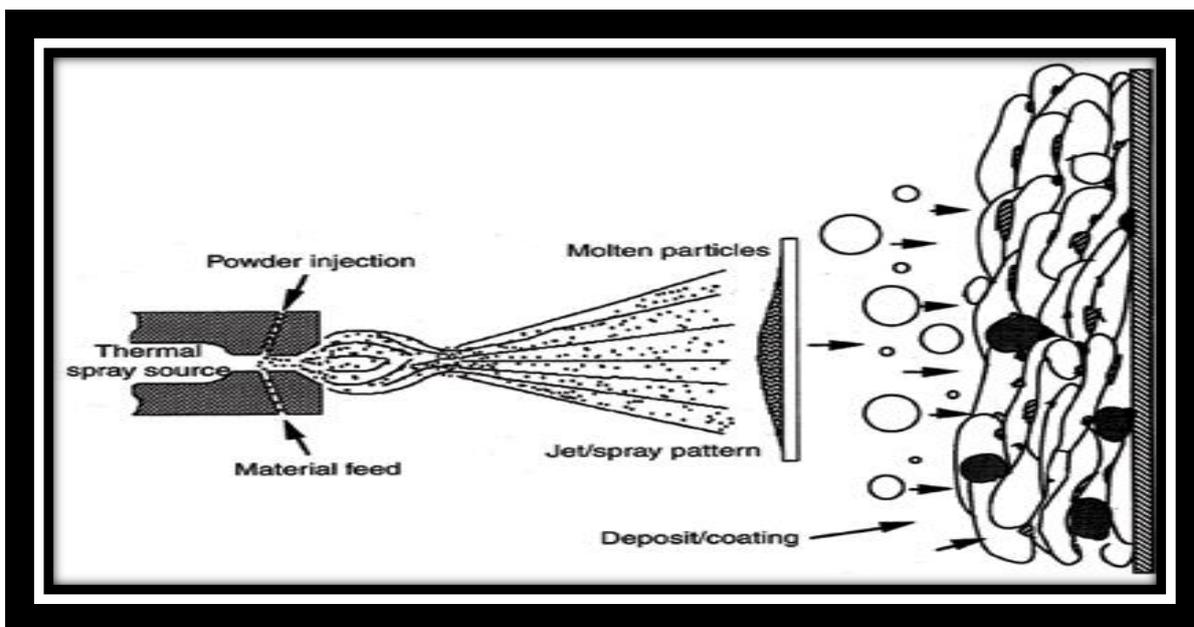
Ένας μεγάλος αριθμός των διεργασιών θερμού ψεκασμού γίνεται στον αέρα. Κατά την διάρκεια του ψεκασμού συμβαίνουν διάφορες χημικές αλληλεπιδράσεις με κυριότερες τις αντιδράσεις οξειδωσης. Μεταλλικά σωματίδια που οξειδώνονται πάνω στην επιφάνεια δημιουργούν ένα περίβλημα από οξείδια. Αυτό γίνεται εμφανές στην μικροδομή των επικαλύψεων σαν συνυπολογιζόμενο οξείδιο, σκιαγραφώντας τα όρια των κόκκων ή των σωματιδίων. Επικαλύψεις που εμφανίζουν παχύς και πεπλατυσμένους κόκκους φαίνεται να έχουν ροή παράλληλη προς το υπόστρωμα. Η δομή δεν είναι ισοτροπική και οι φυσικές ιδιότητες είναι διαφορετικές εάν η ροή είναι παράλληλη προς το υπόστρωμα (διαμήκης) ή κάθετη (εγκάρσια). Η αντοχή προς την διαμήκη κατεύθυνση μπορεί να είναι 5 με 10 φορές καλύτερη από ότι προς την εγκάρσια. Η δομή της επικάλυψης είναι ετερογενής όσον αφορά τα κατεργασμένα και χυτά υλικά. Αυτό οφείλεται σε μεταβολές στην κατάσταση των μεμονωμένων σωματιδίων κατά την πρόσκρουση. Είναι σχεδόν αδύνατο να εξασφαλιστεί ότι όλα τα σωματίδια είναι ακριβώς το ίδιο μέγεθος και να επιτευχθεί η ίδια θερμοκρασία και ταχύτητα.

Σε γενικές γραμμές οι λεπτές επικαλύψεις έχουν πιο μεγάλη διάρκεια από ότι οι πιο παχιές. Οι μέθοδοι ψεκασμού και η μικροδομή των επικαλύψεων επηρεάζουν τα όρια τάσης της επικάλυψης. Πορώδες εμφανίζεται στις περισσότερες επικαλύψεις με θερμό ψεκασμό. Το φυσιολογικό ποσοστό είναι 1% με 25% αλλά μπορεί να μεταβληθεί με αλλαγές στις μεθόδους και στα υλικά.

Στις περισσότερες μεταλλικές επικαλύψεις που γίνονται με θερμό ψεκασμό στον αέρα συμβαίνουν αντιδράσεις οξειδωσης. Τα προϊόντα της οξειδωσης συνήθως περιλαμβάνονται μέσα στις επικαλύψεις. Τα οξείδια είναι συνήθως πιο σκληρά από τα αρχικά μέταλλα. Οι επικαλύψεις με υψηλά ποσοστά οξειδίων είναι συνήθως πιο σκληρές από τις υπόλοιπες και έχουν καλύτερη αντοχή στην φθορά. Τα οξείδια στις επικαλύψεις μπορεί να είναι όμως και επιζήμια σε ιδιότητες αντοχής και ιδιότητες που θα προκύψουν μετά από κατεργασία.

Η ποιότητα των επικαλύψεων εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες: την προετοιμασία της επιφάνειας και τις παραμέτρους του ψεκασμού. Η προετοιμασία

της επικάλυψης είναι πολύ σημαντική γιατί μπορεί να επηρεάσει τον βαθμό διάβρωσης της επικάλυψης. Οι παράμετροι του ψεκασμού είναι πιο πιθανό να επηρεάσουν την μικροδομή της επικάλυψης και την απόδοσή της. Επίσης σημαντικοί παράγοντες είναι ο προσανατολισμός και η απόσταση του όπλου με το υπόστρωμα και τα ποσά των αερίων καθώς και της σκόνης τροφοδοσίας. Το δέσιμο των επικαλύψεων με θερμό ψεκασμό είναι κυρίως μηχανικό. Ωστόσο, η αντοχή των δεσμών δεν είναι ανεξάρτητη από το υλικό του υποστρώματος. Όλες οι επικαλύψεις με θερμό ψεκασμό περιέχουν μια εσωτερική τάση. Αυτή η τάση γίνεται μεγαλύτερη όσο η επικάλυψη γίνεται παχύτερη. Πάντα όμως υπάρχει ένα όριο στο πόσο θα πρέπει να είναι το πάχος στην επικάλυψη που εφαρμόζεται. Σε κάποιες περιπτώσεις, μια λεπτότερη επικάλυψη μπορεί να έχει καλύτερη αντοχή



Σχήμα : Αντιπροσώπευση της θερμικής συγκέντρωσης ροής και στρώματος διαδικασίας ψεκασμού.

Μέθοδος	ΦΛΟΓΑ ΚΑΥΣΗΣ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΟΞΟ	ΠΛΑΣΜΑ	ΥΠΕΡΗΧΗΤ. ΦΛΟΓΑ
Υλικό τρο- φοδοσίας	σκόνη ή σύρμα	σύρμα	σκόνη	σκόνη
Πηγή Θερμότητας	χημική αντίδραση	ηλεκτρικό τόξο	δρανές πλάσμα	ελεγχόμεν. εκρήξεις
Θερμοκρασ. πηγής θερμότητας (°C)	2000- 4000	4000	4500- 20000	3300

Πίνακας : Χαρακτηριστικά διαφόρων μεθόδων απόθεσης επιστρωμάτων με ψεκασμό

Βιβλιογραφία

1. THERMAL SPRAY COATINGS, H.Herman and S.Sampath, The Thermal Spray Laboratory, Department of Materials Science and Engineering, State University of New York, Stony Brook
2. The science and engineering of thermal spray coatings / Lech Pawlowski
3. Thermal spray technology [videorecording] / ASM International

Δημοσιεύσεις

1. Mingheng Li and Panagiotis D. Christofides Multi-scale modeling and analysis of an industrial HVOF thermal spray process
2. A Rabiei^a, D.R Mum^a, J.W Hutchinson^a, R Schweinfest^c, M Rühle^c and A.G Evans Microstructure, deformation and cracking characteristics of thermal spray ferrous coatings
3. Alexander Kout Efficient stochastic simulation of thermal spray processes
4. S. Deshpande, A. Kulkarni, S. Sampath and H. Herman Application of image analysis for characterization of porosity in thermal spray coatings and correlation with small angle neutron scattering
5. R.S. Lima*, B.R. Marple From APS to HVOF spraying of conventional and nanostructured titania feedstock powders: a study on the enhancement of the mechanical properties

Ιστοσελίδες

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_spray
2. <http://www.thermalspray.org/>
3. http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/F1_Epifaniakes_%20katergasies.pdf
4. <http://iopscience.iop.org>
5. <http://www.amphardchrome.co.uk/plasma-spraying.php>
6. <http://www.amphardchrome.co.uk/plasma-spraying.php>

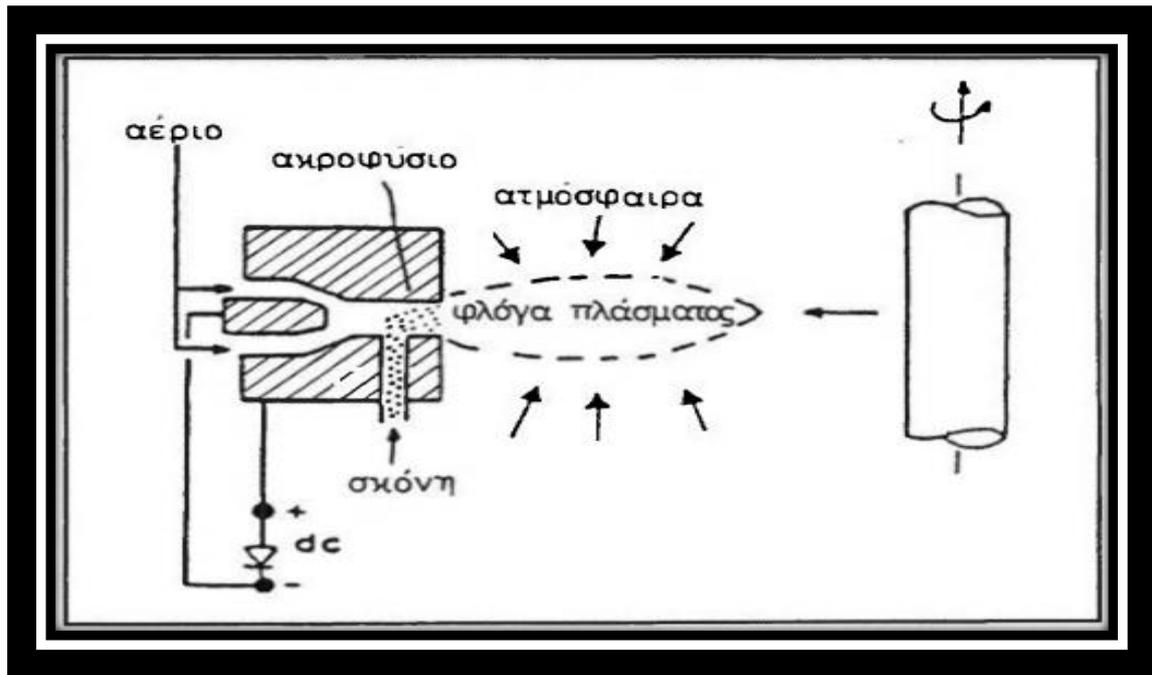
5 Ψεκασμός με χρήση πλάσματος

Όπως προαναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο με τη πάροδο των χρόνων απαιτείτε συνεχής αύξηση σημαντικά της αξιοπιστίας και της ομοιομορφίας του επιστρώματος. Το κλειδί για τη βελτίωση των προϊόντων είναι η δημιουργία καινούργιων και καινοτόμων τεχνικών επικάλυψης στο στάδιο αυτό της παράγωγης γ'αυτο και μια καινούργια τεχνική όπου τώρα παρουσιάζει τα πρώτα της δειλά βήματα στο τομέα της βιομηχανίας είναι ο ψεκασμός με χρήση πλάσματος.

Στη μέθοδο αυτή η διαδικασία όπου ακολουθείται είναι : δημιουργείται ένα ισχυρό ηλεκτρικό τόξο μεταξύ δύο ηλεκτροδίων με ηλεκτρική εκκένωση υψηλής τάσης. Αδρανές αέριο διοχετεύεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, θερμαίνεται και ιονίζεται πλήρως δημιουργώντας πλάσμα, το οποίο εξέρχεται υπό μορφή φλόγας μεγάλης ταχύτητας. Λεπτόκοκκη σκόνη τροφοδοτείται εντός της φλόγας πλάσματος, τήκεται και στη συνέχεια εκσφενδονίζεται με μεγάλη ταχύτητα πάνω στο υπόστρωμα επί του οποίου αποτίθεται δομώντας επίστρωμα

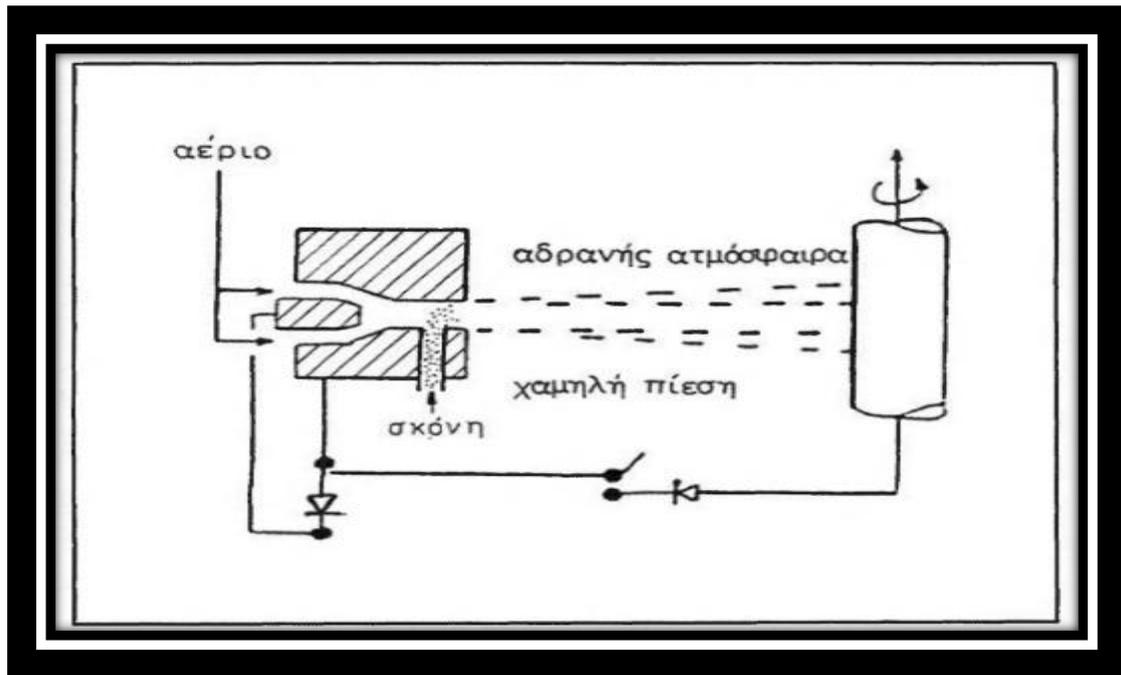
Τα επιστρώματα πλάσματος χαρακτηρίζονται από μεγάλες σχετικά πυκνότητες αναλόγως της ταχύτητα των σωματιδίων Ανάλογα με το περιβάλλον, στο οποίο γίνεται ο ψεκασμός. Η μέθοδος διακρίνεται στις ακόλουθες 3 υποκατηγορίες:

α) Ψεκασμός πλάσματος σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (atmospheric plasma spraying)
Κατά τον ψεκασμό σε ατμοσφαιρικές συνθήκες τα τηγμένα σωματίδια κινούνται με μεγάλες ταχύτητες (200 - 400 m/sec) δημιουργώντας πυκνά επιστρώματα. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η εισχώρηση (ανάμιξη) αέρα στη φλόγα πλάσματος, που προκαλεί ελαφρά ψύξη και επιβράδυνση της φλόγας με συνέπεια τη μερική οξείδωση μεταλλικών κόνεων. Η μέθοδος ενδείκνυται για την απόθεση κεραμικών επιστρωμάτων καθώς και μεταλλικών επιστρωμάτων εφόσον το ποσοστό οξειδίων τους διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα.



Σχήμα : Σχηματική παράσταση μεθόδου εναπόθεσης επιστρωμάτων με ψεκασμό με χρήση πλάσματος σε ατμοσφαιρικές συνθήκες

(β) Ψεκασμός σε χαμηλή πίεση - υπό κενό (low pressure plasma spraying). Ο ψεκασμός σε χαμηλή πίεση ή σε κενό ελαχιστοποιεί τα προβλήματα, που σχετίζονται με την είσοδο αέρα στη φλόγα πλάσματος. Οι ταχύτητες των σωματιδίων είναι μεγαλύτερες (της τάξης των 400 - 600 m/sec) και η φλόγα πλάσματος μακρύτερη με αποτέλεσμα τα παραγόμενα επιστρώματα να χαρακτηρίζονται από υψηλή πυκνότητα, μεγάλη καθαρότητα και πολύ καλή πρόσφυση. Η χρήση θαλάμου κενού επιτρέπει την θέρμανση του υποστρώματος σε υψηλές θερμοκρασίες βελτιώνοντας περαιτέρω την πρόσφυση επιστρώματος - υποστρώματος με αλληλοδιάχυση στοιχείων μεταξύ τους.



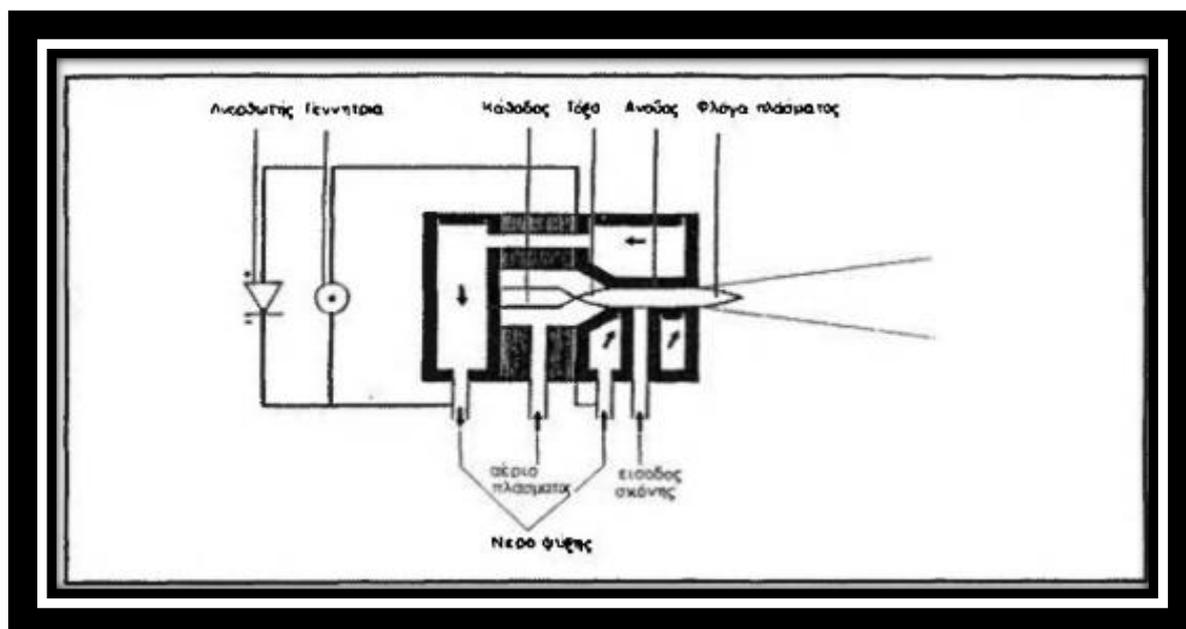
Σχήμα : Σχηματική παράσταση μεθόδου εναπόθεσης επιστρωμάτων με ψεκασμό με χρήση πλάσματος υπό κενό

(γ) Ψεκασμός σε περιβάλλον αργού (argon shrouded plasma spraying). Τέλος στην τεχνική ψεκασμού σε περιβάλλον αργού διοχετεύεται ένα ρεύμα αργού γύρω από την φλόγα πλάσματος και το υπόστρωμα παρέχοντας προστασία έναντι της αρνητικής επίδρασης που έχει η τυχόν ανάμιξη του αέρα στο πλάσμα.

Τα οφέλη από επικαλύψεις ψεκασμού πλάσματος είναι ότι επιτρέπει την παραγωγή προηγμένων υλικών, προσφέρει λύσεις για τη διεπαφή υπογραμμίζει, και προβλέπει μία νέα μέθοδο κατασκευάζοντας κοντά καθαρά σχήματα , οι επιστρώσεις παρουσιάζουν συχνά μεγαλύτερη αντοχή εφελκυσμού, βελτιωμένη αντοχή στη διάβρωση , καθώς και καλύτερες ιδιότητες σε σχέση με άλλες μεθόδους.

5.1 Πλάσμα

Τα βασικά μέρη ενός δαυλού πλάσματος όπου αποτελείται είναι από δύο ηλεκτρόδια: την κάθοδο, που είναι κωνικού σχήματος και κατασκευασμένη από θοριωμένο βολφράμιο και την άνοδο που είναι κυλινδρική, υδρόψυκτη και κατασκευασμένη από χαλκό. Η άνοδος μπορεί να είναι συγκλίνουσα ή αποκλίνουσα ανάλογα με τις εφαρμογές. Το ηλεκτρικό τόξο δημιουργείται μεταξύ του άκρου της καθόδου και της ανόδου, ενώ αδρανές αέριο εισάγεται στο δαυλό είτε αξονικά είτε περιστρεφόμενα (στη δεύτερη περίπτωση βελτιώνεται η σταθερότητα του τόξου και περιορίζεται η φθορά της ανόδου). Το αέριο θερμαίνεται από το τόξο και εξέρχεται σχηματίζοντας φλόγα πλάσματος στο εξωτερικό άκρο του δαυλού. Για τις περισσότερες εφαρμογές, η ροή του αερίου είναι υψηλή για να δημιουργεί μεγάλο τυρβώδες στη φλόγα, η οποία έχει ορατό μήκος μερικών εκατοστών. Η μέγιστη θερμοκρασία του πλάσματος εξαρτάται από τις παραμέτρους λειτουργίας και μπορεί να φθάσει τους 20.000 K. Γενικά για δεδομένες συνθήκες λειτουργίας όσο μικρότερο είναι το ακροφύσιο του δαυλού τόσο υψηλότερες θερμοκρασίες επιτυγχάνονται.



Σχήμα : Σχηματική απεικόνιση δαυλού πλάσματος

Το αδρανές αέριο, που συνήθως χρησιμοποιείται, είναι αργό ή μίγματα με κάποιο ευγενές αέριο (συνήθως He) ή με διατομικά αέρια (H_2 , N^2 , O_2 κ.λπ.). Η προσθήκη He ή διατομικών αερίων προκαλεί δραστική αύξηση της ενθαλπίας του πλάσματος. Από

παρατηρήσεις φαίνεται ότι τα πολυατομικά αέρια απελευθερώνουν περισσότερη ενέργεια γιατί υφίστανται διάσπαση και ιονισμό δηλ. το θερμικό περιεχόμενο του πλάσματος προέρχεται από τις ενέργειες διάσπασης και ιονισμού. Στα μονοατομικά αέρια η ενέργεια του πλάσματος είναι γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας μέχρι τις υψηλές θερμοκρασίες, που λαμβάνει χώρα ο ιονισμός. Στα διατομικά αέρια η ενέργεια του πλάσματος αυξάνει πολύ γρήγορα με τη θερμοκρασία κατά τη διάσπαση και τον ιονισμό δηλ. ισοδύναμα η φλόγα πλάσματος μεταφέρει μεγάλα ποσά θερμότητας με μικρή ελάττωση της θερμοκρασίας της. Στην πράξη χρησιμοποιούνται συνήθως αργό ή άζωτο (πρωτεύοντα αέρια) με μικρές προσθήκες (5 - 25%) υδρογόνου ή ηλίου (δευτερεύοντα αέρια). Η προσθήκη των δευτερευόντων αερίων προκαλεί δραστική αύξηση στην τάση (για σταθερή ένταση ρεύματος) και κατά συνέπεια αύξηση στην ισχύ του δαυλού. Οι δαυλοί πλάσματος έχουν ισχύς της τάξης των 10-100 KW, ενώ η απόδοση θερμότητας ποικίλει από 30% έως 90%.

Δεδομένου ότι η φλόγα πλάσματος είναι ηλεκτρικά ουδέτερη συμπεραίνεται ότι η θερμοκρασία της ελαττώνεται δραστικά με την αύξηση της απόστασης από το ακροφύσιο, ειδικότερα εάν το τυρβώδες της φλόγας είναι μεγάλο και ευνοεί την ανταλλαγή ενεργείας της φλόγας πλάσματος με το περιβάλλον .

Οι ταχύτητες των σωματιδίων στη φλόγα πλάσματος κυμαίνονται από 10 m/sec μέχρι ηχητικές ή υπερηχητικές τιμές και φθίνουν με την απόσταση από το ακροφύσιο .Η μέτρηση της θερμοκρασίας του πλάσματος γίνεται με φασματοσκοπικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται σε συνεχή φάσματα εκπομπής ατομικών μοριακών ή γραμμομοριακών γραμμών {Fauchais et al (1983); Griem (1974)}. Η μέτρηση της ταχύτητας σωματιδίων βασίζεται στο φαινόμενο Doppler και γίνεται συνήθως με laser ανεμομετρία Doppler .

Σύμφωνα με τους Vardelle et al (1982) η φλόγα πλάσματος μπορεί να χωρισθεί σε τρεις περιοχές:

α) τον πυρήνα, στον οποίο η θερμοκρασία είναι περίπου σταθερή κυμαινόμενη μεταξύ 12.000 - 15.000 K Η περιοχή του πυρήνα εκτείνεται σε μήκος 10 - 12 mm από το άκρο του δαυλού,

β) την ενδιάμεση περιοχή, στην οποία η θερμοκρασία της φλόγας ελαττώνεται δραστικά στους 3000° K σε απόσταση 100 mm από το ακούσιο.

γ) την εξωτερική περιοχή, στην οποία η θερμοκρασία των αερίων μειώνεται βαθμιαία καθώς αναμιγνύονται με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

5.2 Σκόνη Ψεκασμού

Η σκόνη, που πρόκειται να ψεκασθεί, διοχετεύεται μέσα στη φλόγα πλάσματος μέσω μικρού σωληνωτού αγωγού του οποίου η εσωτερική διάμετρος είναι περίπου 2 mm. Έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι για την εισαγωγή της σκόνης, οι οποίοι περιλαμβάνουν διαφορετικές, θέσεις εισόδου, διαφορετικές γωνίες εισαγωγής και ταυτόχρονη τροφοδοσία μέσω πολλών σωληνώσεων.

Η σκόνη μεταφέρεται με φέρον αδρανές αέριο, η παροχή του οποίου καθορίζεται ανάλογα με τη μάζα των σωματιδίων της σκόνης ώστε να εξασφαλίζεται η είσοδος των σωματιδίων στον θερμό πυρήνα της φλόγας πλάσματος. Τα σωματίδια της σκόνης, που εισέρχονται στο πλάσμα, επιταχύνονται και θερμαίνονται και σε συγκεκριμένη απόσταση από το ακροφύσιο αποκτούν την ταχύτητα του πλάσματος, ενώ σε λίγο μεγαλύτερη απόσταση η ταχύτητα τους γίνεται μεγαλύτερη εξαιτίας της αδράνειας τους. Η απόσταση στην οποία η ταχύτητα των σωματιδίων εξισώνεται με την ταχύτητα των αερίων του πλάσματος είναι συνάρτηση της μάζας και του μεγέθους των σωματιδίων και έτσι όσο αυξάνει η μάζα των σωματιδίων τόσο ελαττώνεται η επιτάχυνση τους και η τελική τους ταχύτητα (με την οποία προσπίπτουν στο υπόστρωμα).

Θεωρητικά τα σωματίδια της σκόνης πρέπει να προσπίπτουν στο υπόστρωμα με μεγάλες ταχύτητες τελείως τηγμένα ώστε να δημιουργήσουν ένα πυκνό επίστρωμα με μικρό πορώδες. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η απαίτηση ιδιαίτερα σημαντικοί

παράγοντες είναι η ταχύτητα των σωματιδίων και η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ πλάσματος και σωματιδίων.

Η ταχύτητα τους όσο αυξάνει η μάζα των σωματιδίων τόσο ελαττώνεται η επιτάχυνση τους και η τελική τους ταχύτητα με την οποία προσπίπτουν στο υπόστρωμα. Θεωρητικά τα σωματίδια της σκόνης πρέπει να προσπίπτουν στο υπόστρωμα με μεγάλες ταχύτητες τελείως τηγμένα ώστε να δημιουργήσουν ένα πυκνό επίστρωμα με μικρό πορώδες. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η απαίτηση ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες είναι η ταχύτητα των σωματιδίων και η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ πλάσματος και σωματιδίων.

5.2.1 Ταχύτητα σωματιδίων σκόνης ψεκασμού

Από διάφορες πειραματικές μετρήσεις και παρατηρήσεις καταλήγουμε ότι με βάση τη ταχύτητα προκύπτουν τα πιο κάτω συμπεράσματα :

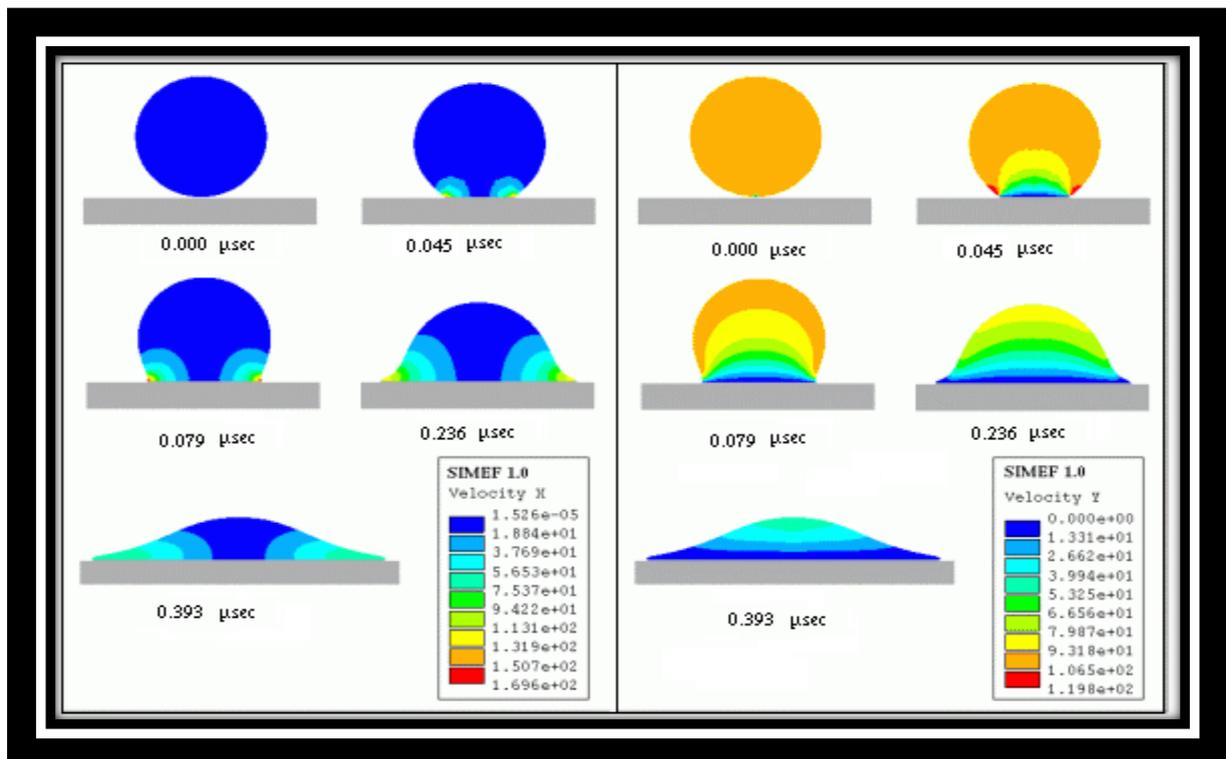
(α) Η μέση μέγιστη ταχύτητα των σωματιδίων αυξάνει όσο ελαττώνεται το μέγεθος τους, αλλά σε μεγάλη απόσταση από το ακροφύσιο η επιβράδυνση των μικρότερων σωματιδίων είναι μεγαλύτερη.

(β) Για το ίδιο μέγεθος σωματιδίων, υλικά με μικρή πυκνότητα αποκτούν μεγαλύτερες ταχύτητες, αλλά χαρακτηρίζονται και από μεγαλύτερη επιβράδυνση.

(γ) Όσο αυξάνει η ηλεκτρική ισχύς του δαυλού πλάσματος τόσο μεγαλύτερη γίνεται η ταχύτητα των αερίων του πλάσματος και επομένως και των σωματιδίων.

(δ) Αύξηση της ταχύτητας εισαγωγής των σωματιδίων στη φλόγα (μέχρι κάποια τιμή) επιτρέπει την διείσδυση των σωματιδίων στον πυρήνα του πλάσματος με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας των σωματιδίων.

Τα σωματίδια του υλικού, σε τηγμένη ή ημιτηγμένη κατάσταση, προσκρούουν στο υπόστρωμα και δημιουργούν σταδιακά το επίστρωμα. Έτσι στερεοποιείται η προσπίπτουσα σταγόνα κατά την πρόσκρουση της στο υπόστρωμα .



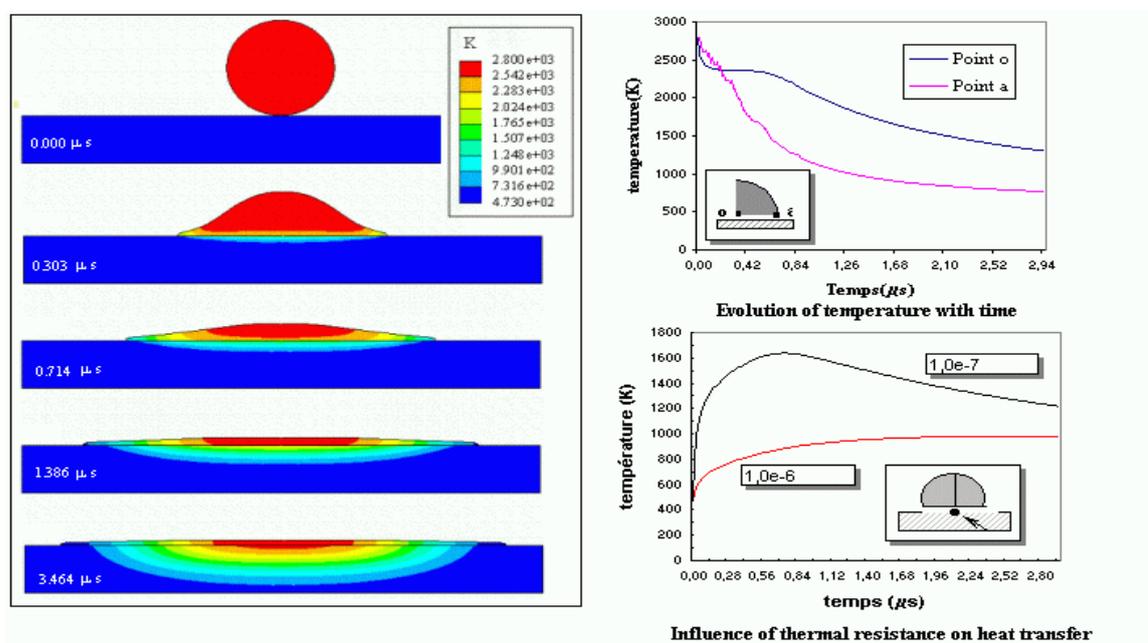
Σχήμα : Σχηματική παράσταση ταχύτητας κατά τη διάρκεια της εξομάλυνσης ενός λειωμένου σωματιδίου

5.2.2 Ανταλλαγή θερμότητας

Σύμφωνα με διάφορες πειραματικές μετρήσεις και παρατηρήσεις η θερμοκρασία των σωματιδίων ανέρχεται μέχρι το σημείο τήξης των σωματιδίων της σκόνης ψεκασμού, τότε η θερμότητα που μεταφέρεται στα σωματίδια και μεταφέρεται θερμότητα με αγωγή και ακτινοβολία αντίστοιχα. Ένα μέρος της ενέργειας απορροφάται ως ειδική θερμότητα και ένα άλλο μέρος χάνεται λόγω ακτινοβολίας.

Όταν η θερμοκρασία φθάσει το σημείο τήξης παραμένει σταθερή και η θερμότητα που μεταφέρεται στα σωματίδια αυξάνεται και ύστερα από την τήξη, η θερμοκρασία αυξάνει πάλι μέχρις φτάσει το σημείο βρασμού. Η θερμοκρασία του σωματιδίου παραμένει σταθερή και ελαττώνεται η διάμετρος του λόγω εξάτμισης.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η επίδραση του τυρβώδους της φλόγας πλάσματος στην διασπορά των σωματιδίων. Από διάφορες πειραματικές μετρήσεις παρατηρείται ότι όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια τόσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά τους. Επιπλέον ένα σωματίδιο που εισέρχεται στο πλάσμα αποκτά αρνητικό φορτίο εξαιτίας των διαφορετικών θερμικών ταχυτήτων και ευκινήσιών των ηλεκτρονίων και των θετικών ιόντων.

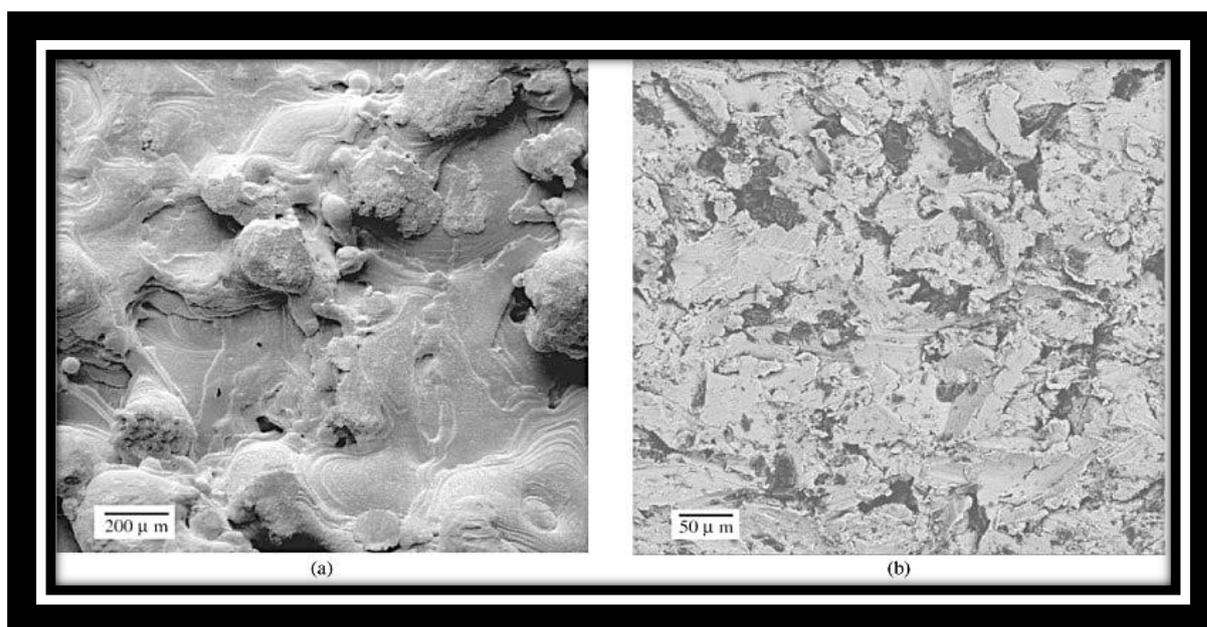


Σχήμα : Σχηματική παράσταση της εξέλιξη της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πρόσκρουσης

5.3 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον

Καθώς η φλόγα πλάσματος εξέρχεται από το δαυλό πλάσματος αλληλεπιδρά με τον περιβάλλοντα χώρο. Ο εγκλεισμός αερίων στη φλόγα πλάσματος ελαττώνει την θερμοκρασία της και επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του επιστρώματος εφόσον δεν είναι αδρανή. Για παράδειγμα, ο ψεκασμός με χρήση πλάσματος σε ατμοσφαιρικές συνθήκες προκαλεί τον σχηματισμό οξειδίων και νιτριδίων στο επίστρωμα. Επιπλέον είναι δυνατόν η επιφάνεια του υποστρώματος επίσης να οξειδωθεί εάν η θερμοκρασία του αυξηθεί πριν την απόθεση του επιστρώματος. Τα δύο αυτά φαινόμενα ελαττώνουν την πυκνότητα, την αντοχή και την πρόσφυση του επιστρώματος και μπορούν να ελαχιστοποιηθούν εάν ο ψεκασμός γίνει σε αδρανή ατμόσφαιρα.

Στον ψεκασμό σε αδρανή ατμόσφαιρα η φλόγα πλάσματος γίνεται μακρύτερη με αποτέλεσμα τα σωματίδια να παραμένουν περισσότερο χρόνο στη φλόγα οπότε η θέρμανση τους είναι πιο ομοιόμορφη. Επειδή η φλόγα γίνεται μακρύτερη αυξάνει και η απόσταση δαυλού - υποστρώματος για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του υποστρώματος.



Εικόνα : απεικόνιση στρώματος τιτανίας με εμφάνιση στα χαρακτηριστικά του επιστρώματος , (α) μεγέθυνση 200μm ,(β) μεγέθυνση 50 μm

5.4 Δομή επίστρωσης

Η επίστρωση δομείται από την πρόσκρουση σωματιδίων στο υπόστρωμα που αυτό συνάγει ότι οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν την δομή αυτών των επιστρωμάτων είναι η θερμοκρασία, η ταχύτητα και η κατανομή μεγέθους των προσπιπτόντων σωματιδίων.

Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων προσδιορίζεται αποκλειστικά από την φύση του τροφοδοτούμενου υλικού, αλλά η ταχύτητα και η θερμοκρασία τους εξαρτώνται από την κατασκευή και τις λειτουργικές παραμέτρους του δαυλού πλάσματος, όπως έχει ήδη αναπτυχθεί πιο πάνω . Θεωρητικά, όλα τα σωματίδια που προσπίπτουν στο υπόστρωμα πρέπει να είναι τηγμένα. Άτηκτα σωματίδια ανακλώνται στο υπόστρωμα ελαττώνοντας την απόδοση της απόθεσης, ενώ τα μερικώς τηγμένα σωματίδια εντοπίζονται στην δομή του επιστρώματος επηρεάζοντας τις ιδιότητες του .

Όταν μια σφαιρική σταγόνα προσκρούει σε μια επίπεδη επιφάνεια με μεγάλη ταχύτητα τείνει να αποκτήσει τη μορφή δίσκου. Το λεπτό στρώμα των υγρών που ρέει ακτινικά στην προσπίπτουσα σταγόνα γίνεται ασταθές και διασπάται σε μικρότερα σταγονίδια. Η θερμοκρασία του υποστρώματος είναι χαμηλότερη από το σημείο τήξης της σταγόνας και η μεταφορά θερμότητας προς το υπόστρωμα είναι τόσο ταχεία ώστε η εξάπλωση και ο κατακερματισμός της σταγόνας να διακόπτεται από την στερεοποίηση.

Η κλασική προσέγγιση της μεταφοράς θερμότητας κατά την ψύξη ενός λεπτού επιστρώματος προβλέπει ότι στην διεπιφάνεια με το υπόστρωμα υπάρχει ένας αριθμός σημείων επαφής τα οποία είναι κατανεμημένα μέσα σε ένα λεπτό μη αγώγιμο υμένιο, ο σχηματισμός του οποίου οφείλεται σε εγκλωβισμένο αέρα .Κατά συνέπεια η μικροδομή των επιστρωμάτων πλάσματος επηρεάζεται από δύο σημαντικούς παράγοντες: την φύση των διεπιφανειών ανάμεσα σε διαδοχικά στρώματα του επιστρώματος και την εσωτερική δομή κάθε ενός από τα διάφορα στρώματα του επιστρώματος, όπως σχηματίζεται εξαιτίας της ταχείας στερεοποίησης

Κάθε μία από τις στρώσεις του επιστρώματος στερεοποιείται ανεξάρτητα από τις γειτονικές της έτσι ώστε η εσωτερική δομή της να μπορεί να εξετασθεί ξεχωριστά. Η κρυστάλλωση ενός υγρού λαμβάνει χώρα, ως γνωστόν, με πυρήνωση και ανάπτυξη, αλλά εάν ο ρυθμός πυρήνωσης κατά το χρονικό διάστημα ανάμεσα στο σημείο τήξης

και την θερμοκρασία υάλινης μετάπτωσης είναι τόσο μικρός ώστε να μην σχηματίζονται πυρήνες, τότε το υγρό σχηματίζει άμορφη δομή ή γυαλί. Κατά συνέπεια το μέγεθος των κόκκων και η μορφολογία κάθε στρώσης εξαρτώνται από τους ρυθμούς πυρήνωσης και ανάπτυξης κρυστάλλων από το τήγμα. Γενικά, υψηλοί ρυθμοί απόψυξης προκαλούν μεγάλους ρυθμούς πυρήνωσης, οπότε οι στρώσεις του επιστρώματος είναι πολυκρυσταλλικές με μεγέθη κόκκων σχετικά μικρά.

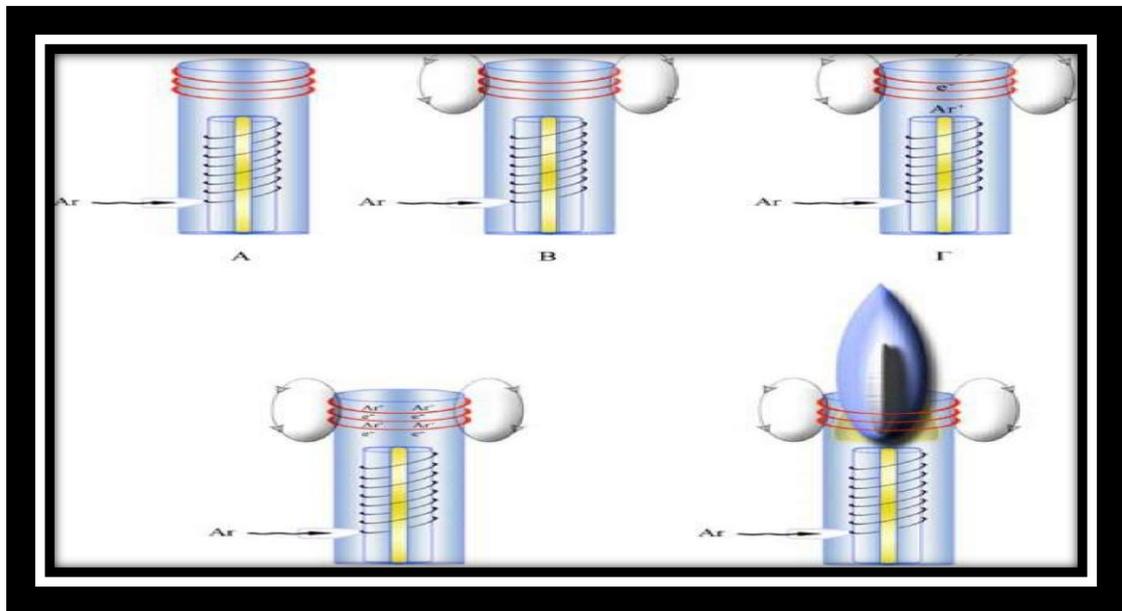
5.5 Πυρσός και σχηματισμός πλάσματος

Το πλάσμα δημιουργείται μέσα στον πυρσό ο οποίος αποτελείται από τρεις ομόκεντρους σωλήνες από χαλαζία που περιβάλλονται από σπείρες επαγωγικού πηνίου συνδεδεμένου με μια γεννήτρια υψηλής ραδιοσυχνότητας. Το πεδίο των συχνοτήτων κυμαίνεται από 6-100 MHz δημιουργώντας έτσι μαγνητικό πεδίο ισχύος 500 - 2000 W.

Το πλάσμα δημιουργείται όταν το αδρανές αέριο αργό περάσει μέσα από το δεύτερο εσωτερικό χαλαζιακό σωλήνα και με τη βοήθεια ηλεκτρικής εκκένωσης (σπινθήρας) σχηματισθούν ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία επιταχύνονται υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου και συγκρούονται με άτομα αργού σχηματίζοντας ιόντα και επιπλέον ελεύθερα ηλεκτρόνια δημιουργώντας έτσι ένα κατάλληλο περιβάλλον ατμοποίησης και διέγερσης.

Το ποσοστό όπου περνάει είναι μόνο το 3% του δείγματος περνάει από τον εκνεφωτή στο πλάσμα, το υπόλοιπο συλλέγεται σε μια παγίδα. Στον εξωτερικό σωλήνα του πυρσού περνά αέριο αργό ή άζωτο για την ψύξη των τοιχωμάτων των σωλήνων και τη σταθεροποίηση του πλάσματος. Στην βάση του πλάσματος επιτυγχάνεται η εξαέρωση του διαλύτη που συνοδεύει τα προσδιοριζόμενα στοιχεία τα οποία κυρίως ατμοποιούνται στην ζώνη που ονομάζεται Ζώνη Προθέρμανσης.

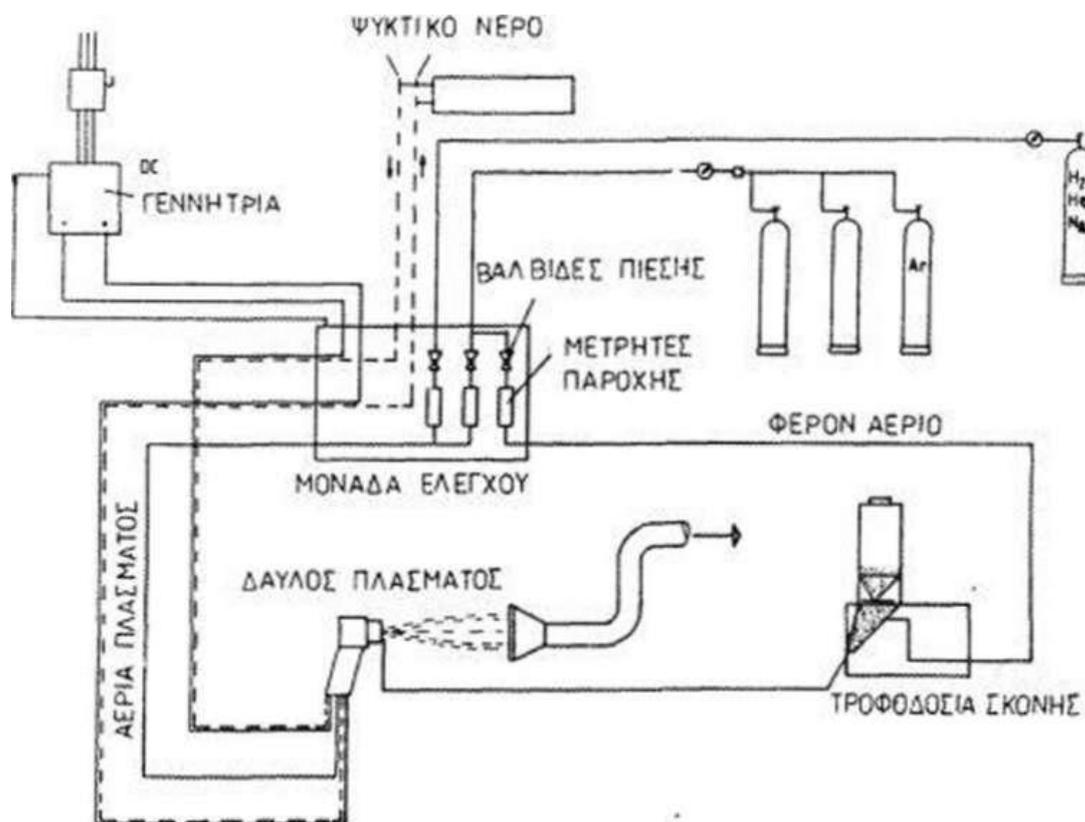
Στο σχήμα παρουσιάζονται τα διάφορα στάδια δημιουργίας του πλάσματος



Σχήμα : Τα διάφορα στάδια δημιουργίας του πλάσματος

5.6 Οργανολογία διάταξης

- Γεννήτρια
- Αέρια πλάσματος
- Ψυκτικό μέσο
- Δαυλός πλάσματος
- Τροφοδοτικό δοχείο σκόνης
- Μονάδα ελέγχου
- Βαλβίδες πίεσης
- Μετρητές παροχής



Σχήμα : Οργανολογία διάταξης

5.7 Παράμετροι ψεκασμού πλάσματος

Προκειμένου να επιτευχθούν οι βέλτιστες συνθήκες ψεκασμού διαφόρων επιστρωμάτων, ώστε αυτά να έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες, πρέπει να επιλυθούν διάφορα προβλήματα, όπως η μελέτη των φυσικών νόμων που διέπουν την μέθοδο και ο προσδιορισμός των ορίων εφαρμογής της μεθόδου.

Στον πιο κάτω πίνακα παραβιάζονται οι σπουδαιότερες παράμετροι της μεθόδου ψεκασμού επιστρωμάτων με χρήση πλάσματος.

ΙΣΧΥΣ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΨΕΚΑΖΟΜΕ- ΝΟ ΥΛΙΚΟ	ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ	ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΣΚΟΝΗΣ	ΨΕΚΑ- ΣΜΟΣ
Τάση ρεύματος	Μέγεθος των σωματιδίων	Φυσικές & χημικές ιδιότητες υποστρώματος	Είδος και παροχή του φέροντος αερίου	Απόσταση ακροφυσίου του δαυλού και του υποστρώ- ματος
Ενταση ρεύματος	σχήμα σωματιδίων	Τραχύτητα επιφάνειας	Ρυθμός τροφοδοσίας σκόνης	Σχετική κίνηση του υποστρώμα- τος προς το δαυλό
Φύση του χρησιμο- ποιούμενου αερίου	Διάμετρος σωματιδίων	Κατάσταση επιφάνειας (οξειδωση καθαρότης)	Θέση & κλίση του τροφοδότη της σκόνης στο δαυλό	Ατμοσφαιρι- κές συνθή- κες ή ει- δικές συνθήκες
Είδος και σχήμα των ηλεκτροδ. του δαυλού πλάσματος	Κατανομή μεγέθους σωματιδίων	Θερμοκρασία υποστρώματος κατά τον ψεκασμό	Αριθμός θέσεων τροφοδοσίας της σκόνης	Τρόπος ψύξης του υποστρώ- ματος
Παροχή του αερίου	Φυσικές & χημικές ιδιότητες του υλικού (σημείο τήξης, θερμική αγωγιμότητα κ.λ.π.)		Ταχύτητα εισαγωγής σωματιδίων	

Πίνακας : παραμέτρων ψεκασμού επιστρωμάτων με χρήση πλάσματος

Βιβλιογραφία

1. THERMAL SPRAY COATINGS, H.Herman and S.Sampath, The Thermal Spray Laboratory, Department of Materials Science and Engineering, State University of New York, Stony Brook
2. The science and engineering of thermal spray coatings / Lech Pawlowski
3. Thermal spray technology [videorecording] / ASM International

Δημοσίευση

1. Liangde Xie^a, Xinqing Ma^b, Alper Ozturk^c, Eric H. Jordan^c, Nitin P. Padture^a, Baki M. Cetegen^c, Danny T. Xiao^b and Maurice Gell' ^a Processing parameter effects on solution precursor plasma spray process spray patterns
2. Katashi Osaki' ^a, Osamu Fukumasa^a, Satoru Fujimoto^a and Akira Kobayash Plasma electrode-type plasma spray gun—effect of powder loading on the behavior of plasma
3. J. F. Li^{a, 1}, H. L. Liao^a, C. X. Ding^b and C. Coddet Optimizing the plasma spray process parameters of yttria stabilized zirconia coatings using a uniform design of experiments
4. Aleksandar Vencl^{a, 1}, Saioa Arostegui^b, Gregory Favaro^b, Fatima Zivic^c, Mihailo Mrdak^d, Slobodan Mitrović^c and Vladimir Popovic^a Evaluation of adhesion/cohesion bond strength of the thick plasma spray coatings by scratch testing on coatings cross-sections
5. Liangde Xie^a, Xinqing Ma^b, Eric H. Jordan^c, Nitin P. Padture^a, Danny T. Xiao^b and Maurice Gell Deposition mechanisms of thermal barrier coatings in the solution precursor plasma spray process

Ιστοσελίδες

1. <http://iopscience.iop.org>
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/>
3. http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/F1_Epifaniakes_%20katergasies.pdf
4. <http://www.thermalspray.org/>
5. <http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/1927#page/39/mode/1uphttp://iopscience.iop.org>
6. <http://www.amphardchrome.co.uk/plasma-spraying.php>
7. <http://www.amphardchrome.co.uk/plasma-spraying.php>

6 Προετοιμασία επιφάνειας

Είναι γνωστό ότι η προετοιμασία της επιφάνειας πριν από την εφαρμογή είναι ο σπουδαιότερος από τους παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της προστασίας και την διάρκεια ζωής των επιχρισμάτων. Για τον λόγο αυτόν πρέπει πάντοτε να δίδεται μεγάλη προσοχή τόσο στην επιλογή της μεθόδου που θα εφαρμοσθεί, όσο και στην σωστή εφαρμογή της. Επομένως το θέμα της επιφανειακής προετοιμασίας αφορά τόσο τα στάδια σχεδιασμού και προδιαγραφής, όσο και την εκτέλεση των έργων και τον έλεγχο τους.

Πρότυπα προετοιμασίας επίσημα υπάρχουν σχεδόν αποκλειστικά για μεταλλικές κατασκευές. Για την προετοιμασία των επιφανειών, ιστορικά στην Ευρώπη το πρώτο πρότυπο που εφαρμόστηκε διεθνώς είναι το Σουηδικό πρότυπο SIS 055900. Το πρότυπο αυτό έμεινε για πολλά χρόνια το μοναδικό πρότυπο για προεργασία μεταλλικών επιφανειών και έχει μείνει στην βιομηχανία μεταλλικών κατασκευών και στην ναυπηγοβιομηχανία ως πρότυπο αναφοράς. Το πρότυπο αυτό μεταφράστηκε και έγινε Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 880:1985. Αργότερα εκπονήθηκε από τον ISO οι σειρές διεθνών προτύπων ISO 8501, 8502, 8504. Στη συνέχεια αυτά τα πρότυπα ενσωματώθηκαν στην Ευρωπαϊκή τυποποίηση ως EN/ISO 8501, EN/ISO 8502, EN/ISO 8504 και βεβαίως και στον ΕΛΟΤ με τους ίδιους αριθμούς.

Η προετοιμασία της επιφάνειας αρχίζει με την απομάκρυνση των ξένων υλών. Σκόνες, χώματα, άλατα, επικαθίσεις, πιτσιλιές από ασβέστη και άλλα επιχρίσματα, λάδια και άλλες λιπαρές ουσίες, πίσσες κτλ. πρέπει να απομακρυνθούν πριν από την καθεαυτού προετοιμασία που θα περιγραφεί παρακάτω. Επίσης πρέπει να απομακρυνθούν πριν από την προετοιμασία χαλαρά στρώματα παλαιών χρωμάτων καθώς και χονδρά στρώματα σκουριάς στα μεταλλικά αντικείμενα.

Ως επί το πλείστον, η προετοιμασία αρχίζει με μια σάρωση για την απομάκρυνση της σκόνης και άλλων χαλαρά συνδεδεμένων υλικών. Ακολουθεί, ανάλογα με την περίπτωση και το αντικείμενο απολίπανση για την απομάκρυνση λαδιών και λιπαρών ουσιών, ξύσιμο για την απομάκρυνση χρωμάτων και σκουριάς, γυαλοχάρτισμα και άλλα. Η κυρίως προετοιμασία της επιφάνειας μπορεί να είναι μηχανική ή χημική. Η επιφάνεια που πρόκειται να προετοιμασθεί μπορεί να είναι από χάλυβα ή άλλο μέταλλο, αλλά και πολλά άλλα υλικά.

Άλλος σημαντικός παράγοντας που υπεισέρχεται στην επιλογή της μεθόδου, στην εκτέλεση αλλά και στην κατάταξη της προετοιμασίας μιας επιφάνειας είναι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η επιφάνεια πριν από την προετοιμασία. Αυτή, αν είναι π.χ. χαλύβδινη, μπορεί να έχει χρώματα (διαφόρων ειδών), να είναι οξειδωμένη σε διάφορους βαθμούς οξείδωσης, ή να είναι καινούργια.

Όπως αναφέρθη ο εχθρός των μεταλλικών κατασκευών είναι η οξείδωση. Οξείδωση καλούμε την χημική ένωση μιας ουσίας (όπως ο σίδηρος και τα άλλα μέταλλα) με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας που έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία οξειδίων των μετάλλων (σκουριές). Πως όμως μπορεί να προστατευθεί ένα έλασμα ή ένα μεταλλικό κατασκεύασμα γενικότερα, από την οξείδωση; Προφανώς όταν θα μπορεί να υπάρξει ένα εμπόδιο (φράγμα) μεταξύ του ελάσματος και των εχθρικών παραγόντων που επιφέρουν την οξείδωση που είναι το ατμοσφαιρικό οξυγόνο (οξειδωτικό) και το θαλασσίνο νερό (διαβρωτικό περιβάλλον).

Για να πετύχουμε αυτό πρέπει να επιστρώσουμε την επιφάνεια του ελάσματος με το κατάλληλο σύστημα χρωματισμού. Αυτή η μεμβράνη ή στρώμα χρώματος είναι το αδιαπέραστο εμπόδιο που αποτρέπει την επαφή του ελάσματος με την υγρασία, το οξυγόνο ή και χημικούς παράγοντες που δημιουργούν την οξείδωση. Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος προστασίας από τη διάβρωση παγκοσμίως είναι η επαναλαμβανόμενη κατά τακτά χρονικά διαστήματα διαδικασία καθαρισμού και βαφής των επιφανειών

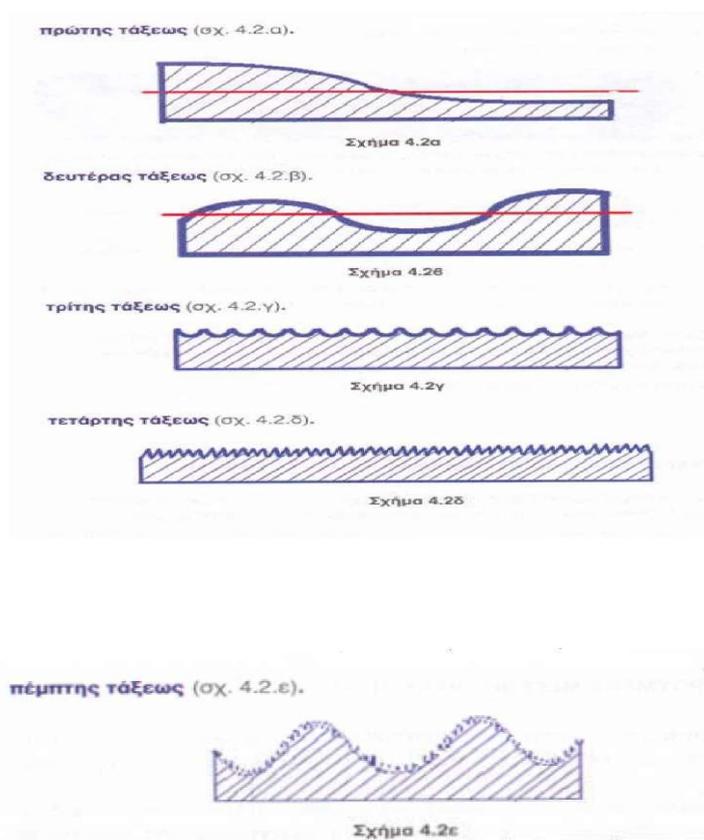
6.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη ποιότητας επιφάνειας

Όταν κατεργαζόμαστε ένα αντικείμενο χειρωνακτικά ή με μηχανικές μεθόδους, η επιφάνεια που προκύπτει παρουσιάζει διαφορές (αποκλίσεις) σε σχέση προς μια ιδανική, η οποία συμβολίζεται στα σχέδια με τα σύμβολα κατεργασίας.

Αν εξετάσουμε το αντικείμενο που κατεργαστήκαμε, μπορούμε να διαπιστώσουμε αποκλίσεις από τη γεωμετρική μορφή (επιπεδότητα, κυκλική διατομή, κυρτότητα, κ.α). Οι αποκλίσεις αυτές ονομάζονται αποκλίσειςμορφής και είναι πρώτης τάξεως.

Οι αποκλίσεις κατατάσσονται σε πέντε βασικές κατηγορίες

Σε αποκλίσεις:



Οι ανωμαλίες που παρατηρούμε, αν εξετάσουμε την παράπλευρη επιφάνεια ενός αντικειμένου, δημιουργούν μια κυματοειδή και τραχεία επιφάνεια και μπορούμε να τις κατατάξουμε στις κατηγορίες

Οι τιμές των διαβαθμίσεων μετρούνται με ανάλογα όργανα. Οι ανωμαλίες τρίτης μέχρι πέμπτης τάξεως αναφέρονται στην τραχύτητα της επιφάνειας.

6.2 Οξείδωση - διάβρωση

Η οξείδωση είναι περίπου το ίδιο με το να λέμε σκωρία ή σκωρίαση. Η σκωρία γίνεται όταν το μέταλλο περνά από τη διαδικασία της οξείδωσης. Ως γνωστόν, ο σίδηρος και ο χάλυβας δεν βρίσκονται στη φυσική τους μορφή, αλλά προέρχονται από το μέταλλευμα μαζί με κάρβουνο ή κοκ. Το σιδηρομέταλλευμα μαζί με το κάρβουνο θερμαίνονται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία στο καμίνι ή σε ηλεκτροκλίβανο. Κατά τη διαδικασία αυτή μεγάλα ποσά ενέργειας εισάγονται στο μέταλλευμα. Μερική από αυτή την ενέργεια αποθηκεύεται στο σίδηρο ή τον χάλυβα και κάθε τμήμα τούτων μπορεί να θεωρηθεί στο εξής σαν μια φορτισμένη μπαταρία.

Είναι γνωστό ότι όταν μια μπαταρία ξεφορτίζεται, η κάψουλα ψευδάργυρου γύρω από την μπαταρία καταναλώνεται και ο υγρός ηλεκτρολύτης (συνήα καλούμενος οξύ) τρέχει έξω. Αυτή η κάψουλα του ψευδάργυρου καλείται άνοδος. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και με το μέταλλο. Μερικά συστατικά του χάλυβα φθείρονται ή οξειδώνονται κατά την απελευθέρωση ενέργειας, δηλαδή το μέταλλο σκουριάζει. Προκειμένου να έχουμε αυτή τη δράση πρέπει να έχουμε τις ίδιες συνθήκες σε ένα έλασμα, όπως συμβαίνει και σε μια μπαταρία. Ένα ηλεκτρικό στοιχείο η μπαταρία έχει ως γνωστό δυο άκρα - πόλους (την άνοδο και την κάθοδο).

Εάν παρατηρήσουμε το χάλυβα με ένα μικροσκόπιο, θα δούμε ότι αποτελείται από μέρη ή κρυστάλλους διαφορετικής απόχρωσης, που σημαίνει ότι είναι και διαφορετικής σύστασης. Ο χάλυβας, εάν παρατηρηθεί σε μεγένθυση, αποτελείται πλήρως από ανωμαλίες και πόρους. Σε αυτά τα σημεία η υγρασία ή το νερό είναι εύκολο να συγκεντρωθούν και έτσι με τις ακαθαρσίες του μετάλλου ή με το αλάτι δημιουργούν ηλεκτρολύτη. Επί πλέον επειδή το οξυγόνο του αέρα αντιδρά με το σίδηρο όταν απελευθερώνεται ηλεκτρική ενέργεια, με την παρουσία του αέρα είναι φυσικό να αρχίσει η διαδικασία της διάβρωσης.

Ένα έλασμα το οποίο δεν προστατεύεται και εκτίθεται στον αέρα και την υγρασία, εκλύει ένα μεγάλο αριθμό από μικροσκοπικά στοιχεία τα οποία μπορούν κάλλιστα να συγκριθούν με μια φορτισμένη μπαταρία. Έτσι η ενέργεια η οποία αρχικά δόθηκε για τη δημιουργία του μετάλλου, εκλύεται, με αποτέλεσμα να δημιουργείται σκωρία. Χημικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η σκωρία είναι το ίδιο με το σιδηρομέταλλευμα. Ο κύκλος έχει ολοκληρωθεί και είμαστε στην αρχή της φυσικής κατάστασης στην οποία ο σίδηρος και ο χάλυβας συναντώνται.

Εξαλείφοντας μια ανοδική ή καθοδική αντιδράση αποφεύγουμε την οξείδωση. Η εφαρμογή ενός συστήματος επικάλυψης δρα σαν εμπόδιο μεταξύ του αέρα, της υγρασίας και του μεταλλικού υποστρώματος, επιτυγχάνοντας έτσι μια επιβράδυνση ή και σταμάτημα της καθοδικής αντίδρασης.

6.3 Προετοιμασία επιφάνειας

Η κατάλληλη προετοιμασία μίας μεταλλικής επιφάνειας είναι εξαιρετικής σπουδαιότητας για τη όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης που πρόκειται να βαφεί. Λέγοντας προετοιμασία επιφάνειας εννοούμε την εις βάθος απομάκρυνση όλων των ακαθαρσιών (όπως είναι η σκόνη, η σκουριά, τα διάφορα λίπη, τα διαλυόμενα άλατα και οποιοδήποτε άλλο ξένο σωματίδιο), τα οποία επιδρούν στην αποδοτικότητα του συστήματος επικάλυψης. Ως ξένα σωματίδια εννοούμε τα διάφορα διαλυτά άλατα του νερού και τα διάφορα κατάλοιπα τα οποία μπορούν να αφαιρεθούν μόνο με πλύσιμο της επιφάνειας

Μόνον όταν η χαλύβδινη επιφάνεια προετοιμασθεί, έτσι ώστε να μας εξασφαλίσει καλή και σταθερή πρόσφυση του συστήματος επικάλυψης, τότε είναι σίγουρη η μεγάλης διάρκειας προστασία της επιφάνειας από τους παράγοντες της οξείδωσης, καθόσον τα προϊόντα της διάβρωσης και οι ακαθαρσίες δημιουργούν τοπικά γαλβανικά στοιχεία, με συνέπεια την επιτάχυνση καταστροφής του συστήματος .

Η ισχυρή πρόσφυση του επιστρώματος στην χαλύβδινη επιφάνεια απαιτεί τον πλήρη καθαρισμό της επιφάνειας και την ελαφριά τράχυνση της επιφάνειας του προστατευόμενου χάλυβα, εφόσον η ελαφριά αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας σημαίνει αύξηση της επιφάνειας επαφής με συνέπεια την καλύτερη πρόσφυση του συστήματος βαφής. Γενικά, το σύστημα βαφής και η προετοιμασία της επιφάνειας βρίσκονται πάντα σε αλληλεξάρτηση, και η σημασία της κατάλληλης προετοιμασίας της επιφάνειας δεν μπορεί να υπερτονισθεί

.Στην βιομηχανία της δημιουργίας και της συντήρησης των κατασκευών χρησιμοποιούνται οι πιο κάτω μέθοδοι προετοιμασίας των προς βαφή επιφανειών

- Απολίπανση
- Απομάκρυνση του στρώματος οξειδίων ή.
- Μηχανικός καθαρισμός
- Καθαρισμός με φλόγα).
- Καθαρισμός με εμβάπτιση σε οξέα

6.3.1 Σημασία του καθαρισμού των επιφανειών

Για την επίστρωση όμως της κατάλληλης επικάλυψης και τη σωστή πρόσφυση της στη μεταλλική επιφάνεια, απαιτείται η κατάλληλη προετοιμασία του υποστρώματος (της ανωτέρας επιφάνειας του ελάσματος), σύμφωνα πάντοτε με τις ισχύουσες διεθνείς προδιαγραφές. Η προετοιμασία αυτή επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους οι οποίες απομακρύνουν παλαιά χρώματα και στρώματα σκουριάς από την επιφάνεια του ελάσματος και το αφήνουν καθαρό για την επίστρωση του νέου χρώματος

Χαρακτηριστικό παράδειγμα που τονίζει τη σημασία του σωστού καθαρισμού και της σωστής προετοιμασίας των επιφανειών, αποτελεί το γεγονός ότι, περίπου το 90% των αστοχιών βαφής οφείλεται σε προβλήματα της προετοιμασίας των επιφανειών και μόνο το 10% σε άλλους λόγους (ποιότητα χρωμάτων, εφαρμογή της βαφής, κλπ)

Καθαρισμός και προετοιμασία των επιφανειών (surface preparation) ονομάζεται η διαδικασία απομάκρυνσης όλων των ξένων σωμάτων και ουσιών από μια επιφάνεια και η δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών για τη σωστή πρόσφυση των προστατευτικών επιστρωμάτων

6.3.2 Απολίπανση

Η διαδικασία της απολίπανσης περιλαμβάνει την απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων λίπους και λαδιών, όσο είναι δυνατό, με τη μέθοδο της απόξεσης. Στη συνέχεια απομακρύνονται οι διάφορες παραμένουσες ουσίες με τη χρήση οργανικών διαλυτικών ή απορρυπαντικών σε υδατική διάλυση (συνδυασμένων μερικές φορές με γαλακτοποιημένα οργανικά διαλυτικά). Η απομάκρυνση κάθε ίχνους λίπους ή λαδιού από την επιφάνεια που πρόκειται να βαφεί κρίνεται απολύτως απαραίτητη, διότι τα λίπη θα χαλάσουν την πρόσφυση του συστήματος επικάλυψης, θα προκαλέσουν ανομοιογένεια στην επιφάνεια και έτσι προδιαθέτουν για διάβρωση με βελονισμούς.

Τα οργανικά διαλυτικά που χρησιμοποιούνται για τον παραπάνω σκοπό είναι: ακετόνη, αλκοόλες, βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλένιο, τριχλωροαιθυλένιο, τετραχλωράνθρακας, χλωρομεθυλένιο και επιλέγονται ανάλογα με το είδος της μεταλλικής επιφάνειας και το οικονομικό σκέλος της εργασίας

6.3.3 Μηχανικός καθαρισμός με χρήση ηλεκτροκίνητων εργαλείων

Η απολίπανση των επιφανειών, όπου είναι απαραίτητη, θα έπρεπε πάντα να προηγείται του καθαρισμού με εργαλεία. Κοινώς χρησιμοποιούμενα εργαλεία καθαρισμού είναι τα ματσακόνια, κοπίδια, μηχανήματα εξομάλυνσης, τόννοι κ.α. Όταν η επιφάνεια έχει απελευθερωθεί από την χαλαρώς προσκολλημένη σκουριά, το χαλαρό χρώμα και τις διάφορες ακαθαρσίες, βουρτσίζεται με συρματόβουρτσες ή τρίβεται με αποξεστικές ουσίες (σφυριδόπανα)

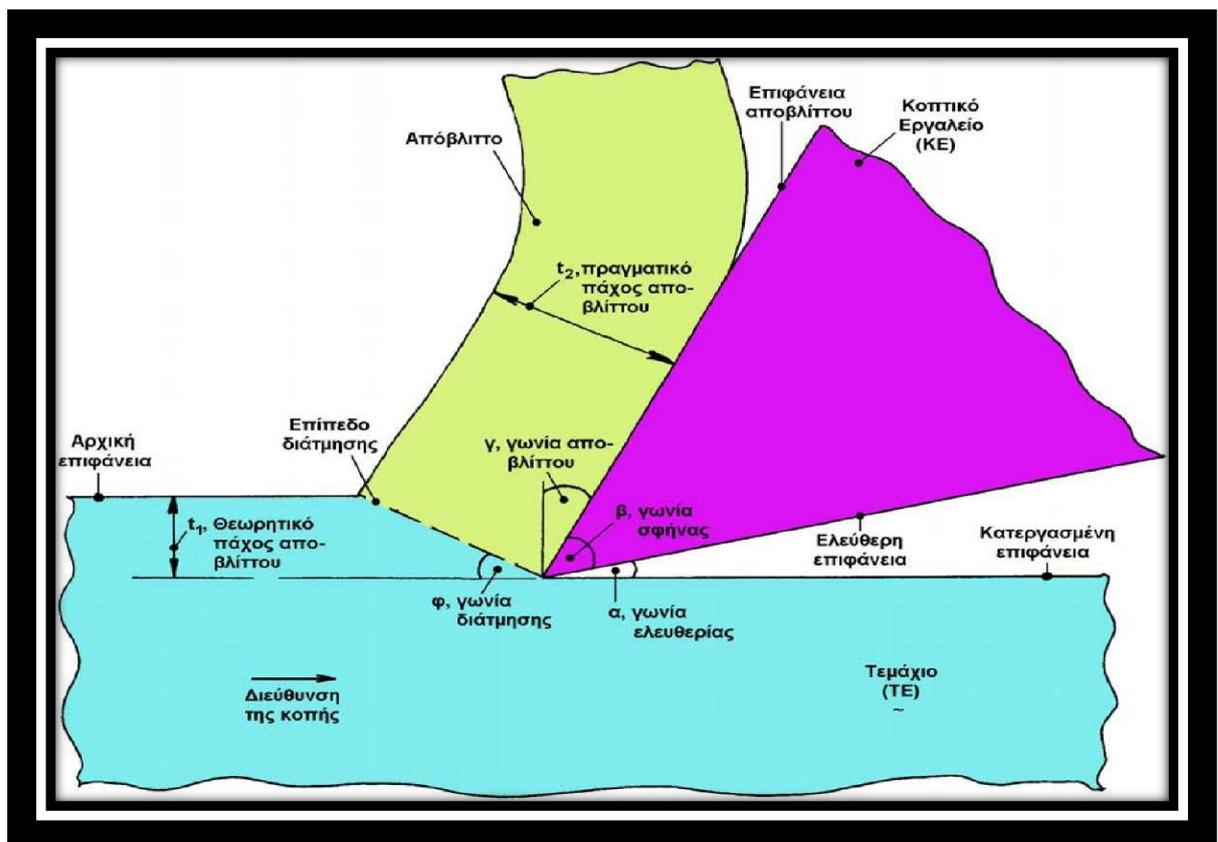
Η απολίπανση, όπου αυτή χρειάζεται, θα έπρεπε να προηγείται του μηχανικού καθαρισμού με εργαλεία, ο οποίος εκτελείται μέσω ηλεκτρικών εργαλείων. Η δράση του καθαρισμού επιτυγχάνεται ή με πρόσκρουση ή με περιστροφή ή με συνδυασμό και των δύο. Τα συνηθισμένα εργαλεία καθαρισμού κρούσης είναι οι σφύρες σμίλευσης/απολέπισης, ενώ τα εργαλεία καθαρισμού περιστροφής είναι ευθείες ή κάθετες μηχανές. Τονίζεται ότι πρέπει να αποφεύγεται ο παρατεταμένης διάρκειας καθαρισμός με περιστροφικά εργαλεία, γιατί οδηγεί σε εξαιρετικά λεία επιφάνεια, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πρόσφυση του χρώματος στο μέταλλο. Μετά τον μηχανικό καθαρισμό με εργαλεία, ακολουθεί η απομάκρυνση της σκόνης και κατόπιν όσο το δυνατόν γρηγορότερα η επίχριση του πρώτου στρώματος βαφής.

Ο μηχανικός καθαρισμός με εργαλεία είναι λιγότερο χρονοβόρος από ότι αν οι διαδικασίες γίνονταν με εργαλεία χειρός και δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τον χειρονακτικό μηχανικό καθαρισμό. Επίσης, εκτός των εργαλείων περιστροφικής κρούσης, με τον μηχανικό καθαρισμό επιτυγχάνεται στην καλύτερη περίπτωση μερική απομάκρυνση της καλαμίνας.

6.3.4 Τόρνευση

Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη εργαλειομηχανή με απλή σημειακή επαφή είναι ο τόννος. Το προς κατεργασία τεμάχιο προσδένεται στο σφικτήρα τεμαχίων (τσοκ), ο οποίος περιστρέφεται μέσω του μηχανισμού κίνησης της κεφαλής το τόννου. Το εργαλείο τοποθετείται στον εργαλειοδέτη που έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει τις θέσεις του εργαλείου σε σχέση με το κατεργάσιμο αντικείμενο. Η πρόωση του εργαλείου επιτυγχάνεται με την ολίσθηση του εργαλειοφορείου, όπου είναι τοποθετημένος ο εργαλειοδέτης, στο τραπέζι του τόννου. Σπουδαίο ρόλο παίζει η στιβαρότητα του όλου συστήματος, ώστε να παραλαμβάνονται οι αναγκαίες δυνάμεις κοπής και να εξασφαλίζεται η χωρίς δονήσεις λειτουργία.

Ουσιαστική σημασία για την κοπή έχει η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου. Ανεξάρτητα από την κατεργασία, το κοπτικό εργαλείο καθορίζεται από ορισμένα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη για το κοπτικό εργαλείο του τόννου. Σε ένα κοπτικό εργαλείο μπορεί να διακρίνει κανείς δυο κοπτικές πλευρές, την κύρια και τη δευτερεύουσα.



Σχήμα : Γωνίες του κοπτικού εργαλείου

Η γωνία ελευθερίας (α), που σχηματίζεται από την ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου και την κατεργασμένη επιφάνεια. Επιτρέπει τη μείωση της τριβής μεταξύ του κατεργάσιμου τεμαχίου και του εργαλείου στις περιοχές του εργαλείου που πρόσκεινται στις δυο κόψεις του. Η γωνία ελευθερίας κυμαίνεται μεταξύ $5^\circ - 15^\circ$.

Η γωνία αποβλήτου (γ), που σχηματίζεται από την επιφάνεια αποβλήτου και το κάθετο επίπεδο στην κατεργασμένη επιφάνεια, που διέρχεται από την κόψη του κοπτικού εργαλείου και ελέγχει αποτελεσματικά την κοπή. Μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδενική. Αύξηση της γωνίας αποβλήτου έχει σα συνέπεια τη μείωση των δυνάμεων κοπής. Στην πράξη, η γωνία αποβλήτου κυμαίνεται μεταξύ 0° (για ψαθυρά υλικά) και 20° (για όλκιμα υλικά). Σε μεγάλες ταχύτητες κοπής και μικρή διατομή αποβλήτου η γωνία γ λαμβάνει αρνητικές τιμές

6.3.5 Καθαρισμός με αμμοβολή

Η αμμοβολή αποτελεί, εδώ και αρκετές δεκαετίες, την αποδοτικότερη και την πλέον διαδεδομένη μέθοδο καθαρισμού και προετοιμασίας προς βαφή μεγάλων μεταλλικών κυρίως επιφανειών, με εφαρμογές σε πολλές βιομηχανικές δραστηριότητες και ειδικότερα σε εκείνες που αφορούν στη ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία.

Η αρχή λειτουργίας της αμμοβολής στηρίζεται στη βίαια προώθηση ρεύματος αποξεστικού υλικού πάνω στην επιφάνεια. Τα αποξεστικά υλικά (άμμος, ορυκτά, αποκαμινεύματα, ψήγματα μετάλλων κλπ.) με την πρόσπτωση στην επιφάνεια απομακρύνουν τα επιστρώματα βαφής, τα προϊόντα οξειδωσης και άλλα υπολείμματα και προετοιμάζουν την επιφάνεια για βαφή.

Πριν εφαρμοσθεί η παραπάνω διαδικασία καθαρισμού, όπου είναι απαραίτητο, η επιφάνεια θα πρέπει να έχει απολιπανθεί, να έχουν απομακρυνθεί όλες οι τυχόν ακαθαρσίες, έτσι ώστε η επιφάνεια να έχει γίνει λεία. Μετά τον καθαρισμό με ψηγματοβολή, η επιφάνεια ελευθερώνεται από την σκόνη και το πρώτο στρώμα βαφής επιχρίεται όσο το δυνατό πιο γρήγορα.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της μεθόδου, οι διαφορές των οποίων συνίσταται στο μέγεθος των χρησιμοποιούμενων ψηγμάτων, στο μέσο μεταφοράς τους (π.χ. νερό, αέρας και στον τύπο και είδος του απαιτούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού). Η επιλογή της κατάλληλης παραλλαγής της μεθόδου εξαρτάται από τα είδη των ακαθαρσιών, τα υπολείμματα και τα διάφορα παλιά φθαρμένα και κατεστραμμένα επικαλυπτικά συστήματα. Η επιφάνεια που θα προκύψει δεν πρέπει να είναι εξαιρετικά λεία, αλλά τραχεία και σε τέτοιο βαθμό ώστε να επιτυγχάνεται η ικανοποιητική πρόσφυση του χρώματος στο μέταλλο.

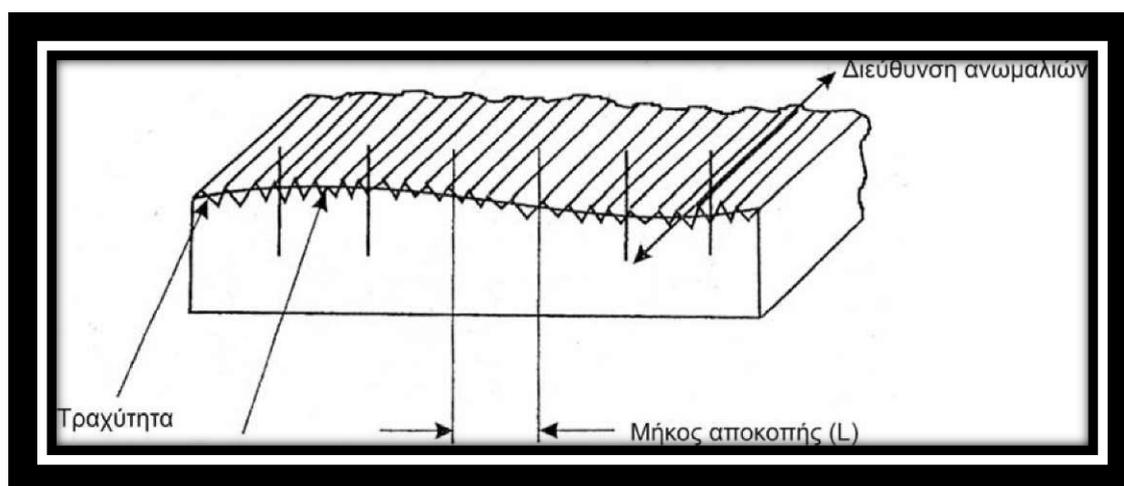
Σημαντικοί παράγοντες για έναν σωστό καθαρισμό με αμμοβολή είναι:

- Η κατάλληλη επιλογή του υλικό και του μέγεθος
- Η έγκαιρη απομάκρυνση σκόνης και ακαθαρσιών.
- Η κατάλληλη πίεση βολής.

Παλαιότερα κατά τη μέθοδο αυτή η πυριτική άμμος ήταν το μοναδικό αποξεστικό μέσο που χρησιμοποιείτο σε ξηρές ανοικτές ψηγματοβολές. Η χρήση της συνδέθηκε με την θανατηφόρα ασθένεια των πνευμόνων, την σιλίκωση, η οποία προκαλείται από την εισπνοή κρυσταλλικού SiO_2 , που περιέχεται σε ψηλά ποσοστά στη σύστασή της και το οποίο δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία τόσο των εργαζομένων όσο και των ατόμων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από την περιοχή εκπομπής. Σήμερα, η χρήση της έχει περιοριστεί έως και αντικατασταθεί από άλλα αποξεστικά μέσα.

6.4 Τραχύτητα επιφάνειας

Η τοπογραφία της επιφάνειας περιγράφει την ποιότητα της επιφάνειας του τεμαχίου μέσω τριών διαφορετικών χαρακτηριστικών: τραχύτητα, κυμάτωση και διαγράμμιση. Το υλικό του τεμαχίου, η εργαλειομηχανή, το σύστημα εργαλείου / τεμαχίου, τα χαρακτηριστικά της κατεργασίας και όλα τα περιφερειακά της επηρεάζουν άμεσα την επιφάνεια. Η τραχύτητα της επιφάνειας χρησιμοποιείται παγκοσμίως για να καθορίσει συγκεκριμένες απαιτήσεις αποπεράτωσης.



Κυμάτωση

Σχήμα: Περιγραφή τραχύτητας επιφάνειας. Καθορίζεται μέσω διαφορετικών παραμέτρων και εξισώσεων και δίνεται σε αριθμητικές τιμές. Οι σχετικές εξισώσεις είναι:

Για τις περισσότερες εφαρμογές περιλαμβάνει τις κατεργασίες υψηλής και λίαν υψηλής ακριβείας, το κριτήριο της τραχύτητας ως μέτρο για την ποιότητα της επιφάνειας είναι πολύ σημαντικό. Ωστόσο, σε περιπτώσεις που απαιτούνται ειδικές επιφανειακές μορφολογίες, πρέπει να αναφέρονται, να συγκεκριμενοποιούνται και να ελέγχονται. Διαφορετικές μέθοδοι κατεργασιών έχουν ως αποτέλεσμα και διαφορετική μορφολογία κατεργασμένης επιφάνειας. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, οι μορφολογίες των επιφανειών χρειάζεται να υποστούν περαιτέρω κατεργασία, για να εξασφαλίσουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας.

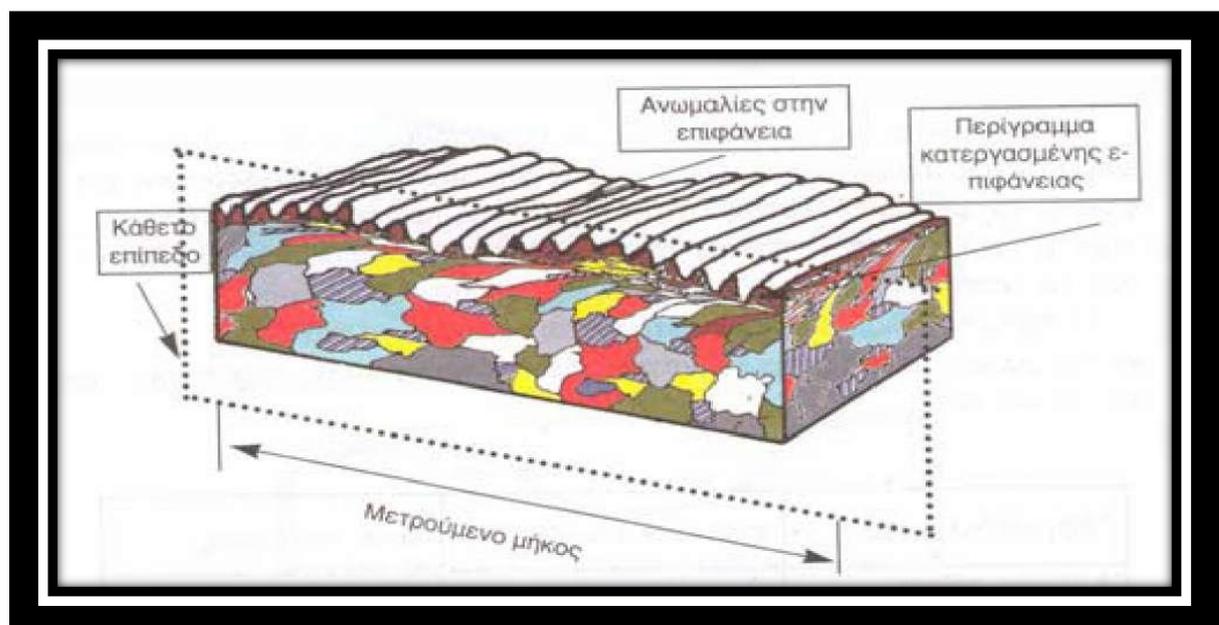
Τεμάχια υπό κρίσιμες τάσεις πρέπει να διαθέτουν καλή ομοιομορφία επιφάνειας, η οποία είναι το αποτέλεσμα της επιβαλλόμενης μηχανουργικής κατεργασίας και των επιδράσεων αυτής στην επιφανειακή στιβάδα της κατεργασμένης επιφάνειας.

(μικρορωγμές, ανακρυστάλλωση, παραμένουσες τάσεις, σκλήρυνση και ανομοιομορφία του υλικού). Οι συνδυασμοί των υλικών των τεμαχίων και των διαδικασιών κατεργασίας είναι αμέτρητοι. Ωστόσο, τα δύο σημαντικά επιφανειακά προβλήματα με τα πιο δραστικά μέτρα στο σχεδιασμό είναι η αστοχία από ρωγμές μέσω κόπωσης ή και διάβρωσης. Και τα δύο, σε πολλές περιπτώσεις, πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη πριν το καθορισμό του υλικού και της κατεργασίας.

6.4.1 Μετρούμενα μεγέθη τραχύτητας

Η τραχύτητα μιας επιφάνειας χαρακτηρίζεται από διάφορα μεγέθη. Τα μεγέθη αυτά καθορίζονται βάση ορισμένου μήκους μετρήσεως.

Αν θεωρήσουμε ότι η κατεργασμένη επιφάνεια τέμνεται από ένα επίπεδο κάθετο προς αυτήν, τότε προκύπτει το περίγραμμα της επιφάνειας



Σχήμα : Περίγραμμα κατεργασμένης επιφάνειας

- Ονομαστικό περίγραμμα επιφάνειας είναι ένα ιδεατό περίγραμμα χωρίς ανωμαλίες.
- Πραγματικό περίγραμμα επιφάνειας είναι αυτό που προκύπτει μετά από μετρήσεις με τα κατάλληλα καταγραφικά όργανα

Οι ανωμαλίες στην κατεργασμένη επιφάνεια, οι οποίες καταγράφονται με τις συσκευές μέτρησης οφείλονται σε παράγοντες που αναφέρονται στον πίνακα.

Τάξη Απόκλισης.	Είδος απόκλισης.	Αίτια απόκλισης.
A (Πρώτης τάξεως.	Μορφικές αποκλίσεις (Επιπεδότητα, Κυκλικότητα). (DIN 7184, 4760)	Λάθη στους οδηγούς των εργαλειομηχανών. Κάμψη του κατεργαζομένου τεμαχίου. Κακή πρόσδεση του τεμαχίου. Παραμόρφωση του τεμαχίου λόγω σκλήρυνσης.
B (Δευτέρας) τάξεως.	Κυματοειδής μορφή. (DIN 4760)	Εκκεντρή τοποθέτηση κοπτικού φραιζας. Κραδασμοί εργαλειομηχανής ή εργαλείου.
Γ (Τρίτης) τάξεως.	Αυλακώσεις,	Μορφή κοπτικού εργαλείου. Πρόωση κοπής.
Δ (Τετάρτης) τάξεως.	Χαραγές.	Ατέλειες τροχίσματος κοπτικού εργαλείου. Δημιουργία ψευδοακμής. Φθορά εργαλείου. Τρόπος σχηματισμού αποβλήτου.
E (Πέμπτης) τάξεως.	Μεταλλογραφικός ιστός.	Χημικές επιδράσεις στον κρυσταλλικό ιστό του μετάλλου.

Πινάκας : παραδείγματα και βαθμοί αποκλίσεως

Αν τις ανωμαλίες της επιφάνειας τις οριοθετήσουμε με δύο οριζόντιες γραμμές La και Lk και φέρουμε μια μέση γραμμή, η οποία να ισομοιράζει τα σχηματιζόμενα εμβαδά, τότε προκύπτουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά μεγέθη τραχύτητας:

Μέγιστο βάθος τραχύτητας R_{max}

Είναι το μέγιστο της απόστασης μεταξύ του Βαθύτερου και υψηλότερου σημείου των μειουμένων ανωμαλιών $R_{max}=L_a-L_k$.

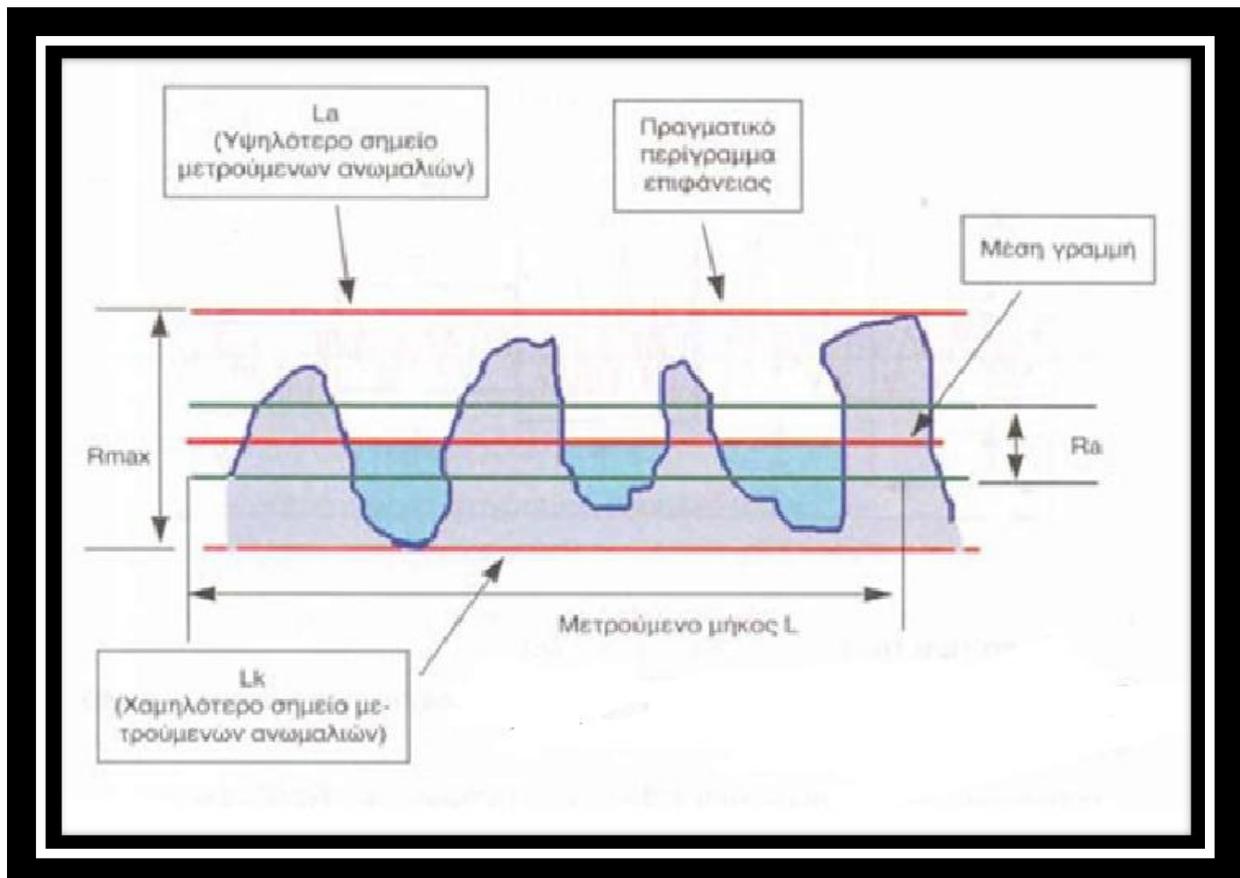
Οι τιμές αυτές προκύπτουν μετά την αφαίρεση των μορφικών αποκλίσεων και του κυματισμού. Οι αιτίες για μεγάλες τιμές του R_{max} προέρχονται από τη μορφή του κοπτικού εργαλείου, από το βάθος κοπής και από την ταχύτητα πρόωσης.

Ενδιάμεσο βάθος τραχύτητα R_z

Είναι η αριθμητική μέση τιμή που προκύπτει από το άθροισμα πέντε επί μέρους $\bar{y}^{(A)}$, Μέση τιμή τραχύτητας R_a Είναι η αριθμητική μέση τιμή όλων των αποστάσεων (τεταγμένων) Y από τη μέση γραμμή.

Η τιμή R_a κυμαίνεται μεταξύ $1/3$ και 1Π της τιμής του R_z).

βρίσκεται μεταξύ $1/3$ και 1Π της τιμής του R_z (DIN 4767)



Σχήμα : Τομή τμήματος επιφάνειας με χαρακτηριστική τραχύτητα

6.4.2 Έλεγχος επιφάνειας

Η τραχύτητα της επιφάνειας ενός αντικειμένου εξαρτάται από:

- Το υλικό του αντικειμένου.
- Το υλικό και την ποιότητα των κοπτικών εργαλείων.
- Τη γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου.
- Τη χρήση των παραμέτρων κοπής.
- Το μέγεθος των κατεργασμένων επιφανειών.
- Τη μέθοδο κατεργασίας.
- Τις εργαλειομηχανές στις οποίες πραγματοποιήθηκε η κατεργασία.

Τις μεθόδους ελέγχου και μέτρησης της ποιότητας των κατεργαζόμενων επιφανειών μπορούμε να **τις** μετρήσουμε:

- Με μικροσκόπιο
Η σύγκριση της ελεγχόμενης επιφάνειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με μικροσκόπιο, αφού κάνουμε σύγκριση της κατεργασμένης επιφάνειας προς τα πρότυπα πλακίδια επιφανείας. Με κανόνα και έτσι τη μέθοδο αυτή, τοποθετούμε ένα εργαστηριακό κανόνα με την ακμή του πάνω στην προς εξέταση επιφάνεια. Τα διάκενα που σχηματίζονται μεταξύ της ακμής και των ανωμαλιών της επιφάνειας δίνουν ένα μέτρο της τραχύτητας. Αυτή οι μέθοδοι ελέγχου της τραχύτητας των επιφανειών ενδείκνυνται σε κατασκευές στις οποίες οι απαιτήσεις δεν είναι μεγάλες

- Μικροσκόπιο οπτικής δέσμης.

Με το μικροσκόπιο ωμικής δέσμης μπορούμε να παρατηρήσουμε και να φωτογραφήσουμε μια κατεργασμένη επιφάνεια και να μετρήσουμε το βάθος και το βήμα της τραχύτητας. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, μια φωτεινή δέσμη από το μικροσκόπιο πέφτει υπό γωνία 45° πάνω στην προς εξέταση επιφάνεια. Με τον κατάλληλο προσανατολισμό - ρύθμιση του προσοφθαλμίου φακού του μικροσκοπίου μπορούμε να μετρήσουμε την τραχύτητα της επιφάνειας

- Μηχανή μέτρησης της τραχύτητας.

Με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούμε ένα όργανο που έχει ένα στέλεχος, το οποίο καταλήγει σε ακίδα, η οποία δύναται να ανεβοκατεβαίνει αναλόγως προς τις ανωμαλίες που συναντά. Η επιφάνεια του αντικειμένου που εξετάζουμε παραμένει ακίνητη και το στέλεχος της ακίδας κινείται ευθύγραμμα με σταθερή ταχύτητα. Η ακίδα, κατά την κίνηση του στελέχους, εφάπτεται συνεχώς στην προς εξέταση επιφάνεια. Η κίνηση της ακίδας πολλαπλασιάζεται με ηλεκτρικό τρόπο είτε με μεταβολή της επαγωγής είτε της χωρητικότητας είτε πιεζοηλεκτρικά είτε φωτογραφικά. Η συνεχής αυτή μέτρηση καταγράφεται σε χαρτί, από το οποίο μπορούμε να μετρήσουμε την τραχύτητα της επιφάνειας, όταν τελειώσει η εργασία

Βιβλιογραφία

1. Catherine M. Cotell, James A. Sprague, Fred A. Smidt Surface engineering / Prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee.
2. Δ. Μανωλάκος, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Εφαρμογές Προηγμένων Υλικών
3. Α. Γ. Μάμαλης, Τεχνολογία των κατεργασιών των υλικών
4. Βασιλείου Π., Ανδρέοπουλος Α.: «Υλικά: ξύλο, κεραμικά, πολυμερή, μέταλλα».

Ιστοσελίδες

1. <http://iopscience.iop.org>
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/>
3. <http://www.iok.gr>
4. <http://users.sch.gr/marbagana/entheta/entheta03.html>
5. http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Physical_Chemical/Corrosion.htm
6. <http://www.substech.com>
7. <http://www.metadosi-ischios.gr/printArticle.php?ID=145>
8. <http://users.ntua.gr/vosniak/teaching/dpms/01%20b.pdf>

επίσης μειωμένη αντοχή σε εφελκυσμό. Η αντοχή στη θλίψη είναι μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται

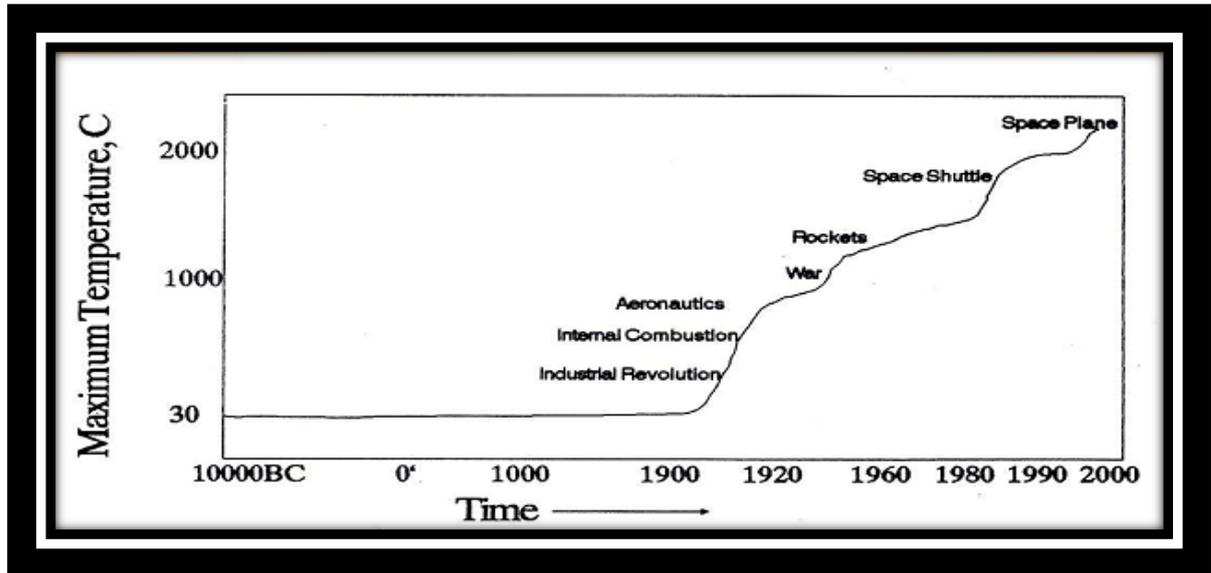
Εν μέρει στο είδος του δεσμού που υπάρχει στα κεραμικά και που είναι είτε ιοντικός ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{MgO}$) είτε ομοιοπολικός ($\text{SiC}, \text{Si}_3\text{N}_4$), αλλά και στην ύπαρξη μικρορωγμών και πόρων μέσα στη μάζα του κεραμικού. Είναι κυρίως τα τεχνικά (που βρίσκουν πολλές μηχανολογικές εφαρμογές) παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα που ξεκινά από 1000-1500 HV (π.χ. αλουμίνα, Al_2O_3) και μπορεί να φθάσει τα 5000-7000 HV (νιτρίδιο του βορίου, BN). Το διαμάντι, που αποτελεί τετραεδρική δομή του άνθρακα, θεωρείται κεραμικό υλικό και μάλιστα το πιο σκληρό που υπάρχει (8000 - 10000 HV). Επίσης, στην πλειοψηφία τους τα κεραμικά υλικά χαρακτηρίζονται από μικρή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα (μονωτικά υλικά).

Τα κεραμικά υλικά επίσης αποτελούνται από ενώσεις με ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς, όπως: οξειδία (π.χ. Al_2O_3), καρβίδια (π.χ. B_4C), νιτρίδια (π.χ. Si_3N_4), βορίδια (π.χ. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). Αυτά διακρίνονται για τις ιδιότητες τους όπως είναι: αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες μονωτικές ιδιότητες, ή ημιαγώγιμη συμπεριφορά με διάφορες μαγνητικές και διηλεκτρικές ιδιότητες αντίσταση στην παραμόρφωση – ευθραυστότητα και χαμηλές τιμές στις μηχανικές ιδιότητες.

Στην εποχή μας ο τομέας των υλικών αποτελεί πεδίο επιστημονικής έρευνας με έντονη δραστηριότητα. Παράλληλα επιτελείται σημαντικό έργο με στόχο την αξιοποίηση από την τεχνολογία, των ερευνητικών αποτελεσμάτων της επιστήμης των υλικών. Έτσι δραστηριοποιούνται για την εισαγωγή σε πειραματικό στάδιο, νέων υλικών σε διάφορες εφαρμογές. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό βήμα, ωστόσο η υιοθέτηση ενός υλικού από την βιομηχανία με την είσοδό του στην παραγωγή, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. όπως: η δυνατότητα προσαρμογής των διαδικασιών σχεδιασμού στις συνθήκες που διαμορφώνονται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του υλικού, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

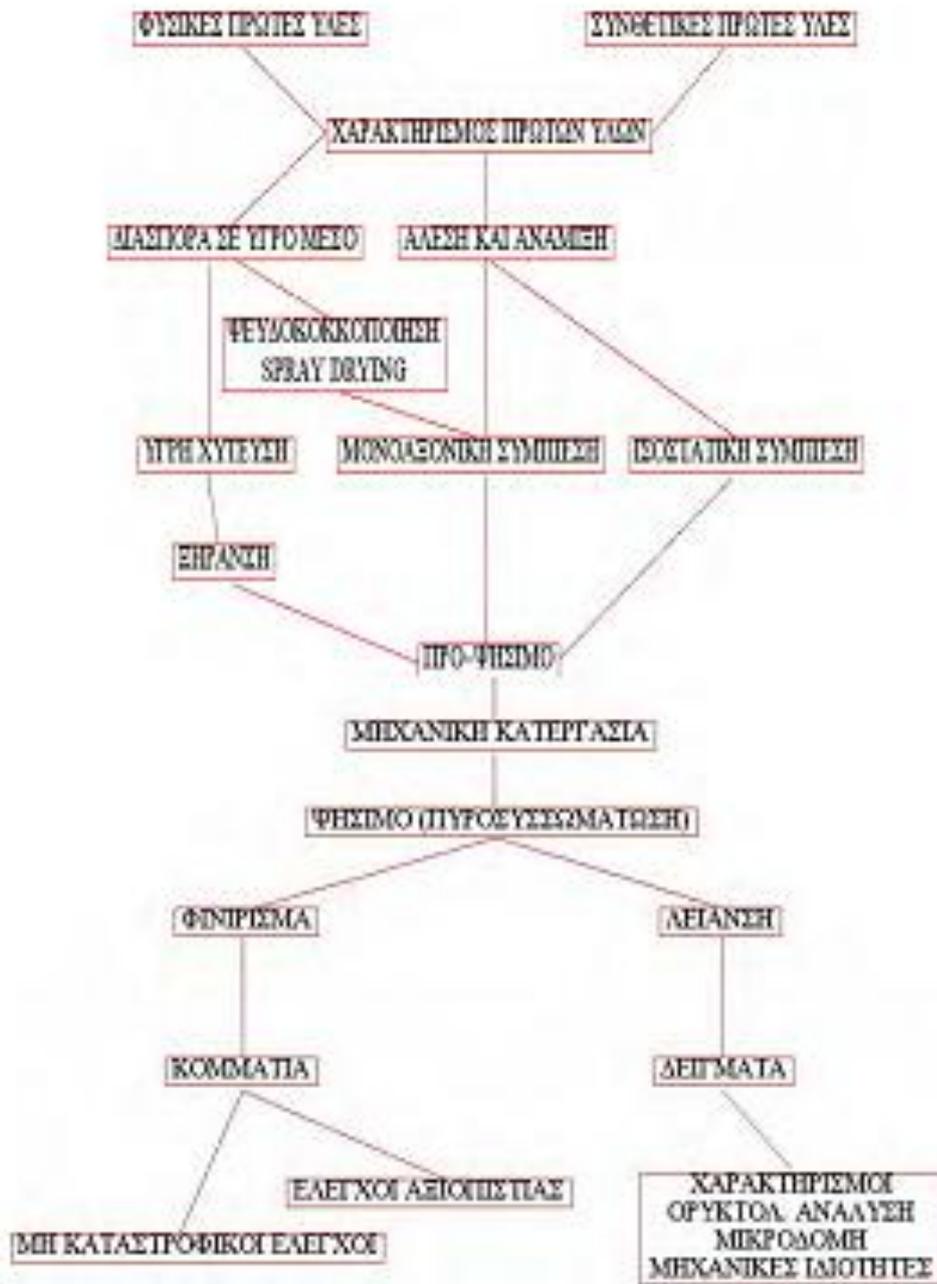
Ακόμη στην παρόν πτυχιακή στα κεραμικά υλικά η ιδιότητα τους που θα χρησιμοποιηθεί είναι η επίστρωσή τους με κεραμικές επικαλύψεις. Η υψηλή σκληρότητα, η χημική αδράνεια και η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα των κεραμικών

υλικών, καθιστούν τις κεραμικές επικαλύψεις ικανές να προστατεύσουν άλλα υλικά που αποτελούν το υπόστρωμα, από οξείδωση, διάβρωση και φθορά ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως θερμικά φράγματα.



Σχήμα : Εξέλιξη των υλικών σε σχέση με το χρόνο

ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ



7.1 Παραδοσιακά κεραμικά

Τα κεραμικά υλικά ορίζονται ως ανόργανες, μη-μεταλλικές ενώσεις και είναι από τα παλαιότερα υλικά που έχουν αναπτυχθεί από τον άνθρωπο. Γνωστά σε όλους, τα παραδοσιακά ή συμβατικά κεραμικά (πηλός, πορσελάνη, γυαλί κλπ) χρησιμοποιούνται σε διάφορες μορφές από την αρχαιότητα έως και την σύγχρονη εποχή. Το κυριότερο χαρακτηριστικό τους, η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και οι γενικά πυρίμαχες ιδιότητές τους αποτέλεσαν το κίνητρο για την έρευνα πάνω σε αυτά και την ανάπτυξη τα τελευταία 25 χρόνια των προηγμένων κεραμικών υλικών, με στόχο την αξιοποίηση τους σε βιομηχανικές εφαρμογές

Τα παραδοσιακά κεραμικά κατασκευάζονται από πρώτες ύλες οι οποίες βρίσκονται σε αφθονία στην φύση και εξαιτίας της ευκολίας παρασκευής τους, χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές.

Είναι συνήθως υλικά με αυξημένο πορώδες και με μικτή δομή. Τα κύρια συστατικά τους είναι άργιλος, πυριτική άμμος και αργιλοπυριτικά ορυκτά. Η άργιλος προστίθεται με τη μορφή λεπτών κόκκων, με διάμετρο περίπου 1 μm . Είναι ένα μίγμα ένυδρου πυριτικού αργιλίου (Al_2O_3 , SiO_2 και H_2O), το οποίο αναμιγνύομενο με νερό, δίνει μάζα με αυξημένη πλαστικότητα, η οποία μπορεί εύκολα να μορφοποιείται, διατηρώντας το σχήμα της κατά την ξήρανση.

Η πυριτική άμμος (κόκκοι άνυδρου SiO_2), προστίθεται στην άργιλο προκαλώντας μια αύξηση στην δυστηκτικότητα, προστατεύοντας το μίγμα κατά την ξήρανση του.

Τέλος, κατά την ξήρανση προστίθενται ευτηκτικά οξείδια, τα οποία σχηματίζουν με την άργιλο και την άμμο συστατικά με χαμηλό σημείο τήξης, μειώνοντας ταυτόχρονα το πορώδες. Στο τελικό προϊόν τα οξείδια αυτά αποτελούν την υαλώδη φάση.

Συνοψίζοντας, τα παραδοσιακά κεραμικά είναι ανόργανα υλικά, είτε κρυσταλλικά είτε άμορφα (γυαλί), η δομή των οποίων στηρίζεται στη δημιουργία ενώσεων δύο ή περισσότερων στοιχείων με ιοντικό ή και ομοιοπολικό δεσμό και οι ιδιότητές τους είναι :

υψηλό σημείο τήξεως (πυριμαχικότητα) ,μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στη φθορά-τριβή ευθραυστότητα μεγάλη αντοχή σε θλίψη αντοχή στην οξειδωση-διάβρωση μικρή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα

Κεραμικό	Εφαρμογές
Γυαλί (με βάση το SiO₂)	Τζάμια, είδη κουζίνας, επισμαλτώσεις, εφυσάλωματα, κ.λπ. Πήλινα αγγεία, τούβλα, αποχετευτικοί αγωγοί, πιατικά
Πηλός, άργιλος, (π.χ. καολίνης Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O)	Οικοδομικά υλικά, σκυρόδεμα
Τσιμέντο, CaO · Al₂O₃ · SiO₂	
Πυρίμαχα (MgO, CaO, SiO₂)	Πυρότουβλα, καλούπια, χωνευτήρια
Πορσελάνη	Πιάτα, βάζα, διακοσμητικά είδη, οδοντιατρικά υλικά, ηλεκτροτεχνικά υλικά

Πινάκας : βασικών συστατικών στα περισσότερα παραδοσιακά κεραμικά και εφαρμογές

7.2 Σύνθετα κεραμικά υλικά

Τα προηγμένα κεραμικά υλικά είναι υλικά που δημιουργήθηκαν λόγω της έντονης ερευνητικής δραστηριότητας και της τεχνολογικής ανάπτυξης στο χώρο των ανόργανων μη μεταλλικών υλικών αλλά και των αυξημένων απαιτήσεων για υλικά με ειδικές προδιαγραφές που δημιουργήθηκαν με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών.

Τα υλικά αυτά είναι στην πλειοψηφία τους κρυσταλλικής μορφής ενώσεις μεταλλικών και μη μεταλλικών στοιχείων. Παραδείγματα προηγμένων κεραμικών υλικών είναι τα οξείδια, νιτρίδια και καρβίδια στοιχείων όπως πυρίτιο, αλουμίνιο, τιτάνιο και ζιρκόνιο με σημαντικότερα και πιο διαδεδομένα το οξείδιο και το καρβίδιο του πυριτίου (Si_2O_3 , SiC), το οξείδιο του αλουμινίου ή αλούμινα (M_2O_3), το οξείδιο του ζιρκονίου ή ζιρκόνια (ZrO_2) και άλλα.

Τα προηγμένα κεραμικά υλικά συνδυάζουν εξαιρετικές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες. Έτσι εμφανίζουν σε σχέση με τα μέταλλα και τα πολυμερή πολύ καλύτερες ιδιότητες όπως υψηλό σημείο τήξης (άρα και όριο θερμοκρασίας λειτουργίας), χαμηλή πυκνότητα, υψηλή αντοχή, δυσκαμψία, σκληρότητα, ανθεκτικότητα σε φθορά και διάβρωση, χαμηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα και χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. Αρκετά από αυτά παρουσιάζουν και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως μαγνητικές και πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες ενώ άλλα είναι υπεραγώγιμα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Βέβαια, ακριβώς αυτές οι επιδόσεις των προηγμένων κεραμικών απαιτούν πολύπλοκες μεθόδους χημικής επεξεργασίας που καθιστούν ιδιαίτερα δαπανηρή την παραγωγή τους.

Παρά τα πολλά τους πλεονεκτήματα τα κεραμικά υλικά παρουσιάζουν ένα αρκετά μειονεκτικό χαρακτηριστικό, την ψαθυρότητα. Σε αντίθεση με τα μέταλλα, λόγω χάρη, τα οποία διαθέτουν εσωτερικούς μηχανισμούς απορρόφησης ενέργειας (πλαστικότητα) τα κεραμικά έχουν ελάχιστη ανοχή στη βλάβη (ρωγμές, ατέλειες ή κενά που μπορεί να υπάρχουν εκ παραγωγής) με αποτέλεσμα να είναι εντελώς ακατάλληλα για χρήση σε περιβάλλον υψηλών θερμομηχανικών φορτίων. Το γεγονός ότι τα κεραμικά υλικά αποκλείστηκαν από πολλές εφαρμογές για τις οποίες οι υπόλοιπες ιδιότητες τους τα καθιστούσαν ιδιαίτερα ελκυστικά, οδήγησε στην ανάπτυξη των σύνθετων κεραμικών υλικών.

Αρκετά πριν την εξέλιξη των συνθέτων κεραμικών υλικών ήταν ήδη γνωστές οι εξαιρετικές ιδιότητες των συνεχών κεραμικών ινών όπως η υψηλή αντοχή στη θραύση και το υψηλό μέτρο ελαστικότητας σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Συνεπώς η προσπάθεια επικεντρώθηκε στην επίτευξη της ενσωμάτωσης των ινών αυτών σε κεραμική φάση. Όταν αυτό έγινε δυνατό το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία υλικών που συνδύαζαν τις άριστες θερμομηχανικές ιδιότητες των κεραμικών με την εγγενή αντοχή στη βλάβη των συνθέτων υλικών με ενίσχυση συνεχών ινών.

Η αυξημένη αντοχή στη βλάβη των συνθέτων υλικών με ενίσχυση συνεχών ινών οφείλεται στην ικανότητα της ανακατανομής των επιβαλλόμενων φορτίων στις ίνες, με αποτέλεσμα την ανοχή στην ύπαρξη ρωγμών και ατελειών στο υλικό της μήτρας (που συχνά υπάρχουν εκ παραγωγής).

Πέρα από το χαρακτηριστικό αυτό τα σύνθετα υλικά διαθέτουν σε αντίθεση με τα μονοφασικά υλικά μηχανισμούς σε επίπεδο μικροδομής που επιτρέπουν την απορρόφηση της ενέργειας παραμόρφωσης και συντελούν στην αυξημένη δυσθραυστότητα. Επιγραμματικά αναφέρονται η αποκόλληση της διεπιφάνειας ίνας-μήτρας, η εκτροπή των ρωγμών στα όρια της διεπιφάνειας αυτής, η εξόλκευση των ινών καθώς και η ίδια η θραύση των ινών. Με απλά λόγια ένα σύνθετο υλικό με ενίσχυση συνεχών υλικών θα οδηγηθεί σταδιακά στην τελική αστοχία η οποία θα επέλθει όταν οι εναπομένουσες (μη θραυσμένες) ίνες δεν είναι ικανές να φέρουν το συνολικό φορτίο που επιβάλλεται. Έως του σημείου τελικής αστοχίας οι προαναφερόμενοι μηχανισμοί βλάβης που απορροφούν ποσά της προδιδόμενης ενέργειας και η ανακατανομή των φορτίων στις ίνες εξασφαλίζουν την συνέχεια της λειτουργίας του στοιχείου

Τεχνικά κεραμικά καρβίδια (WC, TiC, SiC, B₄C) νιτρίδια (TiN, Si₃N₄, BN) οξειδία (Al₂O₃, ZrO₂)	Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στη φθορά-τριβή. Κατασκευή εργαλείων κοπής, εδράνων, τριβέων, παξιμαδιών, ακροφυσίων, εξαρτημάτων μηχανών εσωτερικής καύσης, αεριοστροβίλων, κ.λπ. οξυνιτρίδια (Si-Al-O-N)
--	--

Ηλεκτροκεραμικά - Al₂O₃, ZnO, BaTiO₃, PbZrO₃	Ηλεκτρομονωτικές ιδιότητες, πιεζοηλεκτρικό και σιδηροηλεκτρικό φαινόμενο. Κατασκευή μονωτήρων (μπουζί), αισθητήρων. Al ₂ O ₃ , ZrO ₂
---	--

Μαγνητικά κεραμικά Fe₃O₄, NiFe₂O₄	Μαγνητικές ιδιότητες. Κατασκευή μαγνητών, πυρήνων, κ.λπ.
--	--

Υπεραγώγιμα κεραμικά YBa₂Cu₃O₇, Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀	Μηδενική αντίσταση σε θερμοκρασία υγρού αζώτου. Κατασκευή συρμάτων, πηνίων, ηλεκτρογεννητριών, αισθητήρων, αιωρούμενων μαγνητικά τρένων, κ.λπ.
--	--

Καταλύτες Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, 2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂	Προσροφητικές ιδιότητες, καταλυτικές ιδιότητες. Χρήση στη χημική και πετροχημική βιομηχανία, καταλύτες αυτοκινήτων.
--	---

Βιοκεραμικά Υδροξυαπατίτης Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂	Συμβατότητα με τον ανθρώπινο οργανισμό (βιοσυμβατότητα). Ιατρικές
---	---

Πίνακας : Βασικών συστατικών στα σύνθετα κεραμικά κεραμικά και εφαρμογές

7.3 Ατομικοί δεσμοί και μικροδομή

Η τάση των περισσοτέρων στοιχείων να μοιράζονται τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής τους στοιβάδας, δημιουργεί τους μοριακούς δεσμούς. Τα περισσότερα στοιχεία στη φύση, δεν έχουν συμπληρωμένη την εξωτερική τους στοιβάδα. Έτσι, αντιδρούν με άλλα άτομα δίνοντας ή παίρνοντας ηλεκτρόνια με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργήσουν σταθερές και πλήρεις εξωτερικές στοιβάδες. Οι ατομικοί δεσμοί διακρίνονται σε μεταλλικούς, ιοντικούς ή ετεροπολικούς και οι ομοιοπολικούς.

Μεταλλικός δεσμός είναι ο δεσπόςων μηχανισμός δημιουργίας δεσμών για τα μέταλλα, όπως ξεκάθαρα φαίνεται από το όνομα. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας μοιράζονται ελεύθερα μεταξύ όλων των ατόμων που μετέχουν στο σχηματισμό του δεσμού. Η αμοιβαία ηλεκτροστατική απώθηση των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων, διατηρεί ομοιόμορφη την κατανομή τους στον χώρο του πλέγματος. Έτσι κάθε στιγμή, οποιοδήποτε άτομο έχει αρκετά ηλεκτρόνια συσσωρευμένα γύρω του, ώστε να ικανοποιεί την ανάγκη για συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα. Η αμοιβαία έλξη των πυρήνων μέσα στο νέφος των ηλεκτρονίων έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη του μεταλλικού δεσμού. Εξαιτίας της ομοιόμορφης κατανομής των ηλεκτρονίων και του ότι στα καθαρά μέταλλα όλα τα άτομα έχουν το ίδιο μέγεθος, έχουμε τη δημιουργία μιας κλειστής κρυσταλλικής δομής.

Ιοντικός ή ετεροπολικός δεσμός δημιουργείται μεταξύ μετάλλων και αμέταλλων, όπου ένα άτομο δίνει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια και ένα άλλο άτομο

προσλαμβάνει αυτά τα ηλεκτρόνια έτσι ώστε να επιτευχθεί ουδετερότητα και πλήρης εξωτερική στοιβάδα. Λόγω της ισχυρής έλξης των αντίθετα φορτισμένων στοιχείων, οι ιοντικοί δεσμοί δημιουργούν ισχυρές κρυσταλλικές δομές, είτε κυβικές, είτε εξαγωνικές.

Ομοιοπολικός δεσμός δημιουργείται όταν δύο ή περισσότερα άτομα (αμέταλλα) μοιράζονται ηλεκτρόνια, ούτως ώστε να σχηματίσουν πλήρη και σταθερή εξωτερική στοιβάδα. Κάθε ομοιοπολικός δεσμός αποτελείται από ένα ζεύγος ηλεκτρονίων που μοιράζονται μεταξύ δύο πρωτονίων το οποίο δημιουργεί ένα είδος ευθυγράμμισης στο δεσμό.

Τα κεραμικά υλικά είναι προϊόν ομοιοπολικών, ετεροπολικών ή συνηθέστερα μικτών δεσμών. Χαρακτηριστικοί αντιπρόσωποι ομοιοπολικού δεσμού είναι το καρβίδιο του πυριτίου SiC, το διαμάντι (C), ενώ χαρακτηριστικές ετεροπολικές ενώσεις είναι η αλουμίνα Al₂O₃ και η ζirkονία ZrO₂.

Τα προηγμένα κεραμικά έχουν κυρίως κρυσταλλική δομή και αναπτύσσουν πολύ ισχυρές ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των ατόμων, γεγονός που τους προσδίδει εξαιρετική σταθερότητα. Τα παραδοσιακά κεραμικά εμφανίζουν μικτή δομή, δηλαδή παρατηρείται εσωτερικά κρυσταλλικός ιστός ο οποίος περιβάλλεται από άμορφο υλικό, το οποίο παίζει το ρόλο του συνδετικού.

Η δομή των κεραμικών παρουσιάζει συχνά ατέλειες όπως διαταραχές, μικρορωγμές ή πορώδες. Ιδιαίτερα συνηθισμένο φαινόμενο είναι το αυξημένο ποσοστό του πορώδους της τάξης του 20%. Οι ατέλειες επηρεάζουν την αντοχή του κεραμικού και είναι οι κύριοι λόγοι που μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχία. Οι σύγχρονες παρασκευαστικές τεχνικές σκοπεύουν στην μείωση των ατελειών δίνοντας κεραμικά υψηλής μηχανικής αντοχής, συγκρίσιμης μ'αυτήν των μετάλλων.

Η πλειονότητα των κεραμικών αποτελείται συνήθως από περισσότερες από μία φάσεις. Η φύση και η κατανομή των φάσεων αυτών, ασκούν μεγάλη επιρροή στις ιδιότητες καθώς επίσης και στις παράμετρους κατεργασίας για την παρασκευή τους. Επομένως, η μελέτη της κατανομής των φάσεων, μέσω των διαγραμάτων ισορροπίας, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Το διάγραμμα ισορροπίας φάσεων είναι μια γραφική απεικόνιση δεδομένων τα οποία δίνουν μια σειρά από σημαντικές

πληροφορίες για ένα μίγμα, όπως : την θερμοκρασία τήξης για κάθε μίγμα, την αλληλεπίδραση δύο μιγμάτων στην δημιουργία ενός τρίτου, την ύπαρξη και το ποσοστό της υγρής φάσης, την επίδραση της θερμοκρασίας στο ποσοστό της υγρής φάσης, την θερμοκρασία όπου ένα μίγμα μεταπίπτει από μία φάση σε άλλη, το ποσό και την σύνθεση υγρής και στερεής φάσης σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, την παρουσία, σε υψηλές θερμοκρασίες, αμιγών υλικών (υλικά που δεν αναμειγνύονται το ένα με το άλλο) κ.λπ.

Τα διαγράμματα ισορροπίας των φάσεων είναι μονομερή, διμερή ή τριμερή. Ιδιαίτερα τα διμερή και τριμερή διαγράμματα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες και μπορεί να αποδειχθούν ιδιαίτερα πολύπλοκα. Γι' αυτό δημιουργήθηκε η ανάγκη για τρισδιάστατη απεικόνιση, με τρεις μεταβλητές, πίεση p , θερμοκρασία T και κ.β. % σύσταση. Η κατασκευή των διαγραμμάτων ισορροπίας βασίζεται πάνω στον νόμο των φάσεων, ο οποίος παρουσιάστηκε το 1874 από τον J. Willard Gibbs και παρέχει την παρακάτω εξίσωση:

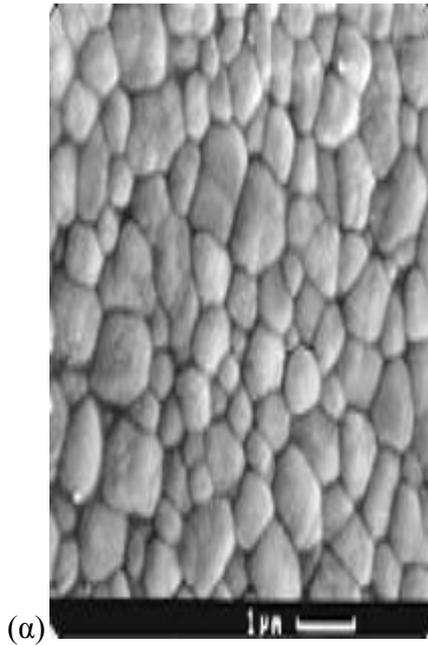
$$P + V = C + 2$$

P = ο αριθμός των φάσεων του διαγράμματος,

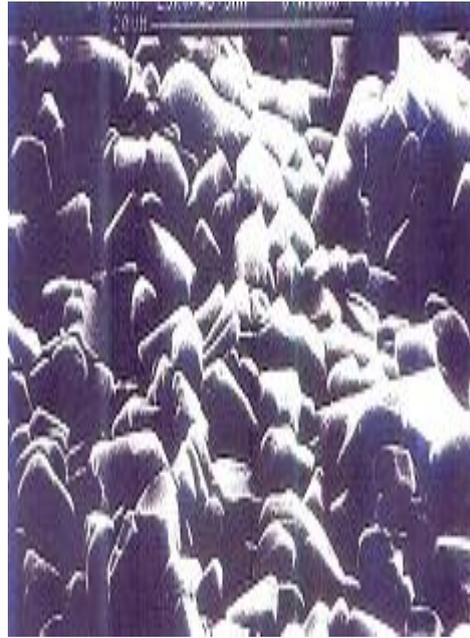
V ή F = ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας

C = ο αριθμός των συστατικών.]

Ο νόμος των φάσεων προέρχεται από την θερμοδυναμική και καθορίζει επακριβώς τις συνθήκες ισορροπίας.



(α)



(β)

Εικόνες : (α) μικροδομή ζιργκονίας και (β) μικροδομή αλουμίνας

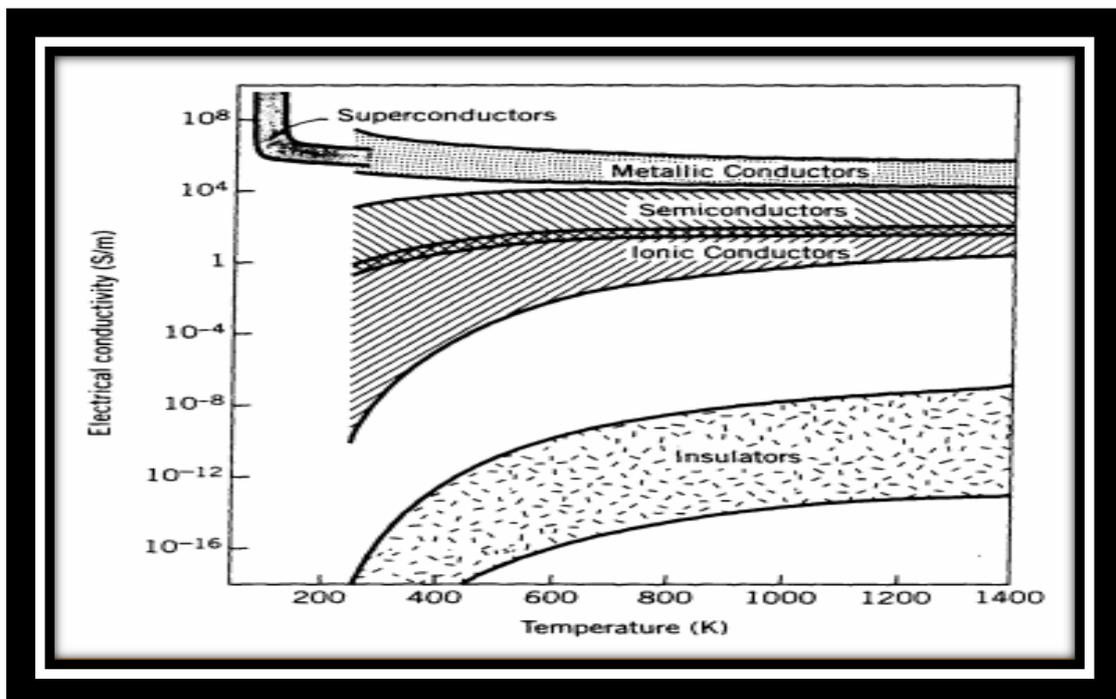
7.4 Φυσικές ιδιότητες κεραμικών υλικών

- **Πυκνότητα**

Η πυκνότητα (ρ) ενός υλικού είναι το μέτρο της μάζας προς τον όγκο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες έννοιες όπως, κρυσταλλογραφική πυκνότητα, θεωρητική πυκνότητα κ.λ.π. Η πυκνότητα των κεραμικών υλικών ποικίλει αρκετά και εξαρτάται από τα ατομικά βάρη των συστατικών τους. Για παράδειγμα το καρβίδιο του βολφραμίου (WC) έχει πυκνότητα $15,7\text{g/cm}^3$, η αλουμίνα Al_2O_3 $3,99\text{g/cm}^3$, ενώ ο γραφίτης έχει $2,27\text{g/cm}^3$.

- **Ηλεκτρικές ιδιότητες**

Τόσο τα ιοντικά όσο και τα ομοιοπολικά κεραμικά δεν έχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια σθένους, γεγονός που τα καθιστά, γενικά, κακούς αγωγούς της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Υπάρχουν όμως και κάποιες εξαιρέσεις. Για παράδειγμα τα καρβίδια, τα νιτρίδια και τα βαρίδια των στοιχείων W, V, Nb, Cr, Co, είναι καλοί αγωγοί. Επίσης, υλικά όπως Si, Ge, SiC κλπ, παρουσιάζουν ημιαγωγιμότητα, όπου έχουμε μεταπήδηση ηλεκτρονίων μεταξύ διαφορετικών σταθμών ενέργειας. Τα κεραμικά, λόγω της ηλεκτρομαγνητικής τους συμπεριφοράς, βρίσκουν εφαρμογή σε συσκευές όπως κεραίες, μαγνήτες, μαγνητικές μνήμες H/Y, μετασχηματιστές, πυκνωτές, ηλιακοί συσσωρευτές, κλπ.



Σχήμα : Οι ηλεκτρικές τους ιδιότητες

- **Διηλεκτρικές ιδιότητες**

Τα κεραμικά που είναι καλοί μονωτές αναφέρονται σαν διηλεκτρικά υλικά. Αν και τα υλικά αυτά δεν άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν βρεθούν μέσα σε

ηλεκτρικό πεδίο υφίστανται μια ελαφρά αλλαγή στην ισορροπία της φόρτισης τους, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό δίπολο. Αυτή η ιδιότητα τα καθιστά εξαιρετικά υλικά στην χρήση τους ως πυκνωτές, για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

- **Πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες**

Σε κάποια υλικά, οι μονοκρυσταλλοί είναι δυνατόν να παρουσιάσουν πόλωση, υπό την επίδραση φορτίου. Η μία πλευρά του κρυστάλλου έλκει ένα αρνητικά φορτισμένο ιόν, ενώ η άλλη ένα θετικά φορτισμένο ιόν. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πιεζοηλεκτρικότητα. Η παραπάνω ιδιότητα έχει εξαπλώσει την χρήση των πιεζοηλεκτρικών κεραμικών ως μετατροπείς σε υπερηχητικές συσκευές, μικρόφωνα, επιταχυνσιόμετρα, συσκευές σόναρ, κ.α.

- **Μαγνητικές ιδιότητες**

Οι μαγνητικές ιδιότητες των κεραμικών είναι γνωστές εδώ και αιώνες, όμως η φύση και η πηγή του μαγνητισμού δεν μπορούσε να εξηγηθεί. Πιο πρόσφατες μελέτες έδειξαν, ότι τα οξείδια κάποιων στοιχείων έχουν ισχυρές μαγνητικές ιδιότητες, υψηλή ηλεκτρική αντίσταση και χαμηλές απώλειες. Αυτές οι ιδιότητες έδωσαν στα κεραμικά ένα σημαντικό προβάδισμα έναντι των μετάλλων, ιδιαίτερα σε συσκευές υψηλής συχνότητας. Η χρήση τους σε εφαρμογές όπως μονάδες μνήμης σε υπολογιστές, κεφαλές σε μαγνητόφωνα και μικροκυκλώματα σε τηλεοράσεις, τρανζίστορ, μικροκύματα και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, είναι πλέον συνήθεις.

- **Οπτικές ιδιότητες**

Οι οπτικές ιδιότητες ενός υλικού περιλαμβάνουν την απορρόφηση, την διαφάνεια, την διάθλαση, το χρώμα και το φωσφορισμό. Αυτές οι ιδιότητες καθορίζονται βασικά από την επίδραση μεταξύ της επικείμενης μαγνητικής ακτινοβολίας και των ηλεκτρονίων εντός του υλικού. Η επικείμενη

ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία έχει ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων και μήκων κύματος, μπορεί να διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο κάνοντας το να μετακινηθεί από το αρχικό του ενεργειακό επίπεδο σε ένα διαφορετικό επίπεδο. Κάθε υλικό αντιδρά με διαφορετικό τρόπο σε κάθε μήκος κύματος. Ο βαθμός απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξαρτάται από το είδος του χημικού δεσμού και την διαθεσιμότητα ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα κεραμικά υλικά μπορούν να εγκλωβίζουν ορισμένα μήκη κύματος της ακτινοβολίας και να είναι διαφανή μόνο σε ένα μικρό εύρος αυτών. Έτσι βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή ως φακοί, πρίσματα, φίλτρα καθώς και ως οθόνες παλογράφων και τηλεοράσεων, λυχνίες φωτοτυπικών συσκευών κ. α.

7.5 Θερμικές ιδιότητες

Λόγω της σταθερότητας των ιοντικών και ομοιοπολικών δεσμών, τα κεραμικά εμφανίζουν υψηλά σημεία τήξης, υψηλότερα από των μετάλλων. Η θερμοχωρητικότητα c ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να αυξήσει την θερμοκρασία ενός υλικού κατά ένα βαθμό. Σαν μέγεθος είναι ανεξάρτητη από την κρυσταλλική δομή ή την σύνθεση του υλικού, αλλά εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό του πορώδους. Συνεπώς, υλικά με ελάχιστο πορώδες απαιτούν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από περισσότερο πορώδη υλικά, για την ίδια θερμοκρασιακή αύξηση.

Η θερμική αγωγιμότητα k είναι ο ρυθμός ροής της θερμότητας στο εσωτερικό ενός υλικού. Στα κεραμικά υλικά συναντάμε ένα μεγάλο εύρος των τιμών της. Υψηλές τιμές θερμικής αγωγιμότητας απαντώνται σε υλικά που αποτελούνται από στοιχεία με παρόμοια ατομικά βάρη (π.χ. SiC, BeO, B₄C) ή από ένα στοιχείο (διαμάντι ή γραφίτης). Υλικά όπως UO₂ ή ThO₂ με μεγάλες διαφορές στο μέγεθος και στα ατομικά βάρη των ανιόντων και των κατιόντων, εμφανίζουν μικρή θερμική αγωγιμότητα, καθώς επίσης και στοιχεία που βρίσκονται σε στερεή κατάσταση. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την αγωγιμότητα είναι οι ακαθαρσίες, το

πορώδες, οι μικρορωγμές, η μη κρυσταλλικότητα, τα όρια και το μέγεθος των κόκκων.

Η θερμική διαστολή ορίζεται ως η μεταβολή που συμβαίνει στις διαστάσεις ενός υλικού εξαιτίας της μεταβολής της θερμοκρασίας. Οι μεταβολές αυτές μετρώνται μέσω του συντελεστή γραμμικής θερμικής διαστολής α . Τα κεραμικά με υψηλό βαθμό ιοντικού δεσμού, έχουν θερμική διαστολή παρόμοια με των μετάλλων, δηλαδή η συνολική θερμική διαστολή του μορίου ισούται με το άθροισμα των επιμέρους θερμικών διαστολών των ατόμων. Όσο οι δυνάμεις των δεσμών αυξάνουν και όσο το ποσοστό των ομοιοπολικών δεσμών αυξάνει, τόσο η θερμική διαστολή μειώνεται. Οι κρυσταλλικές δομές με κυβική συμμετρία έχουν ομοιόμορφη θερμική διαστολή κατά μήκος των τριών αξόνων και αναφέρονται σαν ισοτροπικές. Οι μονοκρυσταλλοί ή οι μη κυβικές δομές έχουν ανομοιόμορφη θερμική διαστολή και ονομάζονται ανισοτροπικές

7.6 Μηχανικές ιδιότητες

7.6 .1 Σκληρότητα και ελαστικότητα

Τα κεραμικά υλικά, κατά κανόνα, διαθέτουν ισχυρούς δεσμούς, άρα έχουν μεγάλη σκληρότητα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη του μεγέθους της ανηγμένης σκληρότητας, η οποία ορίζεται ως ο λόγος της σκληρότητας H , προς το μέτρο ελαστικότητας E . Τα κεραμικά υλικά έχουν πολύ μεγάλες τιμές σε σύγκριση με αυτές των μετάλλων. Αυτό οφείλεται στην φύση των δεσμών τους, οι οποίοι δεν επιτρέπουν σε μεγάλο βαθμό την κίνηση των διαταραχών μέσα στην μάζα του υλικού. Επίσης, οι ισχυροί δεσμοί και η πολυκρυσταλλικότητα πολλών κεραμικών είναι η αιτία για το ότι τα μέτρα ελαστικότητας τους είναι ιδιαίτερα υψηλά. Η ύπαρξη πορώδους μέσα στη δομή του υλικού επηρεάζει αρνητικά την ελαστικότητα.

Η σχέση του MacKenzie μας δίνει την εξάρτηση του μέτρου ελαστικότητας από το ποσοστό P του πορώδους :

$$E = E_0 (1 - 1,9P + 0,9P^2)$$

Έχει παρατηρηθεί, επίσης, ότι το μέτρο ελαστικότητας των κεραμικών διατηρείται σχεδόν σταθερό σε υψηλές θερμοκρασίες, που σημαίνει ότι συνιστάται η χρήση τους ως εξαρτήματα που πρόκειται να λειτουργήσουν σε αυτές τις θερμοκρασίες.

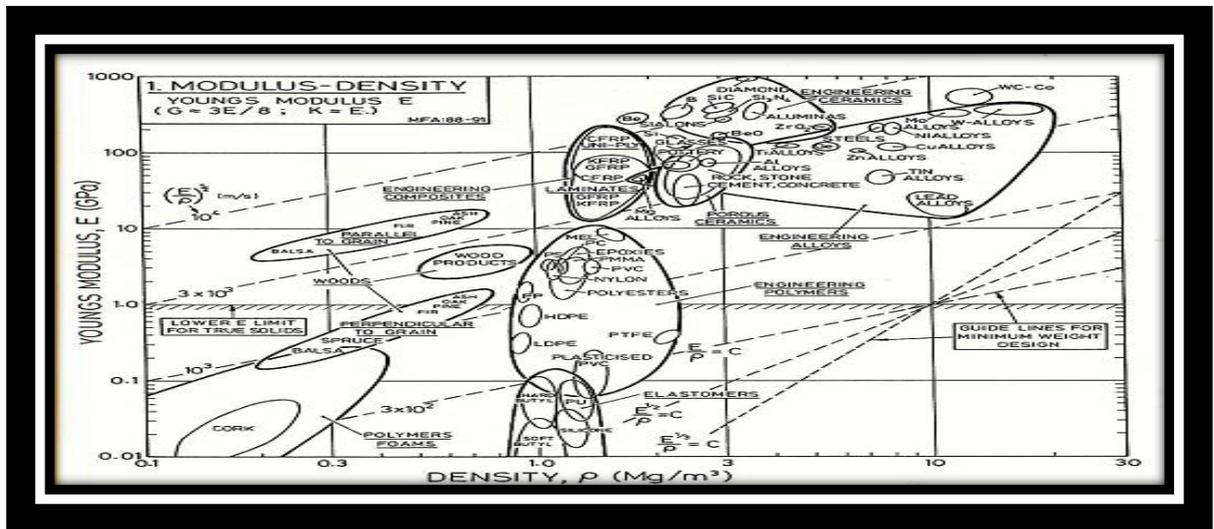
7.6 .2 Αντοχή & στιβαρότητα

Οι ισχυροί δεσμοί που υπάρχουν στα κεραμικά, τους προσδίδουν μεγάλη στιβαρότητα. Όμως, εξαιτίας τις δυσκολίας μετακίνησης των διαταραχών μέσα στη δομή του υλικού, παρουσιάζουν μεγάλη ευθραυστότητα. Η αντοχή των κεραμικών σε σχέση με αυτή των μετάλλων, είναι αρκετά μικρότερη για θερμοκρασίες έως 800°C, όμως έχουν την τάση να διατηρούν την αντοχή τους σε αρκετά ικανοποιητικές τιμές για ένα εύρος θερμοκρασιών από 0 - 1400.

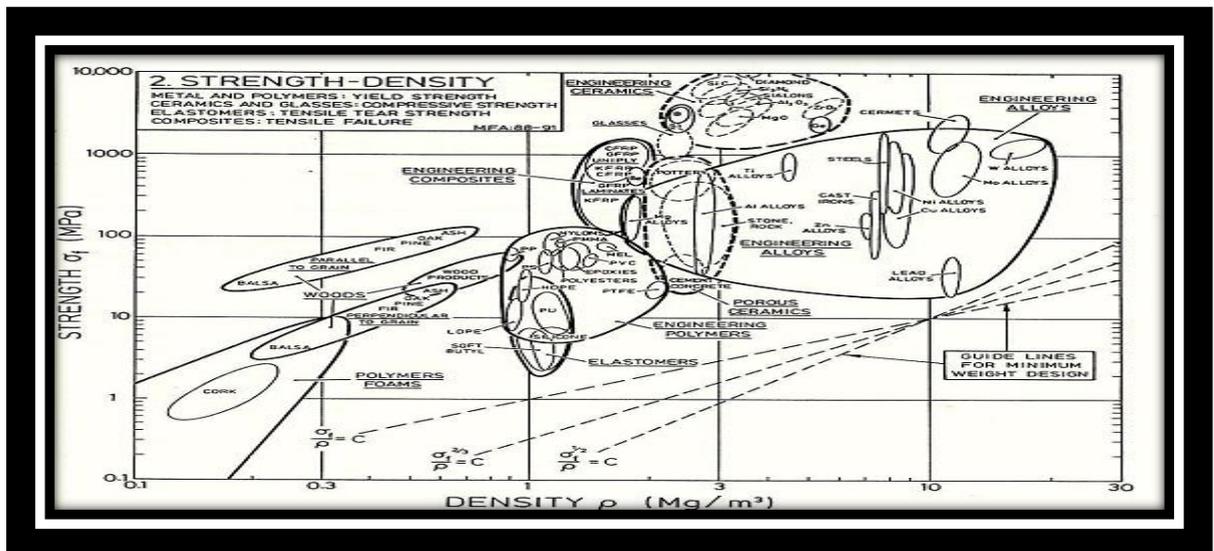
Επίσης η αντοχή τους σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρότερη από την αντοχή τους σε θλίψη. Αυτό εξηγείται ως εξής : κατά τον εφελκυσμό, η αστοχία του υλικού επέρχεται από την ταχύτατη διάδοση της μεγαλύτερης ρωγμής, της οποίας η διεύθυνση είναι κάθετη στη διεύθυνση εφελκυσμού, ενώ στη θλίψη οι ρωγμές διαδίδονται αργά και σταθερά μέχρι τον σχηματισμό μιας ζώνης θραύσης. Οι ρωγμές που είναι κάθετες στην διεύθυνση θλίψης, κλείνουν. Το αυξημένο πορώδες, οι μικρορωγμές ή οι ακαθαρσίες που συνήθως υπάρχουν στα κεραμικά υλικά επιδρούν αρνητικά στην αντοχή τους σε θραύση.

. Επίσης, στα κεραμικά δεν έχουμε ύπαρξη πλαστικής περιοχής, γεγονός που καθιστά την διαδικασία θραύσης απρόβλεπτη. Έτσι, το όριο θραύσης είναι δύσκολο να υπολογισθεί, γι'αυτό θεωρείται σκόπιμος ένας έλεγχος της αρτιότητας τους μετά από κάθε χρήση.

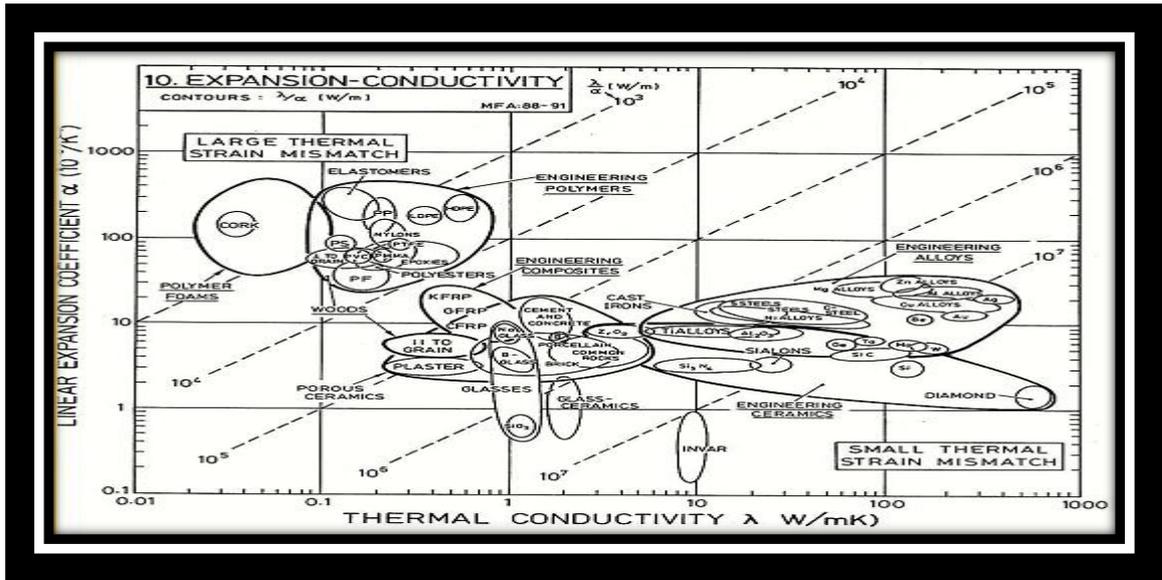
7.7 Σχήματα ιδιοτήτων των υλικών



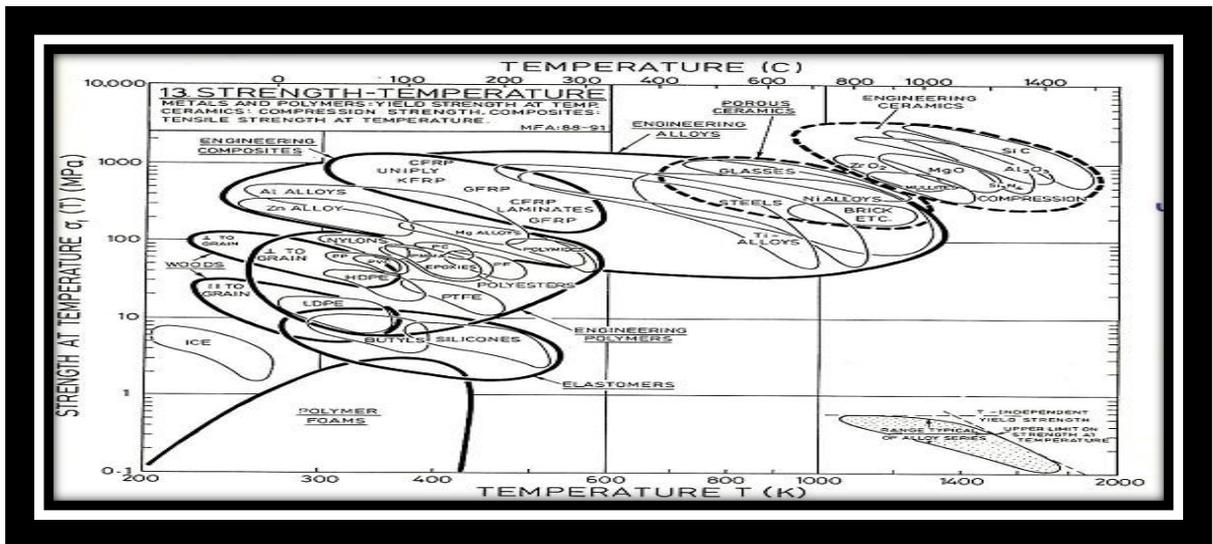
Σχήμα 1: Ελαστικότητα – πυκνότητα



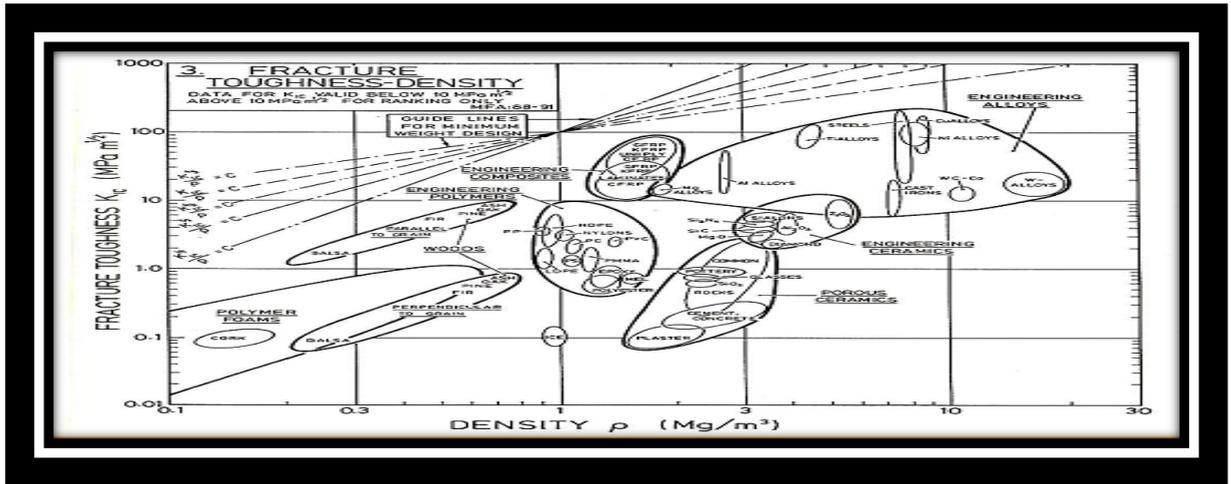
Σχήμα 2 : Μηχανική αντοχή - πυκνότητα



Σχήμα 3 : Θερμικής διαστολής – θερμική αγωγιμότητα



Σχήμα 4 : μηχανική αντοχής – θερμοκρασίας χρήσης



Σχήμα 5 : δυσθραυστοτητα - πυκνότητα

Σύντομος σχολιασμός γραφημάτων

Σχήμα 1 για ελαφριά και δύσκαμπτα μηχανήματα πρέπει να έχουν λόγο E/ρ υψηλό

Σχήμα 2 ελαφρια εξαρτήματα υψηλής αντοχής πρέπει να έχουν λόγο σ_f/ρ υψηλό

Σχήμα 3 για χαμηλή θερμική στρέβλωση πρέπει να έχουν λόγο λ/a χαμηλό

Σχήμα 4 για εξαρτήματα υψηλών θερμοκρασιών

Σχήμα 5 ελαφριά δυσθραυστα εξαρτήματα πρέπει να έχουν λόγο K_{Ic}/ρ υψηλό

7.8 Μερικές εφαρμογές κεραμικών υλικών

Οι εφαρμογές των κεραμικών υλικών σε μηχανές εσωτερικής καύσεως αποτελούν πεδίο έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος τα τελευταία 15-20 χρόνια. Η χρήση υλικών με υψηλή μηχανική αντοχή, πυριμαχικότητα και αντοχή σε θερμικούς αιφνιδιασμούς, όπως νιτρίδιο του πυριτίου, καρβίδιο του πυριτίου και ζirkονία, επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας και συνεπώς βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμων, ενώ παράλληλα προκύπτει ένας αριθμός από δευτερογενή οφέλη λόγω της αντικατάστασης μετάλλων με κεραμικά υλικά (μείωση βάρους, αντικατάσταση μεταλλικών υπερκραμάτων κ.λπ.). Τέλος, η υψηλή θερμική αντοχή και οι θερμομονωτικές ιδιότητες των κεραμικών μπορούν - τουλάχιστον θεωρητικά - να οδηγήσουν σε πλήρη εξάλειψη των ψυκτικών συστημάτων. Οι εφαρμογές σε στροβιλοκινητήρες περιλαμβάνουν τόσο ακίνητα μέρη (βάνες, δαχτυλίδια, σώματα καυστήρων) όσο και κινητά (ρότορες και αναγεννητικούς δίσκους).

Πάντως, τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται ένας σκεπτικισμός σχετικά με τον απαιτούμενο χρονικό ορίζοντα για διείσδυση των κεραμικών στην αγορά των θερμικών μηχανών, το αναμενόμενο μέγεθος της αγοράς και τα τεχνολογικά οφέλη που θα επιτευχθούν. Στις αρχές της δεκαετίας του 80 υπήρχε μεγάλη αισιοδοξία ότι τα τεχνικά προβλήματα θα επιλύονταν σύντομα και ότι οι θερμικές μηχανές θα είχαν εμπλουτιστεί με αρκετά κεραμικά εξαρτήματα μέχρι το τέλος της δεκαετίας. Σύντομα, όμως, φάνηκε ότι η πρόοδος ήταν κατώτερη των προσδοκιών και ότι η επίλυση μερικών σημαντικών τεχνικών προβλημάτων καθυστερούσε με συνέπεια την επιβράδυνση του ρυθμού διείσδυσης των κεραμικών στην αγορά των θερμικών μηχανών.

- Κοπτικά εργαλεία

Μια από τις πρώτες εμπορικές εφαρμογές σε μαζική κλίμακα των προηγμένων κεραμικών ήταν στον τομέα της κοπής και της μορφοποίησης μετάλλων. Η σκληρότητα, η πυριμαχικότητα και η χημική αντοχή των κεραμικών υλικών, είναι κυρίως οι ιδιότητες που εξασφαλίζουν αυξημένη παραγωγικότητα κατά την κατεργασία με κεραμικά κοπτικά εργαλεία μειώνοντας την τριβή και επιτρέποντας την ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών εφαρμογής. Ακόμη επιτρέπουν

υψηλότερες ταχύτητες κοπής και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Παραδοσιακά τα κεραμικά κοπτικά εργαλεία ήταν βασισμένα στην αλουμίνα, αλλά τελευταία έχουν αναπτυχθεί συστήματα βασισμένα στο νιτρίδιο του πυριτίου, στα βίδιΟNe και σε αλουμίνα ενισχυμένη είτε με whiskers από καρβίδιο του πυριτίου ή καρβίδιο του τιτανίου, είτε με κόκκους βοριδίου του τιτανίου. Αυτά τα εργαλεία έχουν βελτιώσει σημαντικά την παραγωγικότητα στην κατεργασία χυτοσιδήρων και υπερκραμάτων με βάση το νικέλιο.

- Αντιτριβικές εφαρμογές

Οι σημαντικότερες ιδιότητες των προηγμένων δομικών κεραμικών που τα καθιστούν κατάλληλα για αντιτριβικές εφαρμογές είναι η αντοχή τους στη φθορά και τη διάβρωση και η σκληρότητά τους. Οι εφαρμογές αυτές υπήρξαν μεταξύ των πρώτων και ήδη τα κεραμικά αντιτριβικά εξαρτήματα (στόμια αμμοβολών, στεγανωτικά αντλιών, οδηγοί νημάτων) είναι καλά καθιερωμένα στην αγορά. Κεραμικά από αλουμίνα έχουν αντικαταστήσει τα πολυμερή και τα μέταλλα σε μηχανές κοπής χαρτιού υψηλής ταχύτητας εδώ και 15 χρόνια. Τα τελευταία χρόνια η ζιρκονία κερδίζει έδαφος έναντι της αλουμίνας λόγω της υψηλότερης δυσθραυστότητας και της μεγαλύτερης αντοχής σε θερμικούς αιφνιδιασμούς. Κεραμικά από αλουμίνα χρησιμοποιούνται επίσης εδώ και πολύ καιρό σαν εξαρτήματα αντλιών (στεγνωτικές έδρες, χιτώνια, έμβολα κλπ.), ενώ μόλις πρόσφατα έχει αρχίσει η εφαρμογή του καρβιδίου του πυριτίου.

Τα κεραμικά υλικά βρίσκουν επίσης εφαρμογές λόγω των αντιτριβικών τους ιδιοτήτων στις μεταλλευτικές βιομηχανίες. Οι περισσότερες απ' αυτές τις εφαρμογές (π.χ. χιτώνια σωλήνων, κυκλώνες, αντλίες και βαλβίδες) έχουν να κάνουν με τη λειοτρίβηση και μεταφορά πολύ διαβρωτικών ρευστών. Το κύριο πλεονέκτημά τους έναντι των αντίστοιχων μεταλλικών εξαρτημάτων είναι ο πολύ μεγαλύτερος χρόνος ζωής με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους συντήρησης. Πέραν όμως αυτών υπάρχουν πάρα πολλές δυνατότητες εισαγωγής των κεραμικών υλικών σε αντιτριβικές εφαρμογές και αναμένεται σημαντική ανάπτυξη σ' αυτόν τον τομέα τα επόμενα χρόνια.

- Εναλλάκτες θερμότητας

Ένας σημαντικός τομέας εφαρμογής των προηγμένων κεραμικών που όμως ακόμη βρίσκεται κυρίως στο ερευνητικό στάδιο είναι αυτός της ανάκτησης και της διαχείρισης θερμότητας. Οι κεραμικοί εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες 1400 °C έναντι μόλις 1100 °C των μεταλλικών και μπορούν να αποδώσουν οικονομίες καυσίμων της τάξεως του 50 % έναντι 20 - 30 % των μεταλλικών. Η εγγενής αντοχή των κεραμικών υλικών σε χημική διάβρωση και απότριψη επιτρέπει στους κεραμικούς εναλλάκτες να λειτουργούν με καύσιμα που περιέχουν διαβρωτικά αέρια ή/και σωματίδια και παρέχει τη δυνατότητα μείωσης του κόστους της καύσης χημικών και τοξικών αποβλήτων.

- Κεραμικά φίλτρα - καταλύτες

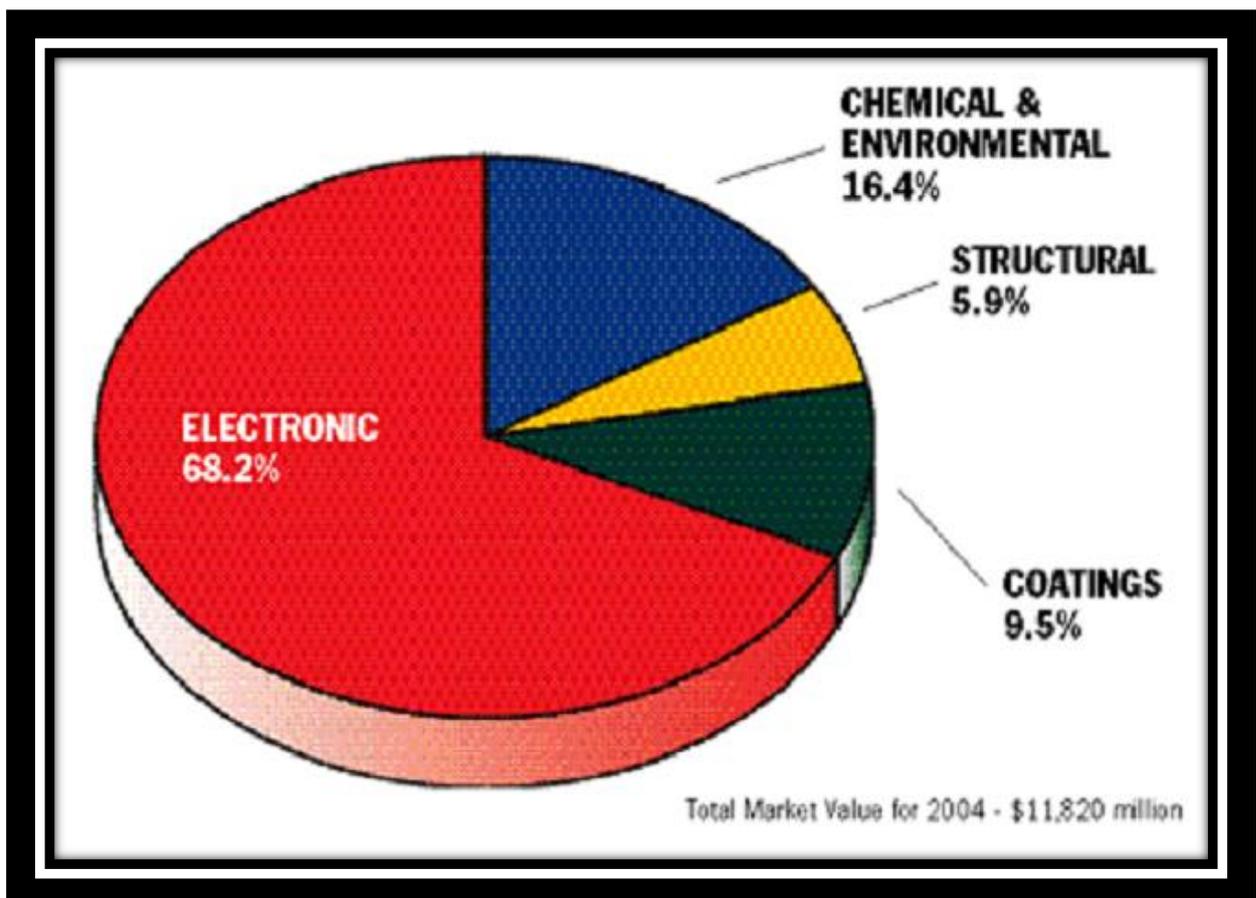
Ένας ραγδαία εξελισσόμενος χώρος εφαρμογής των προηγμένων κεραμικών είναι αυτός της κατάλυσης και των φίλτρων. Τυπικό παράδειγμα εφαρμογής των κεραμικών στο χώρο είναι ο καταλυτικός μετατροπέας των αυτοκινήτων ο οποίος αποτελείται από μια κεραμική βάση κυψελοειδούς δομής η οποία επικαλύπτεται από μια κεραμική επίστρωση (φορέας) μεγάλης ειδικής επιφάνειας που φέρει τα καταλυτικά μέταλλα. Κεραμικά υλικά με μεγάλη αντοχή στα θερμικά σοκ (π.χ. κορδιερίτης) χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του υπόβαθρου, ενώ η επίστρωση είναι συνήθως γ-αλούμινα ή ζirkονία.

Τα κεραμικά φίλτρα βρίσκουν εφαρμογές στον καθαρισμό τετηγμένων μετάλλων, στο διαχωρισμό αερίων ή στο διαχωρισμό θερμών βιομηχανικών αερίων από αιωρούμενα σωματίδια. Η αλούμινα και το καρβίδιο του πυριτίου είναι τα κεραμικά που συνήθως χρησιμοποιούνται σε αυτές τις εφαρμογές.

- Βιοκεραμικά

Μια σημαντική εφαρμογή των τεχνικών κεραμικών είναι η χρήση τους στην ιατρική ως υλικών εμφυτευμάτων για την αντικατάσταση τμημάτων του σώματος, συνήθως σκληρών ιστών (οστά ή δόντια). Τα κεραμικά που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό ονομάζονται "βιοκεραμικά" και μπορεί να είναι μονοκρυσταλλοί (σαπφείρινης), πολυκρυσταλλικά υλικά (αλούμινα ή υδροξυαπατίτης), γυαλιά, υαλοκεραμικά, ή σύνθετα υλικά (βιοϋάλωμα ενισχυμένο με ίνες από πολυαιθυλένιο - υδροξυαπατίτη).

Η χρήση των βιοκεραμικών ολοένα αυξάνει, ενώ παράλληλα διεξάγεται εντατική έρευνα στο χώρο. Δεκάδες κεραμικών συνθέσεων δοκιμάζονται στο εργαστήριο, αλλά λίγες φθάνουν σε κλινικές εφαρμογές. Η κλινική επιτυχία απαιτεί την ταυτόχρονη επίτευξη μιας σταθερής διεπιφάνειας με τον ιστό και την κατάλληλη μηχανική συμπεριφορά του εμφυτεύματος.



Σχήμα : Κατανομή αγοράς κεραμικών υλικών

Βιβλιογραφία

1. Μη μεταλλικά υλικά : ξύλο - κεραμικά - πολυμερή βοηθητικοί πίνακες / Παν. Βασιλείου, Α. Ανδρεόπουλος
2. Υλικά : ξύλο, κεραμικά, πολυμερή, μέταλλα / Παναγιώτα Βασιλείου, Ανδρέας Ανδρεόπουλος
3. Α. Γ. Μάμαλης, Κατεργασιών των υλικών

Δημοσιεύσεις

1. A. Moropoulou , A. Bakolasb and K. Bisbikou Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic technologies
2. D.F. Dauw Dr. ir.a, C.A. Brown Dr.b, J.P. van Griethuysen Dr. Ing.c and J.F.L.M. Albert Dr. ir. Surface Topography Investigations by Fractal Analysisnext term of Spark-Eroded, Electrically Conductive
3. Yahong LiangCorresponding Author Contact Information, Sourin P. Dutta Application trend in advanced ceramic technologies
4. V. Cannilloa, L. Espositob, E. Rambaldib, A. Solaa and A. Tucc Microstructural and mechanical changes by chemical ageing of glazed ceramicnext term surfaces

Ιστοσελίδες

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/>
2. <http://iopscience.iop.org>
3. <http://www.cereco.gr>
4. http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/B1_Keramika_1.pdf

8 Το τιτάνιο και τα Οξειδία του

Το τιτάνιο ανακαλύφθηκε το 1791 από το William Gregor ,ο οποίος ήταν ένας ερασιτέχνης χημικός ο οποίος εξέτασε μια ποσότητα άμμου από το τοπικό ποτάμι και με την χρήση ενός μαγνήτη απέσπασε ένα μαύρο υλικό (το ιλμενίτη) από το οποίο απομάκρυνε τον σίδηρο με επεξεργασία με υδροχλωρικό οξύ. Το υπόλειμμα το οποίο διαλυόταν με δυσκολία σε πυκνό θειικό οξύ, ήταν το ακάθαρτο οξείδιο ενός καινούργιου στοιχείου .

Ο Gregor προχώρησε στην ανακάλυψη των αντιδράσεων οι οποίες αποτέλεσαν την βάση για την παραγωγή αυτού του νέου στερεού το οποίο ονομάστηκε διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2). Τέσσερα χρόνια αργότερα ο Γερμανός χημικός M. H. Klaproth εργαζόμενος ανεξάρτητα ανακάλυψε το ίδιο οξείδιο σε ένα δείγμα μεταλλεύματος σήμερα γνωστό σαν ρουτίλιο (rutile) και ονόμασε το μέταλλο του οξειδίου τιτάνιο. Η ιδέα αυτή προήλθε από την ελληνική μυθολογία όπου οι Τιτάνες ήταν τα παιδιά του Ουρανού και της Γής τα οποία καταδικάστηκαν να ζουν αιώνια στα έγκατα της γης.

Δείγματα τιτανίου, περιορισμένης καθαρότητας παρασκευάστηκαν από τον Σουηδό J. J. Berzelius το 1825 ενώ δείγματα υψηλής καθαρότητας παρασκευάστηκαν πολύ αργότερα. Η αναγωγή του $TiCl_4$ παρουσία Na από τον Αμερικανό M. A. Hunter το 1910 οδήγησε στην παρασκευή μετάλλου υψηλής καθαρότητας.

Το τιτάνιο ανήκει στην IVB ομάδα του περιοδικού συστήματος (2° από τα μέταλλα μεταπτώσεως) και συναντάται σε ποσοστό 0.63% στα γεωλογικά πετρώματα. Από τα μέταλλα μεταπτώσεως, αυτό μαζί με τον Fe και το Mn είναι αυτά που απαντώνται συχνότερα. Το ότι για το τιτάνιο στο παρελθόν δεν γνωρίζαμε αρκετά πράγματα σχετικά με την χημεία του οφειλόταν μάλλον στο γεγονός των τεραστίων δυσκολιών που υπήρχαν σε σχέση με την παρασκευή δειγμάτων μετάλλου υψηλής καθαρότητας. Τα δυο πιο κύρια ορυκτά του τιτανίου είναι ο ιλμενίτης και το ρουτίλιο .

Για βιώσιμες μεθόδους παραγωγής μετάλλου από ορυκτά οξείδια του θα πρέπει να υπερπηδηθούν δυο σημαντικά προβλήματα. Το πρώτο είναι ότι η αναγωγή με άνθρακα δεν είναι δυνατή λόγω του σχηματισμού ανεπιθύμητων καρβιδίων και ακόμα κατά την αναγωγή με Na, Ca ή Mg δεν απομακρύνεται όλο το O_2 . Το δεύτερο πρόβλημα έχει σχέση με την υψηλή δραστηριότητα του μετάλλου σε υψηλές

θερμοκρασίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η παρασκευή του να γίνεται απουσία αέρα για να μην μολυνθεί με O₂ .

Το 1932 ο Wilhelm Kroll κατάφερε να παράγει τιτάνιο με αναγωγή του TiCl₄ παρουσία ασβεστίου και αργότερα παρουσία μαγνησίου ή νατρίου. Το κόστος όμως αυτής της διεργασίας κατέστησε αποτρεπτική την όποια βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου. Εν τούτοις όμως επειδή το τιτάνιο έχει πολύ μικρή πυκνότητα 57% σε σχέση με το ατσάλι) και σε συνδυασμό με την πολύ καλή μηχανική του αντοχή σε σχέση με το βάρος του, είτε στην καθαρή του μορφή, είτε σαν κράμα παρουσία μικρών ποσοτήτων άλλων μετάλλων όπως Al ή Sn, η χαμηλή σε κόστος παρασκευή του, αποτέλεσε απόλυτη ανάγκη.

Στη παρασκευή με τη μέθοδο Kroll ο ιλμενίτης ή το ρουτίλιο θερμαίνεται παρουσία χλωρίου και άνθρακα :



Το παραγόμενο TiCl₄ διαχωρίζεται με απόσταξη από το FeCl₃ και από άλλες ακαθαρσίες και κατόπιν ανάγεται παρουσία Mg σε έναν ερμητικά κλεισμένο φούρνο και σε αδρανή ατμόσφαιρα Ar στους 950-1150°C.



Το MgCl₂ και οποιαδήποτε περίσσεια Mg απομακρύνεται με πλύσεις με νερό και αραιό υδροχλωρικό οξύ ή με απόσταξη. Το καθαρό τιτάνιο κατόπιν κονιορτοποιείται και καθαρίζεται με βασιλικό νερό πριν τηχθεί σε ατμόσφαιρα Ar ή υπό κενό και μορφοποιηθεί σε πλινθώματα. Η χρήση του Na έναντι του Mg απαιτεί μικρές αλλαγές στην βασική διαδικασία αλλά καταλήγει σε καθαρότερο κοκκώδες πλέον προϊόν.

Το τιτάνιο καθώς και όλα τα μέταλλα που ανήκουν σε αυτήν την ομάδα είναι καλύτεροι αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού από τα στοιχεία της ομάδας αλλά όχι πιο αγωγά υλικά σε σχέση με άλλα μέταλλα. Οι ενθαλπίες τήξης και εξάτμισης είναι επίσης αυξημένες πράγμα που οφείλεται κυρίως στο επιπλέον ηλεκτρόνιο της στοιβάδας το οποίο προκαλεί έναν ισχυρότερο μεταλλικό δεσμό.

Οι μηχανικές ιδιότητες του μετάλλου επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία άλλων στοιχείων όπως O, N και C τα οποία έχουν σαν αποτέλεσμα να

αυξάνουν την ψαθυρότητα του μετάλλου. Αν θερμανθούν σε υψηλές θερμοκρασίες αντιδρούν ακαριαία με μη μεταλλικά στοιχεία όπως Ο, Η και στην περίπτωση του

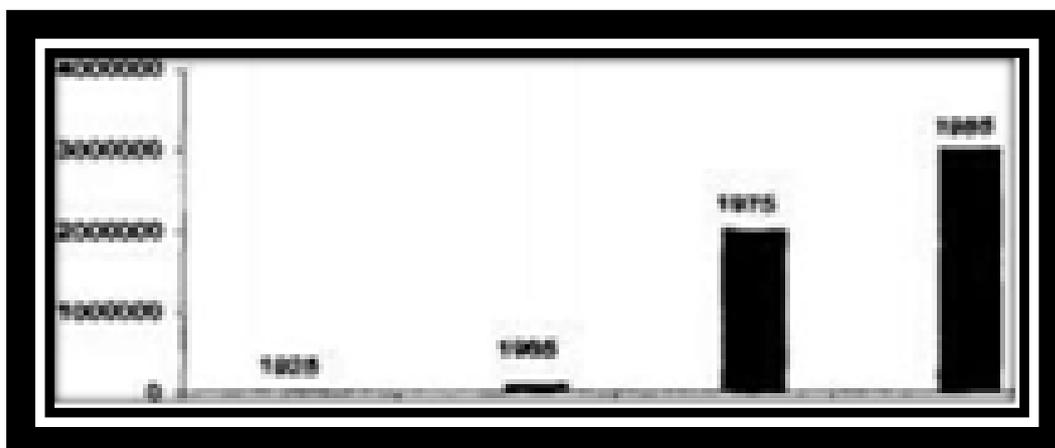
Ίσως το πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό είναι η αντίσταση του στην διάβρωση η οποία οφείλεται στον σχηματισμό ενός πυκνού υμενίου οξειδίου στην εξωτερική επιφάνεια του μετάλλου το οποίο δρα προστατευτικά. Η παρουσία οξειδωτικών μέσων όπως του νιτρικού οξέος συχνά ελαττώνει την δραστικότητα των μετάλλων αφού ενθαρρύνει τον σχηματισμό του προστατευτικού υμενίου του οξειδίου.

Χρησιμοποιείται κυρίως στις βιομηχανίες αεροσκαφών για την παραγωγή αεροκινητήρων αλλά και κομματιών της ατράκτου καθώς επίσης για τον εξοπλισμό σκαφών θαλάσσης πέρα από την ευρεία χρήση του στην χημική βιομηχανία. Η παγκόσμια παραγωγή του σήμερα αγγίζει τους 10^5 τόνους /χρόνο (45000 τόνους μόνο στην Αμερική) και η μέθοδος Kroll ακόμα κυριαρχεί όσον αφορά τον τρόπο παρασκευής του.

8.1 Τιτανία

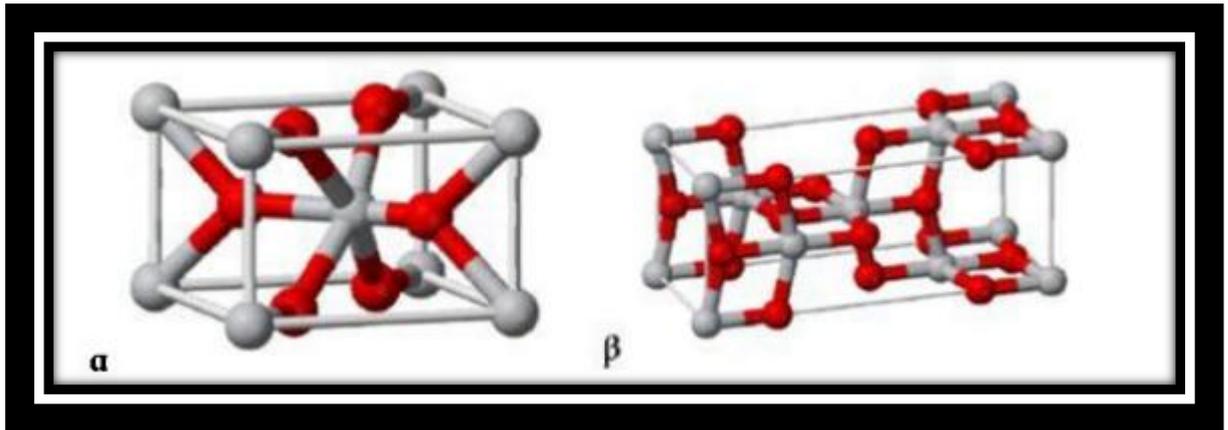
Κατά την τελευταία δεκαετία, η αντιμετώπιση των προβλημάτων φθοράς εστιάστηκε στην ανάπτυξη σκληρών υμενίων τα οποία προσφέρουν υψηλή αντιτριβική προστασία. Σε βιομηχανική κλίμακα, τεράστια εφαρμογή βρίσκει η δημιουργία λεπτών επιστρωμάτων οξειδίου του τιτανίου (τιτανίας).

Η τιτανία ή αλλιώς το διοξείδιο του τιτανίου με χημικό ορισμό (TiO_2) είναι μία σκόνη λευκού χρώματος, χημικώς αδρανής, μη τοξική και φιλική προς το περιβάλλον, εύκολα παρασκευάσιμη σε μεγάλες ποσότητες και μάλιστα με χαμηλό κόστος. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν τη τιτανία έναν από τους πιο σημαντικούς από πρακτική άποψη υλικό προς εκμετάλλευση. Η κύρια χρήση της τιτανίας, και παλιότερα αλλά και τώρα, είναι ως λευκή χρωστική (πιγμέντο). Η εντυπωσιακή αύξηση της ετήσιας παγκόσμιας παραγωγής τιτανίας φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος



Σχηματική αναπαράσταση ετήσια παγκόσμια παραγωγή τιτανίας (σε τόνους). Πάνω από το μισό των ποσοτήτων αυτών χρησιμοποιείται από ης βιομηχανίες χρωμάτων

Η Τιτανία ως το φυσικό οξείδιο του Τιτανίου και συνήθως συναντάται σε τρεις κρυσταλλικές μορφές όπως το ρουτίλιο (τετραγωνική συμμετρία) και ο ανατάσης (τετραγωνική συμμετρία), (πιο κάτω σχήμα).



Σχήμα Ρουτίλιο (α) και Ανατάσης(β)

Οι φυσικές ιδιότητες της Τιτανίας παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα. Οι κρυσταλλικές φάσεις της Τιτανίας είναι μη τοξικές και αδιάλυτες στο νερό, ενώ έχουν το ίδιο σημείο τήξης και βρασμού καθότι και ο ανατάσης και ο βρουκίτης μετατρέπονται σε ρουτίλιο μετά τους 950 °C. Πέραν των αναφερθέντων στον πίνακα ιδιοτήτων, η Τιτανία χαρακτηρίζεται και από υπερυδροφιλικές και φωτοκαταλυτικές ιδιότητες.

Μοριακό Βάρος	79,87 g/mol
Πυκνότητα	4,23' - 3,84'' g/ml
Σημείο Τήξης	1850 °C
Σημείο Βρασμού	2500 °C
Διαλυτότητα στο νερό στους 20 °C	0,01 g / 100 g H ₂ O
Τοξικότητα	ΟΧΙ

Πίνακας - Φυσικά Χαρακτηριστικά TiO₂

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα που εμφανίζει είναι: υψηλή σκληρότητά τους, η πολύ καλή πρόσφυση επιστρώματος/υποστρώματος, η καλή αντοχή σε εκτριβή και σε θερμικούς αιφνιδιασμούς, ο χαμηλός συντελεστής τριβής και η καλής ποιότητας επιφάνεια των λαμβανόμενων επιστρωμάτων.

Τα σημαντικότερα των μειονεκτημάτων είναι η σχετικά χαμηλή αντοχή τους σε διάβρωση σε όξινο περιβάλλον και η σχετικά υψηλή θερμοκρασία (450 °C) στην

οποία θα πρέπει να διατηρείται το υπόστρωμα κατά την απόθεση, προκειμένου το λαμβανόμενο επίστρωμα να έχει μικροδομή κατάλληλη για αντιτριβικές εφαρμογές, γεγονός που περιορίζει το εύρος των υλικών που μπορούν να επιστρωθούν, χωρίς κίνδυνο αλλοίωσης των αρχικών τους χαρακτηριστικών.

Την τελευταία δεκαετία αναπτύσσεται μια νέα κατηγορία υμενίων με διαδοχικές στρώσεις μετάλλου/κεραμικού, τα οποία εμφανίζουν καλύτερες ιδιότητες, κυρίως οπτικές και μηχανικές, από τα υλικά που συνιστούν τις στοιχειώδεις στρώσεις. Οι μέχρι τώρα επιστημονικές έρευνες περιορίζονται στη μελέτη των λαμβανόμενων δομών, με διάφορες τεχνικές απόθεσης.

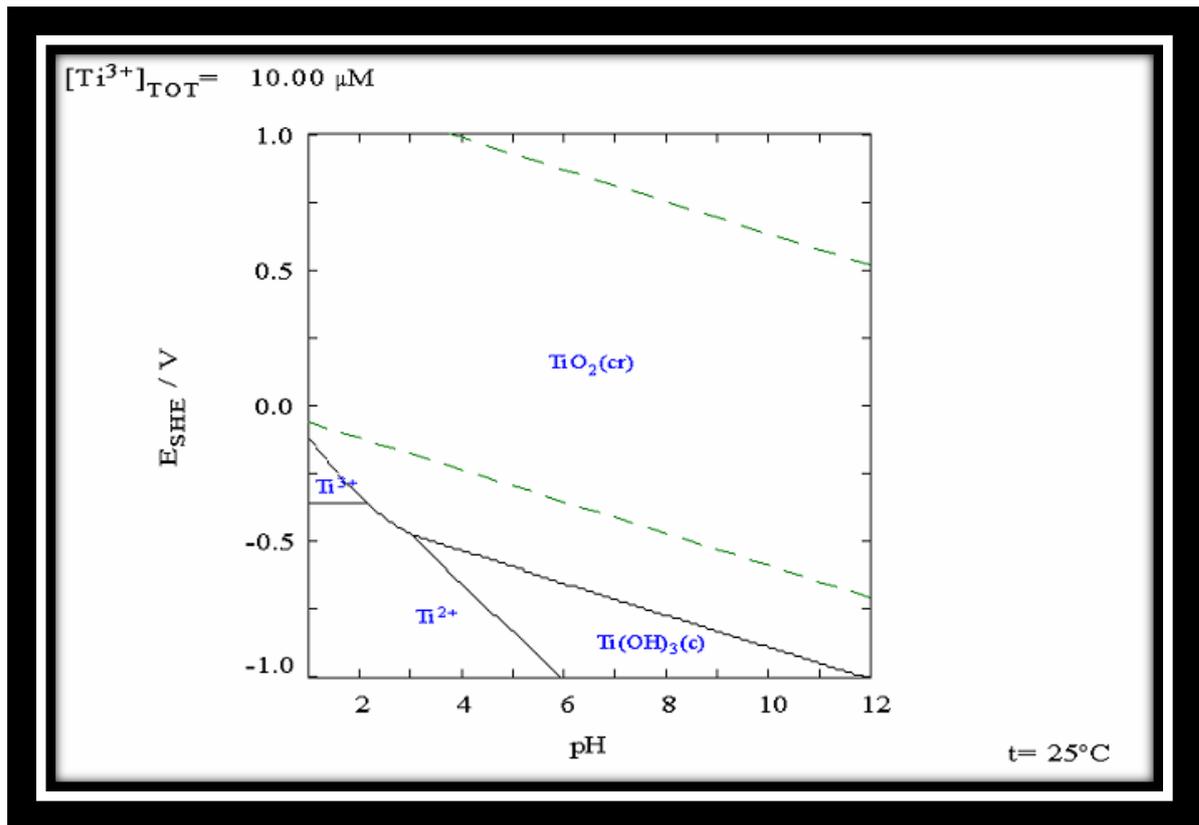
Η παρούσα εργασία αφορά τη επίδραση των συνθηκών απόθεσης, -με την τεχνική ψεκασμού με τη χρήση πλάσματος,- στη δομή πολυστρωματικών υμενίων Ti/TiN και τη επίδραση της πολυστρωματικότητας στην τριβολογική τους συμπεριφορά.

8.2 Ιδιότητες του διοξειδίου του τιτανίου

Η τιτανία είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο κατασκευαστικό υλικό σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών. Έχει μια καλή αναλογία αντοχής και βάρους, αντίσταση διάβρωσης στα οξειδωτικά μέσα, αυξανόμενη απόδοση με τη θερμοκρασία, και είναι μη - μαγνητικό. Κατέχει σημαντικό ρόλο στη βιομηχανία στη οποία είναι συχνά το λιγότερο δαπανηρό υλικό αν συγκρίνει κανείς το κόστος της κατασκευής και της συντήρησης μιας μονάδας από τιτάνιο με μία που είναι από άλλο υλικό.

Το διοξείδιο του τιτανίου λόγω της φωτεινότητας και του πολύ υψηλού δείκτη διάθλασης ($n = 2.7$) που χρησιμοποιείται ως χρωστική ουσία . Ως χρωστική ουσία χρησιμοποιείται σε διηλεκτρικούς καθρέφτες και μερικούς πολύτιμους λίθους, σε χρώματα, επιστρώσεις, πλαστικά, μελάνια, τρόφιμα, φάρμακα (δηλ. χάπια και ταμπλέτες) καθώς επίσης και στις περισσότερες οδοντόπαστες. Επίσης, συναντάτε ως άσπρος χρωματισμός τροφίμων . Το διοξείδιο του τιτανίου χρησιμοποιείται συχνά για να λευκάνει το αποβουτυρωμένο γάλα ενώ, στα καλλυντικά ως χρωστική ουσία.

Η πιο σημαντική χημική ιδιότητα της τιτανίας είναι η άριστη αντίστασή του στη διάβρωση. Είναι σχεδόν τόσο ανθεκτικό όσο ο λευκόχρυσος, αντιστέκεται στην οξείδωση από υγρά και αέρια χλωρίου, αλλά και στην οξείδωση που προκαλεί το θαλασσινό νερό. Η τιτανία δεν είναι διαλυτή στο νερό αλλά είναι διαλυτή σε συγκέντρωση οξέων. Το ακόλουθο διάγραμμα του σχήματος δείχνει ότι το τιτάνιο είναι ένα αρκετά ανενεργό και αντιδρά με εξαιρετικά αργό ρυθμό με τον αέρα και το νερό.



Σχήμα 5 Διάγραμμα αντίδρασης του τιτανίου

Μια άλλη ιδιότητα είναι η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και λειτουργεί σαν προστατευτικό στρώμα για την υπόλοιπη μάζα του υλικού απέναντι στη διάβρωση. Αυτό το στρώμα οξειδίων αδρανοποιεί το υλικό, πράγμα το οποίο οδηγεί σε μια προστασία ενάντια στην περαιτέρω διαδικασία διάβρωσης εφ' όσον διατηρείται αυτό το στρώμα. Έτσι βασικά, ο σχηματισμός λεπτών στρωμάτων αδρανοποίησης στο τιτάνιο δεν σημαίνει τη διακοπή των διαδικασιών διάβρωσης. Ακόμη παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αντοχής ως προς το βάρος του και έχει δύναμη κάμψης της τάξης μεγαλύτερη το 1000 MPa. Επίσης η τιτάνια δεν αντιδρά με το αλκάλιο και με τα περισσότερα οξέα.

Ακόμη ο συντελεστής ελαστικότητας ο οποίος αντιστοιχεί στην ακαμψία ενός υλικού και συνδέεται με τον τρόπο που αναπτύσσονται οι δυνάμεις μεταξύ των ατόμων και οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με τις αποστάσεις μεταξύ των ατόμων των στοιχείων στη κρυσταλλική δομή. Μια σύγκριση μεταξύ των δύο κρυσταλλικών δομών του

τιτανίας έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η εξαγωνική δομή μέγιστης πυκνότητας (hcp) παρουσιάζει υψηλότερες τιμές συντελεστή ελαστικότητας από την χωροκεντρομένη κυβικού πλέγματος δομή (bcc). Έτσι ενώ η τιτάνια από διάφορα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζει συντελεστές ελαστικότητας με τιμές κοντά στα 55-105 GPa,

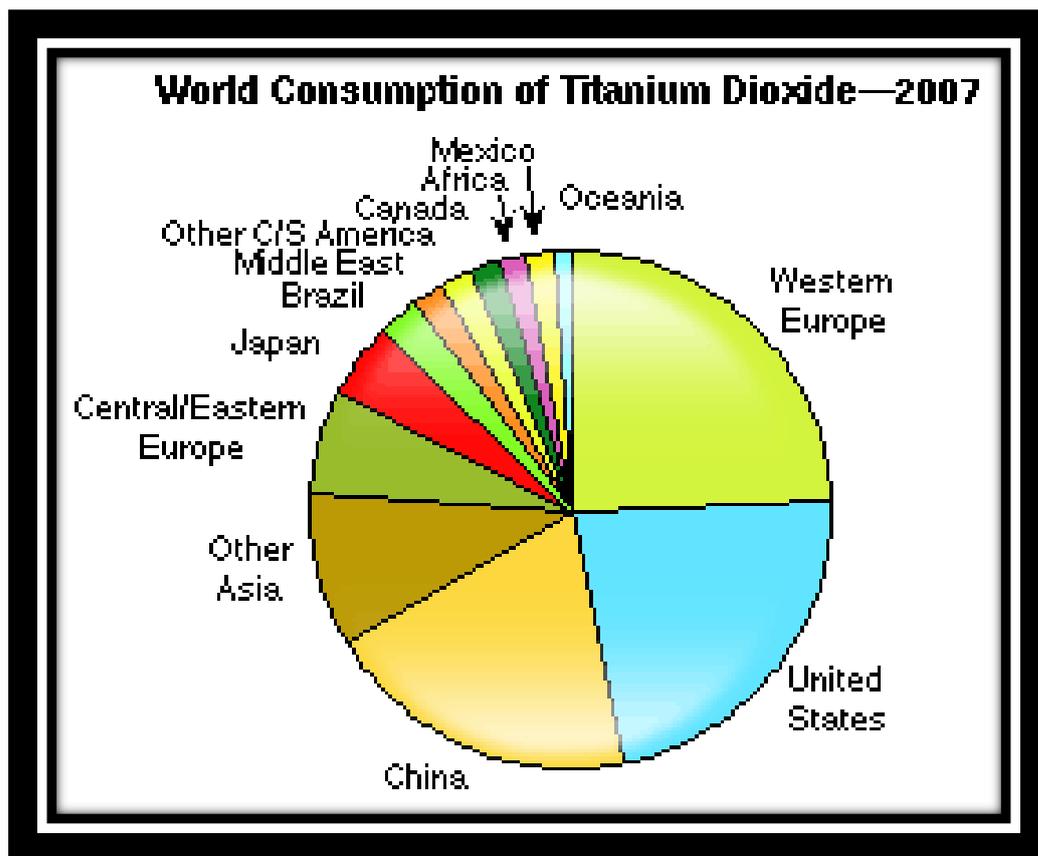
8.3 Η τιτανία στη βιομηχανία

Η τιτανία είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο κατασκευαστικό υλικό σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών. Έχει μια καλή αναλογία αντοχής και βάρους, αντίσταση διάβρωσης στα οξειδωτικά μέσα, αυξανόμενη απόδοση με τη θερμοκρασία, και είναι μη - μαγνητικό. Κατέχει σημαντικό ρόλο στη βιομηχανία η οποία σχετίζεται με τη θάλασσα, είναι απρόσβλητο στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό. Η τιτανία είναι συχνά το λιγότερο δαπανηρό υλικό αν συγκρίνει κανείς το κόστος της κατασκευής και της συντήρησης μιας μονάδας από τιτανία με μία που είναι από άλλο υλικό.

Έτσι διαπιστώνεται ότι ο αριθμός χρηστών της τιτανία σήμερα αυξάνεται σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της αεροδιαστημικής βιομηχανίας, τη βιομηχανία πετρελαίου, τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τη χημική βιομηχανία και την αυτοκινητοβιομηχανία, λόγω του συνδυασμού των ιδιοτήτων του. Χρησιμοποιείται επίσης στη ναυπηγική και στην κατασκευή αθλητικού εξοπλισμού όπως μαστούνια του γκολφ, ποδήλατα, εξοπλισμός σκι, ρακέτες τένις, ρόπαλα μπις-μπολ, μαχαίρια για καταδύσεις, ρολόγια, πλαίσια γυαλιών οράσεως, κοσμήματα, τεθωρακισμένα.

Οι μηχανικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται για να κρατήσουν δύο ή περισσότερα εξαρτήματα σε συγκεκριμένη θέση το ένα με το άλλο και αντιστέκονται σε όλες τις δυνάμεις που τείνουν να αλλάξουν τη θέση αυτή. Εκείνες οι δυνάμεις μπορούν να είναι επιμήκυνσης, στρέψης, ή διάτμησης. Δύναμη, αξιοπιστία και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης είναι λοιπόν τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των συστατικών για συνδέσμους.

Θα ήταν πιο επεξηγηματικό να εξεταστούν εφαρμογές για να γίνουν κατανοητά τα χαρακτηριστικά της τιτανία.



Σχηματική απεικόνιση παγκόσμιας ζήτησης τιτανίας παγκόσμια

- Τιτάνια στην Αυτοκινητοβιομηχανία

Η αυτοκινητοβιομηχανία μπορεί να χρησιμοποιήσει το τιτάνιο και τα κράματά του σε μια ευρεία κλίμακα, κατασκευάζοντας διάφορα εξαρτήματα. Από τιτάνια μπορούν να κατασκευαστούν εξαρτήματα και μέρη των αυτοκινήτων-μηχανής, όπως είναι τα ελατήρια των αναρτήσεων, διάφορα μέρη του σκελετού, στροφείς στο σύστημα πέδησης, ενισχύσεις στους προφυλακτήρες, σιλανσιέ, κινητήριους άξονες κ. α. Ακόμα το τιτάνιο αποδεικνύεται ως αξιόπιστο υλικό και για τα μέρη που απαρτίζουν τη μηχανή ενός αυτοκινήτου. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή τροχών σε στροβιλοσυμπιεστές, στις βαλβίδες εισαγωγής - εξαγωγής αέρα - καυσίμου, σε συνδετικές ράβδους, στις κεφαλές των εμβόλων των μηχανών, βραχίονες παλινδρόμησης, εκκεντροφόρους άξονες και σε ελατήρια βαλβίδων

- Διαδικασία Αφαλάτωσης με τη Χρήση του Τιτανίας

Η αφαλάτωση θαλασσινού νερού αποτελούσε όνειρο της ανθρωπότητας το οποίο εκπληρώθηκε το 1968 . Έτσι η διαδικασία για μια εγκατάσταση αφαλάτωσης αποτελείται από μια σειρά θαλάμων που φιλοξενούν σωλήνες εναλλακτών θερμότητας. Στην αρχή της διαδικασίας, το θαλασσινό νερό βράζεται και ο παραγόμενος ατμός περνά μέσω των σωλήνων των εναλλακτών θερμότητας στον πρώτο θάλαμο. Το κρύο θαλασσινό νερό ψεκάζεται επάνω στους καυτούς σωλήνες. Ο ατμός συμπυκνώνεται μέσα στους σωλήνες σε γλυκό νερό που συλλέγεται στις άκρες της δέσμης των σωλήνων. Συγχρόνως, μέρος του κρύου ψεκαζόμενου θαλασσινού νερού εξατμίζεται. Αυτός ο ατμός περνά μέσω των σωλήνων στον επόμενο θάλαμο, όπου η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Το πλεονέκτημα κατασκευής των σωλήνων με επίχρισμα τιτανίας είναι ότι είναι εξαιρετικά ισχυρό και η αντίσταση στην διάβρωση μπορεί να αντισταθεί στο επιθετικό νερό της θάλασσας όπως κανένα άλλο υλικό.

- Τιτάνια στη Γεωθερμία

Με βάση το κόστος και την απόδοση, το οξείδιο του τιτανίου είναι βιώσιμος υποψήφιος για τα τμήματα γεωθερμικών συστημάτων όταν οι κοινοί ανοξείδωτοι χάλυβες απέτυχαν σε αυτό το πεδίο ή επέδειξαν ελάχιστη απόδοση συγκρινόμενη με την προσδοκώμενη. Αυτό θα περιελάμβανε τον εξοπλισμό στον οποίο απαιτείται υψηλή αξιοπιστία και σχεδόν μηδενική ανοχή στην διάβρωση, κοιτώντας το από τη σκοπιά της απόδοσης, της συντήρησης, του κόστους και / ή της ασφάλειας. Το ενδιαφέρον για τη τιτάνια προωθήθηκε όταν τα επίπεδα χλωριδίου υπερέβησαν τα 5000 ppm και με τις θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 100 °C.

- Εφαρμογές στην Αεροναυπηγική

Το γεγονός ότι το τιτάνιο είναι και ελαφρύ και ισχυρό είναι αυτό που το κάνει ιδιαίτερα ελκυστικό στους κατασκευαστές αεροσκαφών. Το βάρος είναι επίσης ένας κρίσιμος παράγοντας στα εμπορικά αεροσκάφη. Κάθε κιλό που εξοικονομείται στην

κατασκευή του είναι ένα επιπλέον κιλό στο φορτίο ή στους επιβάτες που μπορεί να μεταφέρει έτσι μπορεί να επιτευχθεί αντικαθιστώντας το χάλυβα (ένα ποσοστό του) με το τιτάνια σε κάποιο εύρος του υλικού . Ακόμη όσον αφορά τις μηχανές των αεροσκαφών, η τιτάνια είναι το μέταλλο που χρησιμοποιείται περισσότερο για την παραγωγή των ελίκων και άλλων εξαρτημάτων του κινητήρακατα τα οποία αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις και θερμοκρασίες .

- Οι εφαρμογές της τιτανίας στην ιατρική

Μεταξύ των μεταλλικών υλικών, η τιτάνια θεωρείται από τα καταλληλότερα υλικά στις ιατρικές εφαρμογές επειδή ικανοποιούν τις χαρακτηριστικές απαιτήσεις καλύτερα από οποιαδήποτε άλλο υλικό. Από την μεριά των βιοϊατρικών εφαρμογών, οι ιδιότητες που απαιτούνται είναι βιοσυμβατότητα, αντοχή στη διάβρωση, καλή μηχανική συμπεριφορά, δυνατότητα επεξεργασίας και διαθεσιμότητα. Η τιτανία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σχετικά νέο υλικό της εφαρμοσμένης μηχανικής. Η αντίσταση διάβρωσης είναι μια από τις κύριες ιδιότητες ενός μεταλλικού υλικού που εφαρμόζεται στο περιβάλλον του ανθρώπινου σώματος και η επιτυχία ενός μοσχεύματος εξαρτάται από την προσεκτική εξέταση αυτού του φαινομένου αυτού .

Δημοσιεύσεις

1. R.S. Lima , B.R. Marple From APS to HVOF spraying of conventional and nanostructured titania feedstock powders: a study on the enhancement of the mechanical properties
2. Xiaobing Zhao^{a,b} , Xuanyong Liu^{c*}, Jing You^a, Zhigang Chen^a, Chuanxian Ding Bioactivity and cytocompatibility of plasma-sprayed titania coating treated by sulfuric acid treatment
3. Baoe Lia, Xuanyong Liu^{3'} , Fanhao Meng^a, Jiang Chang^b, Chuanxian Ding Preparation and antibacterial properties of plasma sprayed nano-titania/silver coatings
4. Yourong Liu^a, Traugott E. Fischera^{*}, Andrew Dent^b Comparison of HVOF and plasma-sprayed alumina/titania coatings— microstructure, mechanical properties and abrasion behavior
5. Pavel Ctibora['] , Petr Bohac^b, Martin Stranyanek^b, Radim Ctvrtlik Structure and mechanical properties of plasma sprayed coatings of titania and alumina
6. R.S. Lima ^{*}, B.R. Marple Enhanced ductility in thermally sprayed titania coating synthesized using a nanostructured feedstock
7. Yingchun Zhu , Chuanxian Ding Characterization of plasma sprayed nano-titania coatings by impedance spectroscopy
8. A. Ibrahim ^a , R.S. Lim^{a,b}, C.C. Berndt^{c,d}, B.R. Marple^b Fatigue and mechanical properties of nanostructured and conventional titania (TiO₂) thermal spray coatings
9. Process-property-performance relationships for titanium dioxide coatings engineered from nanostructured and conventional powders

10. R. Tomaszek a,b, Z. Znamirowski a, L. Pawlowski b, 9 A. Wojnakowski
Temperature behaviour of titania field emitters realized by suspension plasma spraying
11. N. Berger-Keller¹, G. Bertranda*, C. Filiatreb, C. Meunierc, C. Coddeta
Microstructure of plasma-sprayed titania coatings deposited from spray-dried powder

Ιστοσελίδες

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/>
2. <http://iopscience.iop.org>

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ

ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή

Η εξέλιξη της επιστήμης σε συνδυασμό με τις αυξημένες τεχνολογικές απαιτήσεις έχει αναδείξει την χρησιμότητα και την υπεροχή των κεραμικών υλικών. Τα υλικά αυτά, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, τείνουν να επικρατήσουν σε μια σειρά από κατασκευές και το πεδίο εφαρμογής τους εξαπλώνεται ραγδαία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει πειραματική μελέτη του ψεκασμού τις τιτανίας σε δοκίμια χάλυβα με την μέθοδο του ατμοσφαιρικός ψεκασμός πλάσματος και πως οι διάφοροι παράμετροι κατά τον ψεκασμό επιδρούν θετικά ή αρνητικά στο δοκίμιο όπου θα ψεκασθή.

Οι μετρήσεις οι οποίες θα γίνουν θα είναι με βάση τις ιδιότητες του υλικού μας τις οποίες θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε (όπως τριβή ,εφελκυσμός κ.ά.) και πως διαφοροποιούνται με βάση τις διάφορες παραμέτρους που αλλάζουν κατά την διαδικασία του ψεκασμού

Αυτά είναι τα δύο στάδια που περιλαμβάνει η εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας με σκοπό την μελέτη των ιδιοτήτων τους οι οποίες θα αποκαλυφθούν με την πειραματική διαδικασία για περαιτέρω χρησιμοποίησή τους στην βιομηχανία

9 Διαδικασία ψεκασμού

9.1 Δοκίμια

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν ειδικά δοκίμια, τα οποία είναι:

- κυλινδρικοί δίσκοι
- ελάσματα

Ο λόγος ύπαρξης διαφορετικών ειδών δοκιμίων οφείλεται στο ξεχωριστό προορισμό των δοκιμίων πειράματα μεταλλογραφία , τριβομέτρησης .

Τα κυλινδρικά δοκίμια πριν οποιαδήποτε διεργασία έχουν λάβει :

- κόψιμο από σωλήνα μεγάλου μήκους
- λείανσης στο τόρνο
- τρύπημα στο κέντρο
- κατασκευή σπειρωμάτων για στερέωση στη σχάρα εργασίας



Φωτογραφία : α) Σωλήνας μεγάλων διαστάσεων β) Στρογγυλό δοκίμιο γ) Στρογγυλό δοκίμιο με τρύπα

Τα ελάσματα πριν οποιαδήποτε διεργασία έχουν λάβει :

- κόψιμο από έλασμα μεγάλων διαστάσεων
- τρύπημα στις 2 άκρες του δοκιμίου για στερέωση στη σχάρα εργασίας



Φωτογραφία : α) έλασμα μεγάλων διαστάσεων . β) κομμένο έλασμα . γ) έλασμα με τρύπες

9.2 Προετοιμασία δοκιμίων

Κατά την προετοιμασία των δοκιμίων αποδοτικότερη και την πλέον διαδεδομένη μέθοδο καθαρισμού και προετοιμασίας προς βαφή μεταλλικών κυρίως επιφανειών είναι η αμμοβολή η οποία στηρίζεται στη βίαια προώθηση ρεύματος αποξεστικού υλικού πάνω στην επιφάνεια

Το αποξεστικά υλικό άμμο με την πρόσπτωση στην επιφάνεια απομακρύνουν τα επιστρώματα βαφής, τα προϊόντα οξειδωσης και άλλα υπολείμματα και προετοιμάζουν την επιφάνεια για βαφή.

Πριν εφαρμοσθεί η παραπάνω διαδικασία καθαρισμού , γίνεται η διαδικασία καθαρισμού στο τόρνο όπου είναι απαραίτητο, η επιφάνεια θα πρέπει να έχει απολιπανθεί, να έχουν απομακρυνθεί όλες οι τυχόν ακαθαρσίες, έτσι ώστε η επιφάνεια να έχει γίνει λεία.

Μετά τον καθαρισμό με αμμοβολή, η επιφάνεια ελευθερώνεται από την σκόνη και το πρώτο στρώμα βαφής μπορεί να επιχρίεται όσο το δυνατό πιο γρήγορα.

Σημαντικοί παράγοντες για έναν σωστό καθαρισμό και λόγοι για την αμμοβολή είναι:

- Η έγκαιρη απομάκρυνση σκόνης και ακαθαρσιών.
- Η κατάλληλη πίεση βολής.
- Τον καθαρισμό της επιφάνειας.
- Την τράχυνση των επιφανειών των ελασμάτων και δοκιμίων.
- Την απομάκρυνση των οξειδίων

Αύξηση της ελαττωματικής δομής της επιφάνειας (χαράξεις, ατέλειες)

Έτσι σύμφωνα με τα πιο πάνω διεκπεραιώνεται το τελικό στάδιο της προετοιμασίας της επιφάνειας των δοκιμίων πριν την βαφή.



Φωτογραφία : Μηχανή αμμοβολής την οποία διαθέτει το εργαστήριο καταργασιών

9.3 Σκόνη ψεκασμού

9.3.1 Σκόνη ψεκασμού

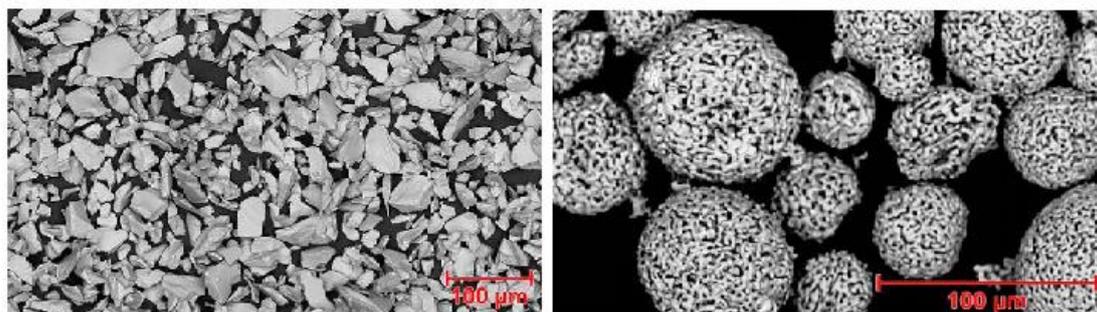
Στο πλαίσιο της υλοποίησης της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε η σκόνη SULZER METCO 6231 Titanium Oxide .

Μερικές πληροφορίες απο το κατασκευαστή

Οι επιστρώσεις οξειδίου του τιτανίου χρησιμοποιούνται για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, που περιλαμβάνουν ανθεκτική στη φθορά , ηλεκτροκαταλυτικές αγωγίμες ιδιότητες και ομαλές επιστρώσεις .

Η σκόνη Metco 6231 είναι ένα νέο, συσσωματωμένο και πορώδες υλικό το οποίο είναι ιδανικό για εναποθέσεις καθοδικής διασκόρπισης. Ως αποτέλεσμα των εξαιρετικά ελεγχόμενη επίστρωσης έχει χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση. Επιπλέον, επιστρώσεις με σχετικά υψηλότερο πορώδες μπορεί να επιτευχθεί με Metco 6231X17, ως εκ τούτου μπορεί να παράγει πάχους επιστρώσεις, χωρίς ρωγμές ή τάσεις . Στην πραγματικότητα, όταν χρησιμοποιείται το Metco 6231X17, η επίστρωση πορώδες μπορεί να ελεγχθεί για να παράγει πυκνό ή πορώδεις δομές με μικρές προσαρμογές στις παραμέτρους ψεκασμού.

Ακόμη η σκόνη έχει σφαιρική δομή για καλύτερη ροή και σημαντικά καλύτερες αποδόσεις καταθέσεων στο υλικό το επικαλύπτει .



Φωτογραφία : Φωτογραφίες απο sem για σκόνη sulzer metco 6231

Τυπικές της χρήσεις είναι επικαλύψεις για εναποθέσεις διασκόρπισης για την παραγωγή λεπτών υμενίων διοξειδίου του ,αντίσταση στη φθορά για εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία, όπως κυλίνδρους χιτώνια ,αισθητήρες οξυγόνου διακοσμητικά επιχρίσματα που έχουν σκούρο γκρι χρώμα και στην βιοϊατρική τεχνολογία εμφυτεύματα .

Πληροφορίες υλικού

Ταξινόμηση	Οξείδιο, κεραμικό, Με βάση τη Τιτάνια
Χημική σύσταση	TiO ₂ 99.0 +
Κατασκευή	Λιωμένο και θρυμματισμένο ή συσσωματωμένο και πορώδες
Μορφολογία	Γωνιακό, στερεό ή σφαιροειδής
Σκοπιμότητα	Επικαλυπτόμενο , αντοχή στη διάβρωση , ηλεκτρική αγωγή
Σημείο τήξης	1843 °C (3350 °F)
Θερμοκρασία χρήσης	< 540 °C (1000 °F)
Διαδικασία	Plasma spray ή θερμικός ψεκασμός

Χημική σύσταση

	Chemical Composition (wt. %)					
	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	All Others	x-factor
Metco 6231X17	Balance	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.5	1.7
Metco 102	Balance	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.5	1.9
Amdry 6505	Balance	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.5	1.9
Amdry 6510	Balance	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 0.5	1.9

Μέγεθος σωματιδίων και άλλα χαρακτηριστικά

	Nominal Particle Size Distribution	Color	Morphology	Manufacturing Method
Metco 6231X17	-105 +30 μm	Dark Grey to Black	Spheroidal	Agglomerated and Sintered
Metco 102	-45 +11 μm	Dark Grey	Angular / Blocky	Fused and Crushed
Amdry 6505	-45 +5 μm	Dark Grey	Angular / Blocky	Fused and Crushed
Amdry 6510	-106 +38 μm	Dark Grey	Angular / Blocky	Fused and Crushed

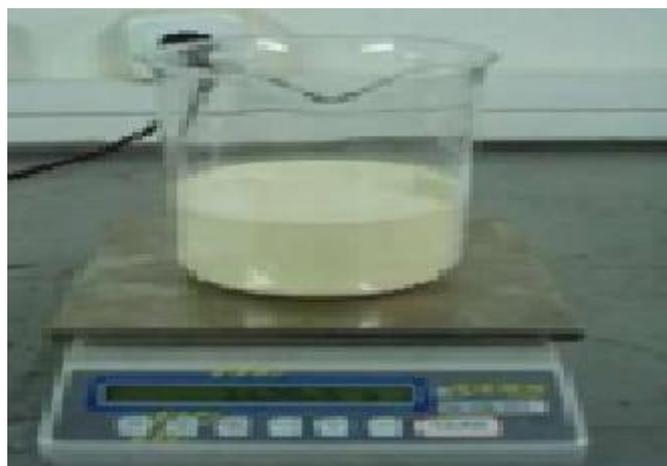
9.3.2 Προετοιμασία σκόνης

Το αρχικό στάδιο του πειράματος περιλαμβάνει την κατάλληλη προετοιμασία της σκόνης. Από το δοχείο του κατασκευαστή, την χύνουμε σε κατάλληλο πυρίμαχο δοχείο ώστε να την τοποθετήσουμε στον φούρνο. Αφού περάσει μία ώρα με τον φούρνο στους 100°C είμαστε πλέον σίγουροι ότι η σκόνη δεν περιέχει καθόλου υγρασία, η οποία επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα της επικάλυψης.



Φωτογραφία : Φούρνος στο εργαστήριο κατεργασιών που γίνεται η εφίγρανση

Μόλις την αφαιρέσουμε από τον φούρνο μετράμε την ποσότητα της σκόνης ζυγίζοντας την και έτσι ήμαστε έτοιμοι από πλευράς της σκόνης για την τοποθέτηση της στο δοχείο το οποίο τροφοδοτεί ο πλάσμα σπρέι.



Φωτογραφία : Ζύγισμα σκόνης πριν την τοποθέτηση της στο τροφοδοτικό

9.4 Παράμετροι ψεκασμού

Ο 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 χρησιμοποιήσαμε αργό και το υδρογόνο .

Η διαθέσιμη συσκευή ήταν της metco και το σύστημα περιελάμβανε

- Γεννήτρια
- Αέρια πλάσματος
- Ψυκτικό μέσο
- Δαυλός πλάσματος
- Τροφοδοτικό δοχείο σκόνης
- Μονάδα ελέγχου
- Βαλβίδες πίεσης
- Μετρητές παροχής



Φωτογραφία : Οργανολογία στο εργαστήριο για το ψεκασμό πλάσματος

Παράμετροι ψεκασμού πλάσματος.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ	
Δαυλός ψεκασμού	
Τύπος:	3MB
Ακροφύσιο:	GH
Αγωγός τροφοδοσίας:	2
Δακτύλιος ψεκασμού:	3M 275
Αέρια	
Πίεση:	Πρωτεύον αέριο, αργό (Ar): 100 psi (6.89 bars) Δευτερεύον αέριο, υδρογόνο (H ₂): 50 psi
Ροή:	Πρωτεύον αέριο, αργό (Ar): 80 Δευτερεύον αέριο, υδρογόνο (H ₂): 15
Ισχύς	
Ένταση ρεύματος τόξου:	500 (A)
Τάση τόξου:	60-70 (V)
Τροφοδοσία σκόνης	
Ροή φέροντος αερίου (Ar):	37
Ψεκασμός	
Απόσταση ψεκασμού	2-4 in (50-100 mm)
Ρυθμός ψεκασμού	6 lb/h (2.72 kg/h)
Ρυθμός κάλυψης	135 ft ² /hr/0.001" (3,14 m ² /hr/0.1 mm)
Απαιτούμενη ποσότητα κόνεως	0.043 lb/ft ² /0.001" (0.82 kg/m ² /0.1 mm)
Απόδοση απόθεσης	65%
Ρυθμός απόθεσης	3,9 lb/hr (1.77 kg/hr)

9.5 Μέτρα προστασίας

Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά την πραγματοποίηση του ψεκασμού, το υψηλό επίπεδο θορύβου και την μεγάλη ευφλεκτότητα των χρησιμοποιούμενων αερίων, η συσκευή είναι τοποθετημένη μέσα σε ειδικό ηχομονωτικό θάλαμο. Οι φιάλες των αερίων, καθώς και η μονάδα που παρέχει ισχύ στη συσκευή, για λόγους ασφαλείας βρίσκονται εκτός του θαλάμου. Ο δαυλός ψεκασμού είναι τοποθετημένος σε ρομποτικό βραχίονα, ώστε να αποφευχθεί οποιοδήποτε ατύχημα που μπορεί να προκαλέσει σοβαρά ατυχήματα.

Επιπρόσθετα, μέσα στο ειδικό ηχομονωτικό θάλαμο βρίσκεται ένας μικρότερος θάλαμος όπου πραγματοποιείται ο ψεκασμός, καθώς διαθέτει έναν απορροφητήρα και μία υδατοκουρτίνα, όπου καταλήγει ένα μεγάλο ποσοστό των ψεκασμένων σωματιδίων.

Ειδική προσοχή επιβάλλεται να δοθεί και στην προστασία του προσωπικού που χρησιμοποιεί ή παρευρίσκετε στην διαδικασία του ψεκασμού. Αυτός ο εξοπλισμός περιλαμβάνει ωτοασπίδες για την προστασία από τον υψηλό θόρυβο, ειδική προστατευτική μάσκα από τις υπεριώδεις ακτίνες και τέλος πυρίμαχα γάντια και ποδιά.



Φωτογραφία : Προστατευτικός εξοπλισμός.

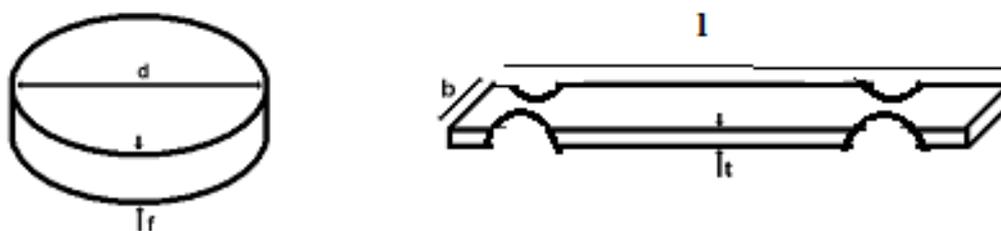
9.6 Μετρήσεις και αποτελέσματα

Σύμφωνα με τα πιο πάνω τα οποία έχουν προαναφερθεί ξεκινούμε αρχικά με τις μετρήσεις των δοκιμίων πριν από οποιαδήποτε διεργασία (βάρος ,πάχος) .Η μέτρηση αυτή λαμβάνει χώρα μετά την επεξεργασία του δοκιμίου στο τόρνο. Εντωμεταξύ παίρνουμε και αρχική μέτρηση από το βάρος της σκόνης όπου θα ψεκάσουμε

Μετά κάνουμε την διαδικασία τις αμμοβολής και παίρνουμε νέες μετρήσεις τις μεταβολής του πάχους και του βάρους των δοκιμίων μας .επειδή με κάθε διαδικασία που κάνουμε υπάρχει και κάποια μεταβολή σ' αυτά τα μεγέθη .

Τέλος αφού τοποθετήσουμε την σκόνη στο τροφοδοτικό δοχείο η οποία έχει υποστεί εφύγρανση κάνουμε το ψεκασμό στα δοκίμια μας . Ακολουθώντας αφού περιμένουμε περίπου ένα δεκαπεντάλεπτο να ψύχουν τα δοκίμια μας παίρνουμε μια καινούργια σειρά μετρήσεων του πάχους του βάρους και της τραχύτητας των ψεκασμένων μας δοκιμίων και του βάρους της σκόνης η οποία απέμεινε στο τροφοδοτικό δοχείο

Κατά τα πειράματα οι ρυθμίσεις που γίνονται είναι των κινήσεων του ρομποτικού βραχίονα (φορές των επιστρώσεων) από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή τόσο για το εύρος το κινήσεών του όσο και για τα περάσματα -πάσα- που πραγματοποιεί ανά ψεκασμό. Ακόμη ρυθμίζεται έτσι ώστε το πρώτο πέραςμα πάνω από τα δοκίμια να πραγματοποιηθεί χωρίς να ψεκάζεται σκόνη. Ο λόγο γίνεται ώστε να προθερμανθούν τα δοκίμια τόσο για να απομακρυνθεί η υγρασία όσο να ελαχιστοποιηθεί ο θερμικός αιφνιδιασμός που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της απόθεσης.



Σχήμα : Μετρούμενες διαστάσεις στα δοκίμια

Πίνακες μετρήσεων

Πείραμα 1

Στρογγυλά δοκίμια

A/A	πάχος αρχικό(mm)	βάρος αρχικό(kg)	αμμοβολή πάχος(mm)	αμμοβολή βάρος(kg)
1	6,7	98,8	6,71	98,9
2	6,72	96,4	6,72	96,6
3	6,5	99,1	6,52	99,2
4	6,7	95,8	6,71	95,8
5	6,67	96,6	6,69	96,8
6	6,17	88,1	6,18	88,3

A/A	βάρος(kg)	Μετά το ψεκασμό			
		πάχος(mm)	Ra (μm)	Rq (μm)	Rt (μm)
1	102,6	7,21	5,2	6,6	35
2	99	7,13	5	6,16	46
3	101,3	7,18	5	6,4	39
4	98,2	6,7	5,2	6,2	35
5	98,1	6,7	4,8	6	30
6	89,9	6,2	4,8	6,2	37

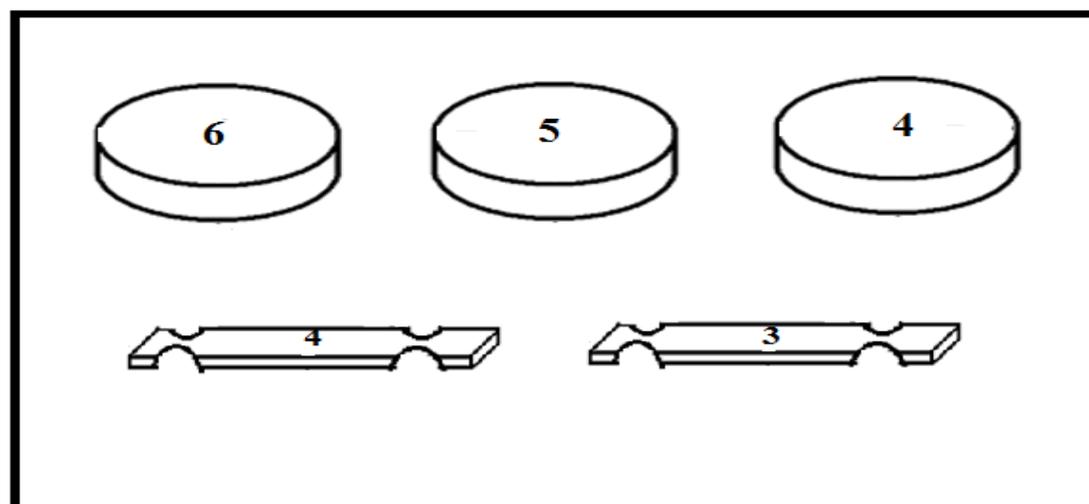
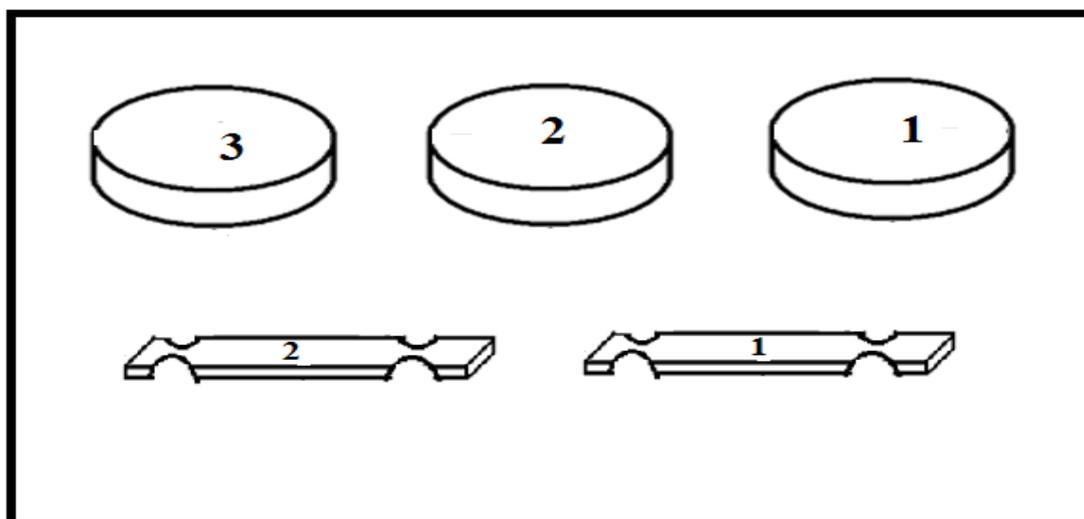
Λάμες

A/A	πάχος αρχικό(mm)	βάρος αρχικό(kg)	αμμοβολή πάχος(mm)	αμμοβολή βάρος(kg)
1	1	17	1.02 / 1.02 /1.02	17,2
2	1	16,7	1.03 /1.02 /1.03	16,8
3	1	16,8	1.02 /1.02 /1.02	16,8
4	1	16,7	1.01/1.02 /1.02	16,8

Μετά το ψεκασμό				
βάρος(kg)	Πάχος(mm)	Ra (μm)	Rq (μm)	Rt (μm)
20,2	1.7 /1.72 /1.7	5,4	7	47
19,4	1.7 /1.68 /1.68	5	6,2	35
18,8	1.65 /1.65 /1.65	5,2	6,6	36
19,2	1.1 /1.2 /1.2	5	6,2	37

*Οι μετρήσεις στις λάμες έγιναν σε 3 σημεία

Σειρά ψεκασμού



Λειπές πληροφορίες

ΑΡΧΙΚΗ ΣΚΟΝΗ

275 ΔΟΧΕΙΟ ΑΔΕΙΟ

1330,4 ΜΕΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (530 ml)

ΜΕΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟ 826 ΜΕΙΚΤΟ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ	
Δαυλός ψεκασμού	
Τύπος:	3MB
Ακροφύσιο:	GH
Αγωγός τροφοδοσίας:	2
Δακτύλιος ψεκασμού:	3M 275
Αέρια	
Πίεση:	Πρωτεύον αέριο, αργό (Ar): 100 psi (6.89 bars) Δευτερεύον αέριο, υδρογόνο (H ₂): 50 psi
Ροή:	Πρωτεύον αέριο, αργό (Ar): 80 Δευτερεύον αέριο, υδρογόνο (H ₂): 15
Ισχύς	
Ένταση ρεύματος τόξου:	500 (A)
Τάση τόξου:	60-70 (V)
Τροφοδοσία σκόνης	
Ροή φέροντος αερίου (Ar):	37
Ψεκασμός	
Απόσταση ψεκασμού	8 cm
Ρυθμός ψεκασμού	6 lb/h (2.72 kg/h)
Ρυθμός κάλυψης	135 ft ² /hr/0.001" (3,14 m ² /hr/0.1 mm)
Απαιτούμενη ποσότητα κόνεως	0.043 lb/ft ² /0.001" (0.82 kg/m ² /0.1 mm)
Απόδοση απόθεσης	65%
Ρυθμός απόθεσης	3,9 lb/hr (1.77 kg/hr)

Πείραμα 2

Στρογγυλά δοκίμια

A/A	πάχος αρχικό(mm)	βάρος αρχικό(kg)	αμμοβολή πάχος(mm)	αμμοβολή βάρος (kg)
1	5,5	81,2	5,46	81,2
2	5,38	82,2	4,42	82,3
3	5,11	78,4	5,25	78,4
4	5,31	80,3	5,32	80,4
5	5,44	81,8	5,44	81,8
6	6,17	84,1	6,18	84,2

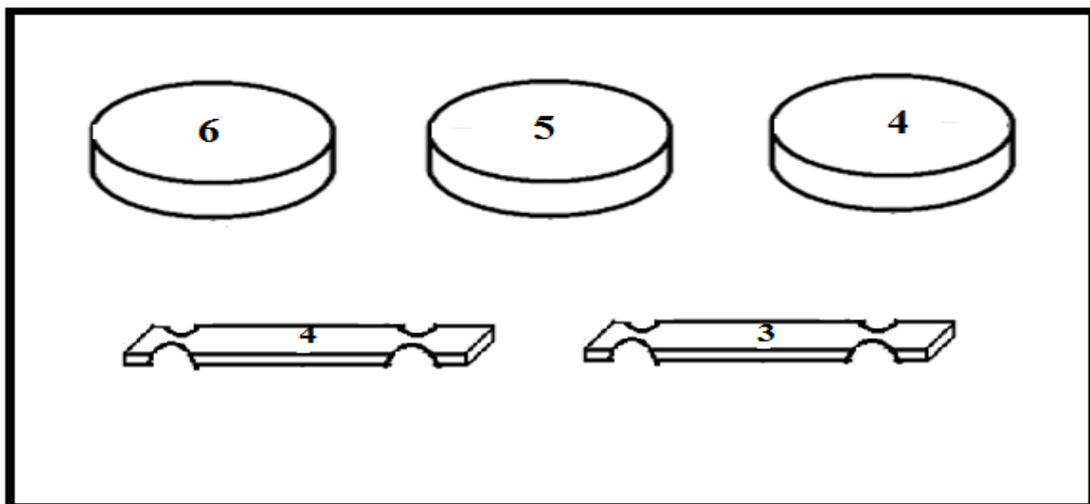
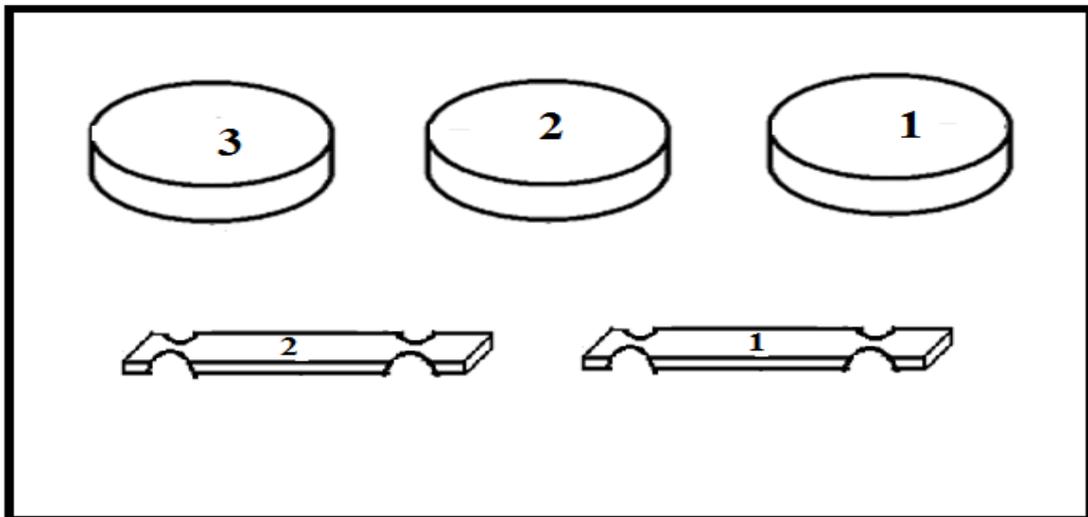
Μετά το ψεκασμό					
A/A	Βάρος (kg)	Πάχος (mm)	Ra (μm)	Rq (μm)	Rt (μm)
1	81.3	5,55	3.24	4.04	22.9
2	82.3	5,44	3.46	4.42	24.2
3	78.4	5,23	3.66	4.90	31.0
4	81.2	5,46	3.11	4.65	28.7
5	82.3	5,52	3.35	4.84	26.4
6	84.7	6,26	3.62	4.92	28.9

Λάμες

A/A	πάχος αρχικό	βάρος αρχικό	αμμοβολή πάχος	αμμοβολή βάρος
1	1	25,2	1.02 / 1.02 /1.02	25,2
2	1	25,3	1.03 /1.02 /1.03	25,4
3	1	25,2	1.02 /1.02 /1.02	25,2
4	1	25,2	1.01/1.02 /1.02	25,3

Μετά το ψεκασμό				
βάρος	πάχος	Ra	Rq (μm)	Rt (μm)
26,3	1.7 /1.72 /1.7	3,64	4,78	28,9
26,5	1.7 /1.68 /1.68	4,48	5,70	32,7
26,4	1.65 /1.65 /1.65	3,75	4,56	30,5
26,3	1.7 /1.68 /1.68	3,89	5,21	29,5

Σειρά ψεκασμού



Λειπές πληροφορίες

ΑΡΧΙΚΗ ΣΚΟΝΗ

275 ΔΟΧΕΙΟ ΑΔΕΙΟ

1540 ΜΕΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (530 ml)

ΜΕΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟ 921 ΜΕΙΚΤΟ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ	
Δαυλός ψεκασμού	
Τύπος:	3MB
Ακροφύσιο:	GH
Αγωγός τροφοδοσίας:	2
Δακτύλιος ψεκασμού:	3M 275
Αέρια	
Πίεση:	Πρωτεύον αέριο, αργό (Ar): 100 psi (6.89 bars) Δευτερεύον αέριο, υδρογόνο (H ₂): 50 psi
Ροή:	Πρωτεύον αέριο, αργό (Ar): 80 Δευτερεύον αέριο, υδρογόνο (H ₂): 15
Ισχύς	
Ένταση ρεύματος τόξου:	500 (A)
Τάση τόξου:	60-70 (V)
Τροφοδοσία σκόνης	
Ροή φέροντος αερίου (Ar):	37
Ψεκασμός	
Απόσταση ψεκασμού	8 cm
Ρυθμός ψεκασμού	6 lb/h (2.72 kg/h)
Ρυθμός κάλυψης	135 ft ² /hr/0.001" (3,14 m ² /hr/0.1 mm)
Απαιτούμενη ποσότητα κόνεως	0.043 lb/ft ² /0.001" (0.82 kg/m ² /0.1 mm)
Απόδοση απόθεσης	65%
Ρυθμός απόθεσης	3,9 lb/hr (1.77 kg/hr)

10 Προετοιμασία δοκιμίων για τα πειράματα

10.1 Δειγματοληψία

Η αξιολόγηση ενός υλικού στο εργαστήριο προϋποθέτει την αφαίρεση από μια μάζα του υλικού ενός δείγματος το οποίο μπορεί να το χειριστεί ο μελετητής και θα έχει κατάλληλες διαστάσεις για να τοποθετηθεί μέσα ή πάνω στα όργανα του Εργαστηρίου που θα χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη του.

Επίσης το δείγμα που θα εξεταστεί θα πρέπει να αντιπροσωπεύει σωστά το υλικό που μελετάται και να χαρακτηρίζεται από μια ή δυο ιδιότητες με τον πρόσθετο περιορισμό να αντιπροσωπεύεται η ιδιότητα που πρέπει να μελετηθεί. Αυτά τα διασφαλίζει η σωστή δειγματοληψία .

Για να είναι εφικτή η μελέτη της δομής της επικάλυψης απαιτείται η κατάλληλη προετοιμασία ενός δείγματος, ικανού να αντιπροσωπεύσει το επικαλυμμένο δοκίμιο. Συνεπώς, επιβάλλεται να πραγματοποιηθούν οι ακόλουθες διεργασίες:

- Κοπή
- Εγκιβωτισμός
- Λείανση
- Στίλβωση
- Εφαρμογή κατάλληλου αντιδραστηρίου

Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση αυτών των τυπικών διεργασιών ποιοτικού ελέγχου των επικαλύψεων.

10.2 Κοπή δοκιμίων

Πριν από οποιαδήποτε άλλη διαδικασία για την αποκάλυψη της δομής, τέμνουμε το δοκίμιο στο κατάλληλο μέγεθος. Η μικροδομή είναι πολύ ευαίσθητη σε αλλαγή κατά την διαδικασία της κοπής παρά σε κάποιο άλλο βήμα της προετοιμασίας. Η αλλαγή μπορεί να επέλθει από υπερβολική θερμότητα, μηχανική παραμόρφωση ή και τα δύο. Οι λεγόμενες «τεχνητές μικροδομές» που προκύπτουν σ' αυτήν την περίπτωση είναι πιθανόν να μην επιτρέψουν την αποκάλυψη της πραγματικής δομής.

Η καλύτερη τεχνική κοπής του χάλυβα και η τεχνική που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο του χάλυβα είναι ο αποξεστικός τροχός. Παρέχει επιφάνειες που είναι λείες, με ελάχιστη παραμόρφωση, και δεν παρουσιάζονται αλλαγές στην δομή από υπερθέρμανση. Τα δοκίμια τέμνονται με τροχούς από SiO₂, με την απαιτούμενη ελαστικότητα του συνδετικού υλικού. Το δοκίμιο διατηρείται κρύο κατά την διάρκεια της κοπής, με την συνεχή ροή λαδιού, διαλυτού στο νερό.

Επιλέγουμε την δύναμη κοπής που θα εφαρμόσουμε, καθώς και την σκληρότητα του υλικού κοπής. Επιλέγουμε τροχό ο οποίος αποσυντίθεται γρήγορα και αποκαλύπτει νέους κοπτικούς κόκκους. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην δύναμη κοπής, στην αφθονία του ψυκτικού υγρού και στην σταθερή συγκράτηση του δοκιμίου κατά την διάρκεια της κοπής, όλες οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζουν την τελική δομή του υλικού που θα παρατηρήσουμε στο μικροσκόπιο. Τα κοπτικά που χρησιμοποιούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία υπάρχουν διαθέσιμα στο Εργαστήριο κατεργασιών



Φωτογραφία : Κοπτικό μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα διπλωματική

Ακόμη οι διαστάσεις των δοκιμίων θα πρέπει να είναι σχετικά μικρές ώστε να είναι εφικτός ο εγκιβωτισμός του και η παρατήρησή του στο μικροσκόπιο. Τα μικρά δοκίμια προήλθαν από κοπή σε τμήματα ενός ελάσματος που ψεκάστηκε ακριβώς για τους σκοπούς της μεταλλογραφίας αλλά και από την κοπή των άκρων των υπολοίπων ελασμάτων που προορίζονταν για το πείραμα του εφελκυσμού.

Η περιοχή προς μελέτη, αμέσως μετά την κοπή, είναι γεμάτη αυλακώσεις, οι οποίες προέρχονται από τον δίσκο κοπής, καθιστώντας αδύνατη τη μελέτη αυτής της επιφάνειας. Συνεπώς, η επιφάνεια πρέπει να υποστεί λείανση. Όμως, εξαιτίας των μικρών διαστάσεων του δοκιμίου, είναι αδύνατη η πραγματοποίησή της. Οπότε επιβάλλεται ο εγκιβωτισμός του.

10.3 Εγκιβωτισμός

Μετά την κοπή των δοκιμίων στο κατάλληλο μέγεθος ακολουθεί ο εγκιβωτισμός τους. Για τον εγκιβωτισμό του δοκιμίου επιλέγουμε ένα υλικό που μπορεί να χυτευθεί, έτσι ώστε να μην επηρεασθεί η επιφάνεια του δοκιμίου από θερμότητα ή πίεση. Οι τρόποι εγκιβωτισμού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα σιπλωματική εργασία είναι δύο :

- Ψυχρός εγκιβωτισμός : Συνήθως χρησιμοποιούνται εποξικά υλικά. Στο εργαστήριο χρησιμοποιείται η ρητίνη . Για την παρασκευή της αναμειγνύονται 2 μέρη σκόνης με 1 μέρος υγρό. Τοποθετούμε το δοκίμιο μέσα σε ένα ειδικό κυλινδρικό καλούπι, προσθέτουμε το μίγμα που ετοιμάσαμε και περιμένουμε μερικά λεπτά, έως ότου στερεοποιηθεί η ρητίνη. Αφαιρούμε το καλούπι από το δοκίμιο το οποίο είναι πλέον έτοιμο για τις περαιτέρω διεργασίες.



Εικόνα :Μηχανή ψυχρού εγκιβωτισμού που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία

- **Θερμός εγκιβωτισμός** Ο θερμός εγκιβωτισμός γίνεται με συνδυασμό θερμοκρασίας και πίεσης σε κατάλληλη συσκευή όπου τοποθετείται σκόνη κεραμικού υλικού η οποία πυροσυσσωματώνεται σε στερεά μάζα. Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε μια αυτοματοποιημένη συσκευή της. Οι παράμετροι λειτουργίας της συσκευής που ορίστηκαν ήταν 30 kN φορτίο, 7 min θέρμανση και 4 min ψύξη



Φωτογραφία : Υλικά που χρησιμοποίησα στην παρούσα διπλωματική εργασία για θερμό εγκιβωτισμό

10.4 Λείανση

Όπως αναφέραμε παραπάνω ανεξαρτήτως της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για το κόψιμο του υλικού, η δομή της επιφάνειας έχει αλλοιωθεί σε κάποιο βαθμό. Το κατεστραμμένο στρώμα απομακρύνεται χρησιμοποιώντας σταδιακά λειαντικούς τροχούς με λεπτότερους λειαντικούς κόκκους .

Για τα σιδηρούχα υλικά χρησιμοποιούμε χαρτιά καρβιδίου του πυριτίου. Με πρώτο μέγεθος κόκκου 120 grit, και με ακολουθία 320, 500, 800 , 1000 ,1500,2400 grit. Καθ' όλη τη διάρκεια της λείανσης ο περιστρεφόμενος δίσκος ψεκάζονταν με νερό ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα αύξησης της θερμοκρασίας λόγω της αναπτυσσόμενης τριβής. Επίσης, η τροφοδοσία νερού συνέβαλε στη ψύξη του δοκιμίου και στην απομάκρυνση των υπολειμμάτων της τριβής (υπολείμματα υλικού και κόκκων καρβιδίου του πυριτίου), που θα μπορούσαν να προκαλέσουν χαράξεις στην επιφάνεια των δοκιμίων του.

Για να έχουμε ένα επίπεδο δοκίμιο με ελάχιστη παραμόρφωση συγκρατούμε το δοκίμιο με τα ακροδάχτυλα, όσο το δυνατόν πιο κοντά στον λειαντικό τροχό, χρησιμοποιούμε μέτρια δύναμη και μετακινούμε το δοκίμιο πέρα δώθε από το κέντρο προς την άκρη του χαρτιού και αντίστροφα.

Εξετάζουμε την επιφάνεια περιοδικά για να καθορίσουμε εάν έχουν εξαλειφθεί οι γρατσουνιές από τον προηγούμενο δίσκο. Η λείανση συνεχίζεται δύο με τρεις φορές από τον χρόνο που απαιτείται για την εξαφάνιση των προηγούμενων γρατσουνιών προκειμένου να εξασφαλιστεί η εξάλειψη της ζώνης παραμόρφωσης. Αν κατά την διάρκεια της λείανσης προκύψει κάποιο σφάλμα πρέπει να αυξηθεί η ασκούμενη δύναμη και να μην χρησιμοποιηθεί πιο λεπτόκοκκος δίσκος. Το δοκίμιο πρέπει να παραμείνει στον δίσκο που δημιουργήθηκε το ελάττωμα ή να επιστρέψει στον προηγούμενο.

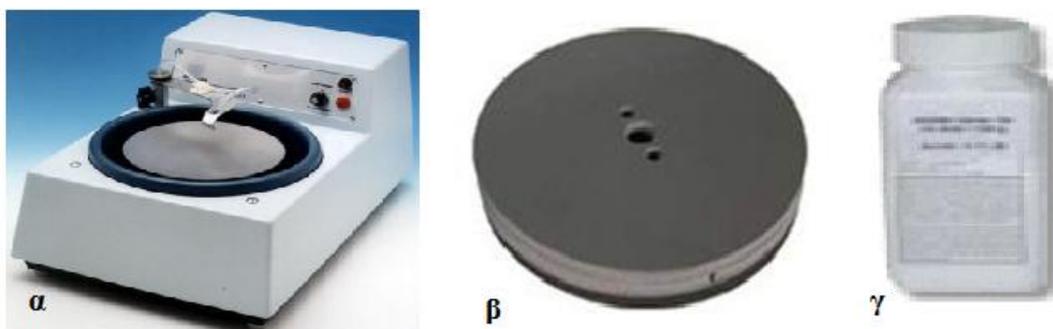
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι και το πιο λεπτόκοκκο χαρτί, προσέχοντας την εναλλαγή της θέσης του δοκιμίου κατά γωνία 90 κάθε φορά και τη διατήρησή αυτής, κατά τη διάρκεια χρήσης κάθε χαρτιού. Θα πρέπει να σημειωθεί πως, όσο μικρότερη είναι η τραχύτητα των λειαντικών χαρτιών, τόσο μικρότερη θα πρέπει να είναι και η δύναμη που συγκρατεί το δοκίμιο στην επιφάνεια του χαρτιού.

10.5 Στίλβωση

Η διαδικασία της στίλβωσης έπεται της λείανσης, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας της επιφάνειας των δοκιμίων προς μελέτη. Συγκεκριμένα, με τη στίλβωση απομακρύνονται όλες οι χαραγμένες γραμμές που οφείλονται στην απόξεση του υλικού από τους κόκκους του λειαντικού χαρτιού, δίνοντάς μας ένα δοκίμιο με λεία και καθαρή επιφάνεια και μεγάλη ανακλαστικότητα.

Η στίλβωση πραγματοποιήθηκε στην ίδια συσκευή όπου έγινε η λείανση, μόνο που προσαρμόστηκε στη συσκευή άλλη περιστρεφόμενη επίπεδη πλάκα,, πάνω στην οποία ήταν κολλημένη ειδικό ύφασμα. Ο τροχός που χρησιμοποιήθηκε ήταν διαμέτρου 20 mm. Η επιφάνεια στίλβωσης ψεκάζεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα με διαμαντόσκονη. Η σκόνη αυτή είναι ειδική για την αφαίρεση των χαράξεων, διότι εγκλωβίζεται στο ύφασμα και εν συνεχεία οι κόκκοι του διαμαντιού επιφέρουν τη στίλβωση της επιφάνειας.

Πριν την στίλβωση, το δοκίμιο ξεπλένεται με νερό ώστε να απομακρυνθεί τυχόν ρινίσματα σιδήρου πάνω από την επιφάνειά του. Εν συνεχεία, τοποθετείτε το δοκίμιο πάνω στην περιστρεφόμενη πλάκα με όμοιο τρόπο με την λείανση. Όταν σιγουρευτούμε, κατόπιν τακτικού οπτικού ελέγχου του δοκιμίου καθ' όλη της διάρκειας της διαδικασίας, ότι η επιφάνεια έχει στιλβωθεί κατάλληλα, απομακρύνουμε το δοκίμιο από τον τροχό και το ξεπλένουμε με οινόπνευμα, ώστε να απομακρυνθεί το υγρό της στίλβωσης.



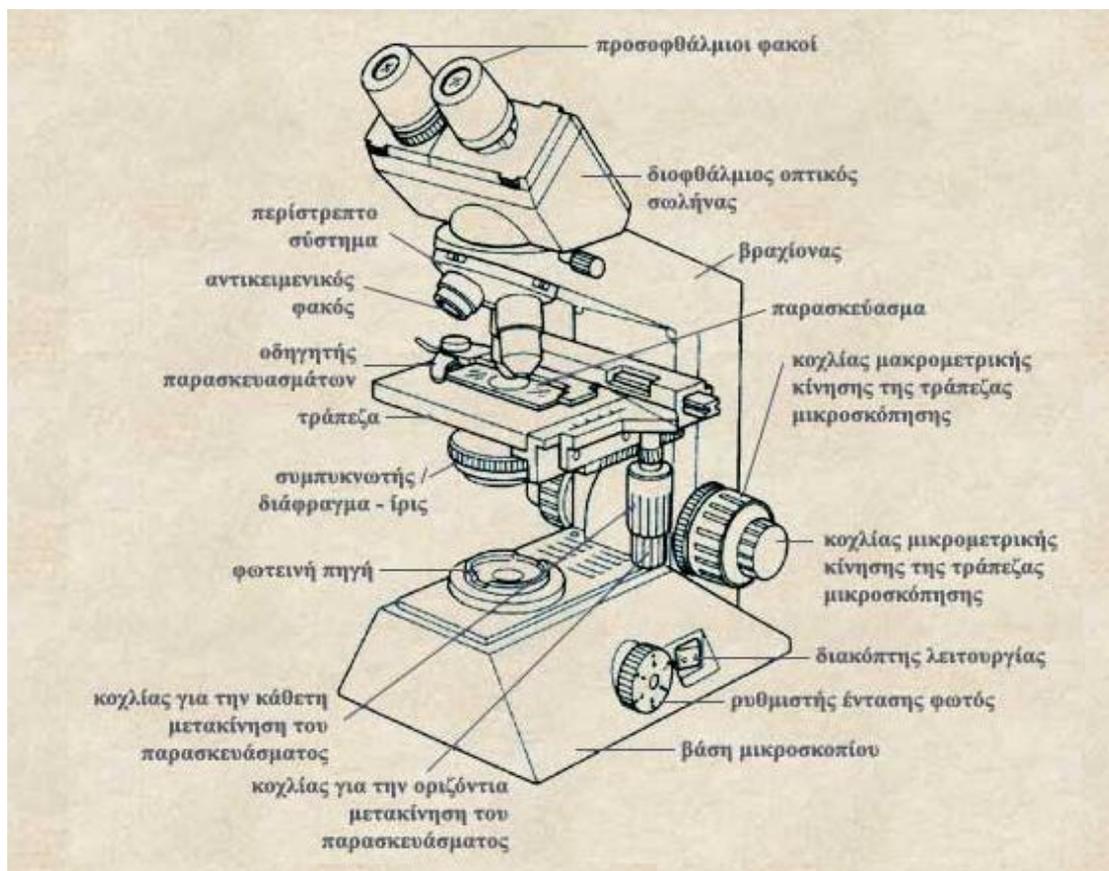
Φωτογραφία : α) μηχανή στίλβωσης β) δίσκος στίλβωσης γ) υγρό στίλβωσης

10,6 Μικροσκόπιο

Το μικροσκόπιο αποτέλεσε το επιστημονικό όργανο πάνω στο οποίο στηρίχθηκε κατά μεγάλο μέρος η εξέλιξη της επιστήμης της Βιολογίας. Η εξέλιξη του αρχικού μοντέλου μικροσκοπίου του Antoni van Leeuwenhoek, το οποίο κατασκευάστηκε στα μέσα του 17ου αιώνα και δεν διέφερε πολύ από έναν απλό μεγεθυντικό φακό, έχει οδηγήσει στην κατασκευή των χρησιμοποιούμενων σήμερα οπτικών μικροσκοπίων.

Το σύνθετο οπτικό μικροσκόπιο αποτελείται από δύο συγκλίνοντες φακούς, οι οποίοι βρίσκονται στον ίδιο οπτικό άξονα: τον αντικειμενικό, ο οποίος βρίσκεται κοντά στο παρατηρούμενο παρασκεύασμα και τον προσοφθάλμιο, ο οποίος βρίσκεται κοντά στο μάτι του παρατηρητή.

Οι αντικειμενικοί φακοί που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι οι 10x, 25x, 40x, και 90x ή 100x. Οι αντικειμενικοί φακοί με μεγέθυνση 90x, 100x ονομάζονται καταδυτικοί. Για τη χρήση τους απαιτείται η προσθήκη ειδικού ελαίου (με υψηλό δείκτη διάθλασης). Ο προσοφθάλμιος είναι κυρίως ο 10x



Σχήμα : Οπτικό μικροσκόπιο

Η αρχική μεγέθυνση οφείλεται στον αντικειμενικό φακό. Το παραγόμενο είδωλο μεγεθύνεται για δεύτερη φορά από τον προσοφθάλμιο φακό και έτσι η ολική μεγέθυνση στο σύνθετο μικροσκόπιο είναι ίση με το γινόμενο των επιμέρους μεγεθύνσεων των δυο φακών.

Η ικανότητα διάκρισης δύο σημείων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση στο παρατηρούμενο παρασκεύασμα ονομάζεται διακριτική ικανότητα του μικροσκοπίου. Το βάθος πεδίου μειώνεται, όσο αυξάνεται η μεγέθυνση. Έτσι η επιλογή της κατάλληλης μεγέθυνσης στο μικροσκόπιο εξαρτάται από το προς παρατήρηση αντικείμενο.

Στο μικροσκόπιο μπορεί να προσαρμοστεί φωτογραφική μηχανή για την παρατήρηση της εικόνας που φαίνεται στο μικροσκόπιο. Έτσι λοιπόν μας δίνεται η δυνατότητα να βγάλουμε φωτογραφίες που δείχνουν την εικόνα που βλέπει ο παρατηρητής στο μικροσκόπιο. Στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο λοιπόν μπορούμε να παρατηρήσουμε τα δοκίμια και να βγάλουμε συμπεράσματα για το είδος των μεταβολών που έλαβαν χώρα στη δομή τους.

10.7 Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο

Ένα από τα πιο ισχυρά και αποτελεσματικά όργανα για τη μελέτη της μικροδομής των υλικών είναι το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, το οποίο επιτρέπει την μεγεθυσμένη απεικόνιση ενός αντικειμένου (δείγματος) με διακριτική ικανότητα της τάξης του nm, μέσω της αλληλεπίδρασής του με μία δέσμη ηλεκτρονίων. Ο χειρισμός της δέσμης των ηλεκτρονίων που προσπίπτει στο δείγμα, όσο και εκείνων που σκεδάζονται (περιθλώνται) από αυτό, γίνεται με τη βοήθεια μαγνητικών φακών.

Υπάρχουν διαφόρων ειδών ηλεκτρονικά μικροσκόπια, τα οποία, ανάλογα με τον βασικό μηχανισμό αλληλεπίδρασης είναι γνωστά ως: (α) Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης, (β) Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Ανάκλασης, (γ) Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής, (δ) Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης, (ε) Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Υψηλής Τάσης, κ.α.

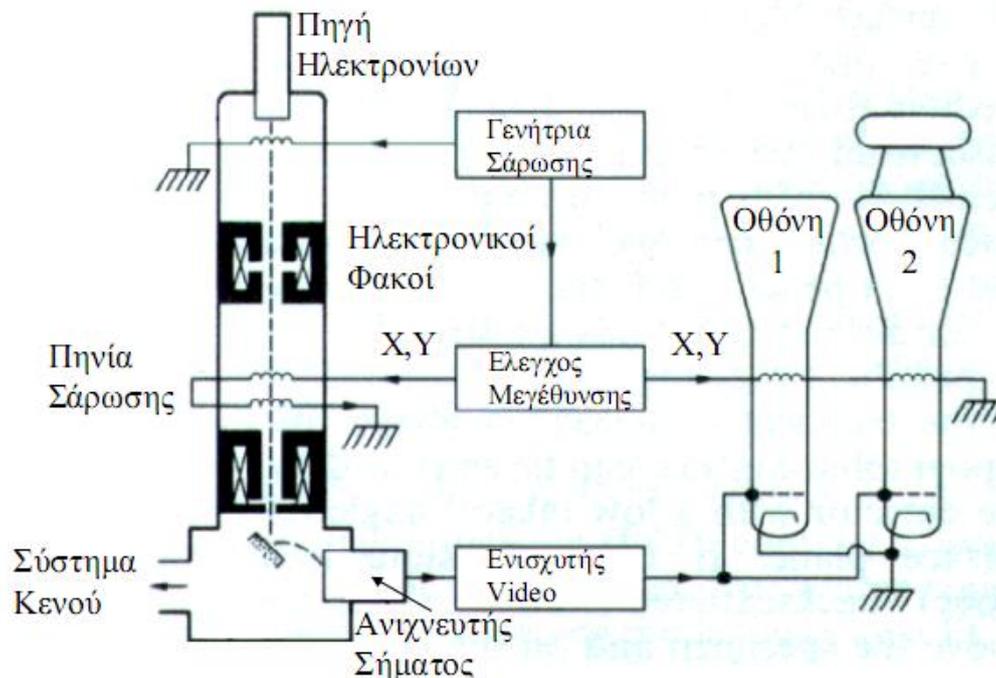
Στη συγκεκριμένη διπλωματική χρησιμοποιήθηκε Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο Σάρωσης (ΗΜΣ, Scanning Electron Microscope, SEM). Το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης είναι ένα από τα πλέον χρήσιμα συστήματα, από όσα χρησιμοποιούν οπτική ηλεκτρονίων, για τη μελέτη των συμπαγών δειγμάτων.

Το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης χρησιμοποιεί μία λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων (ενέργειας από 0 έως 50 keV), η οποία, αφού περάσει από μία ακολουθία δύο ή τριών φακών εστίασης, οι οποίοι είναι συνδυασμένοι με κατάλληλα διαφράγματα, καταλήγει να έχει διάμετρο 2 - 10 nm, η ελάχιστη τιμή της οποίας περιορίζεται από το ελάχιστο αποδεκτό ρεύμα της δέσμης αντίχενωσης το οποίο δεν μπορεί να είναι χαμηλότερο από μερικά pA (10-12 A), για λόγους εξασφάλισης ικανοποιητικού λόγου Σήμα/Θόρυβος. Η λεπτή αυτή δέσμη κατευθύνεται, με τη βοήθεια ενός πηνίου οδήγησης, έτσι ώστε να σαρώνει με περιοδικό τρόπο την προς μελέτη επιφάνεια του δείγματος. Η προσπίπτουσα δέσμη προκαλεί την εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων (SE = Secondary Electrons), με ενέργειες 2 έως 5 eV, και οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων (BSE = Back-Scattered Electrons), με ενέργειες που κυμαίνονται από την ενέργεια των ηλεκτρονίων της δέσμης μέχρι περίπου 50 eV.

Εκπέμπονται επίσης ηλεκτρόνια που έχουν υποστεί ελαστική σκέδαση ή χαμηλή απώλεια ενέργειας, καθώς και ακτίνες X αλλά και φωταύγεια. Τα προηγούμενα σήματα, αλλά κυρίως τα σήματα δευτερογενών και οπισθοσκεδαζόμενων

ηλεκτρονίων, ενισχύονται και στη συνέχεια διαμορφώνουν την ένταση μίας εξωτερικής (ανεξάρτητης) καθοδικής δέσμης η οποία προσπίπτει σε φθορίζουσα οθόνη ακολουθώντας την ίδια σάρωση η οποία οδηγεί τη δέσμη του μικροσκοπίου.

Το αποτέλεσμα είναι η μεγεθυμένη απεικόνιση, στη φθορίζουσα οθόνη, της επιφάνειας του δείγματος που σαρώνει η δέσμη του μικροσκοπίου. Ανάλογα με την επιλογή του σήματος που θα χρησιμοποιηθεί για την αναπαραγωγή της εικόνας, αναδεικνύονται διαφορετικά χαρακτηριστικά του δείγματος, δεδομένου ότι τόσο η παραγωγή δευτερογενών ηλεκτρονίων όσο και ο συντελεστής οπισθοσκέδασης εξαρτώνται από τις τοπικές τιμές της γωνίας πρόσπτωσης (τοπογραφικά χαρακτηριστικά), τον μέσο ατομικό αριθμό (πληροφορίες για τη σύνθεση) και τον κρυσταλλικό προσανατολισμό (κρυσταλλογραφικά χαρακτηριστικά).

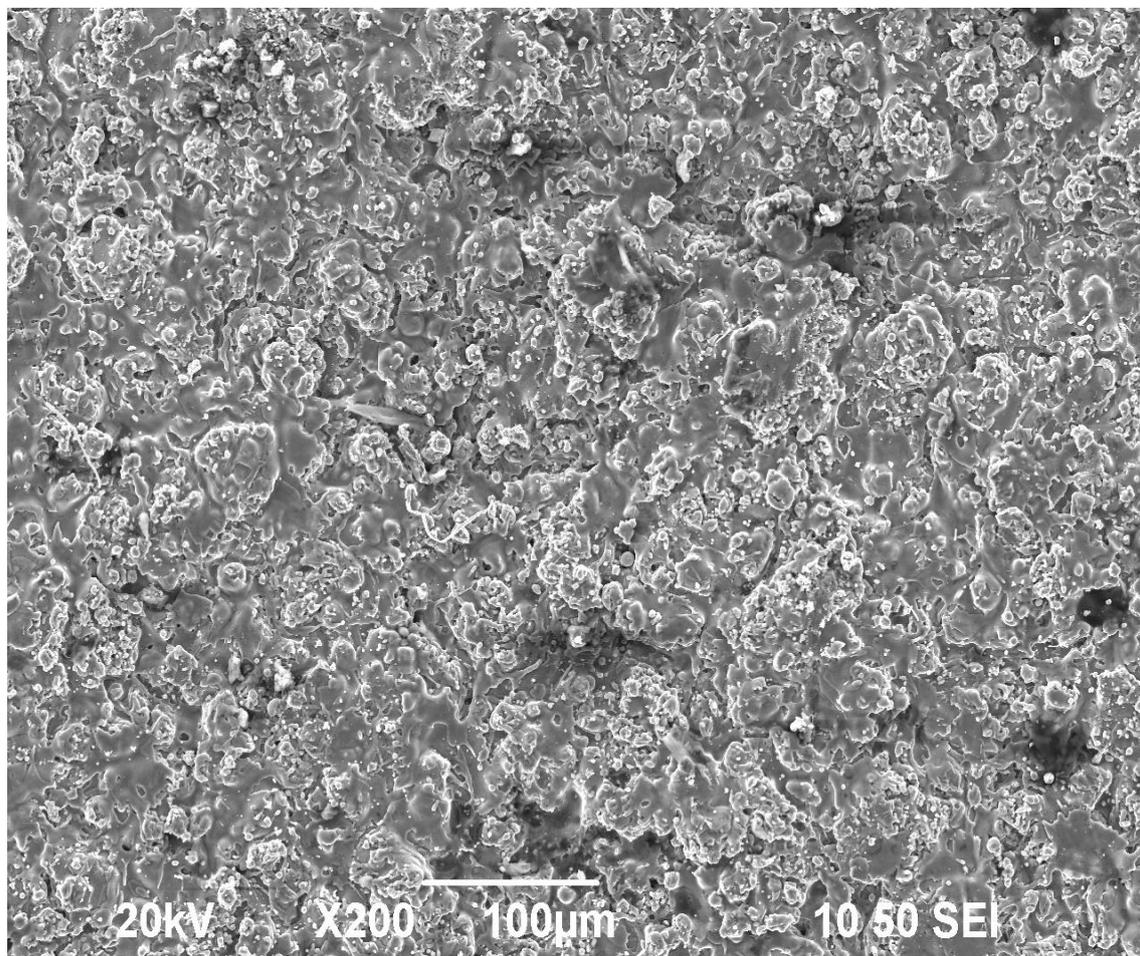


Σχήμα : Διάγραμμα μικροσκοπίου Σάρωσης (ΗΜΣ, Scanning Electron Microscope, SEM)

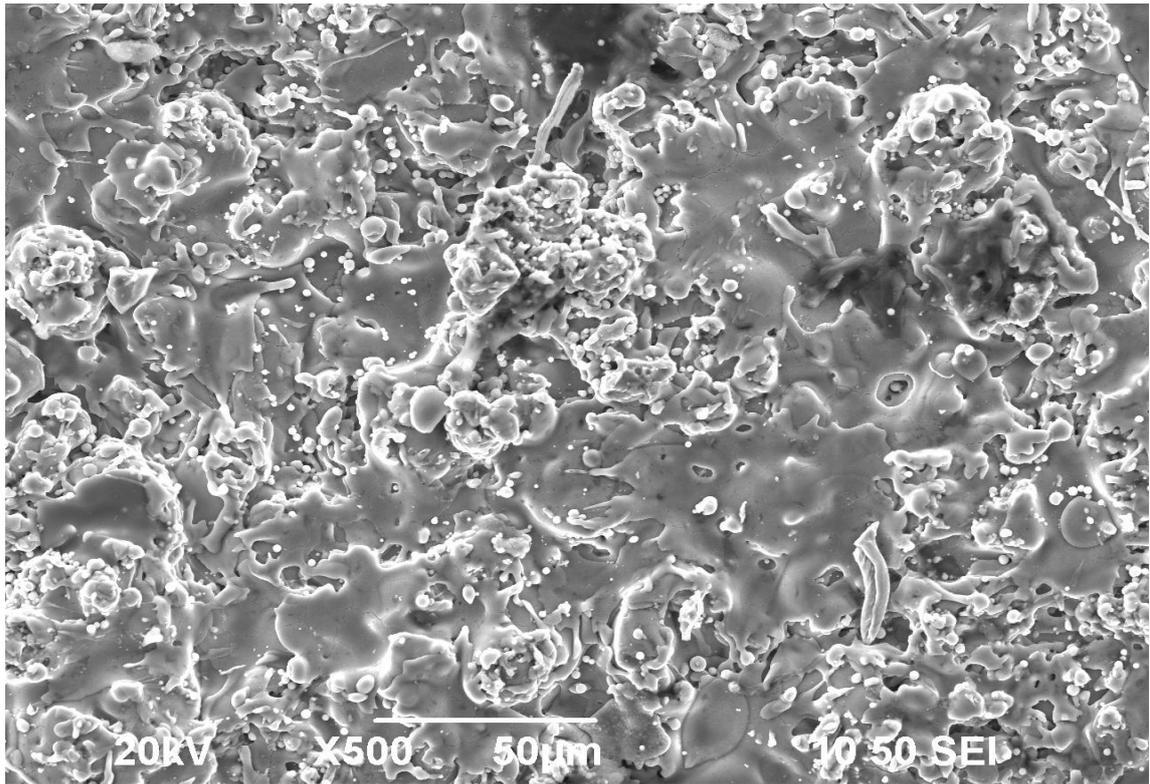
10.8 Εξέταση σκόνης sulzer metco 6231

Αρχικά εξετάστηκε το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων της χρησιμοποιούμενης σκόνης sulzer metco 6231. Για να πραγματοποιηθεί αυτό φωτογραφήθηκαν και εξετάστηκαν αρκετές περιοχές τις σκόνης .

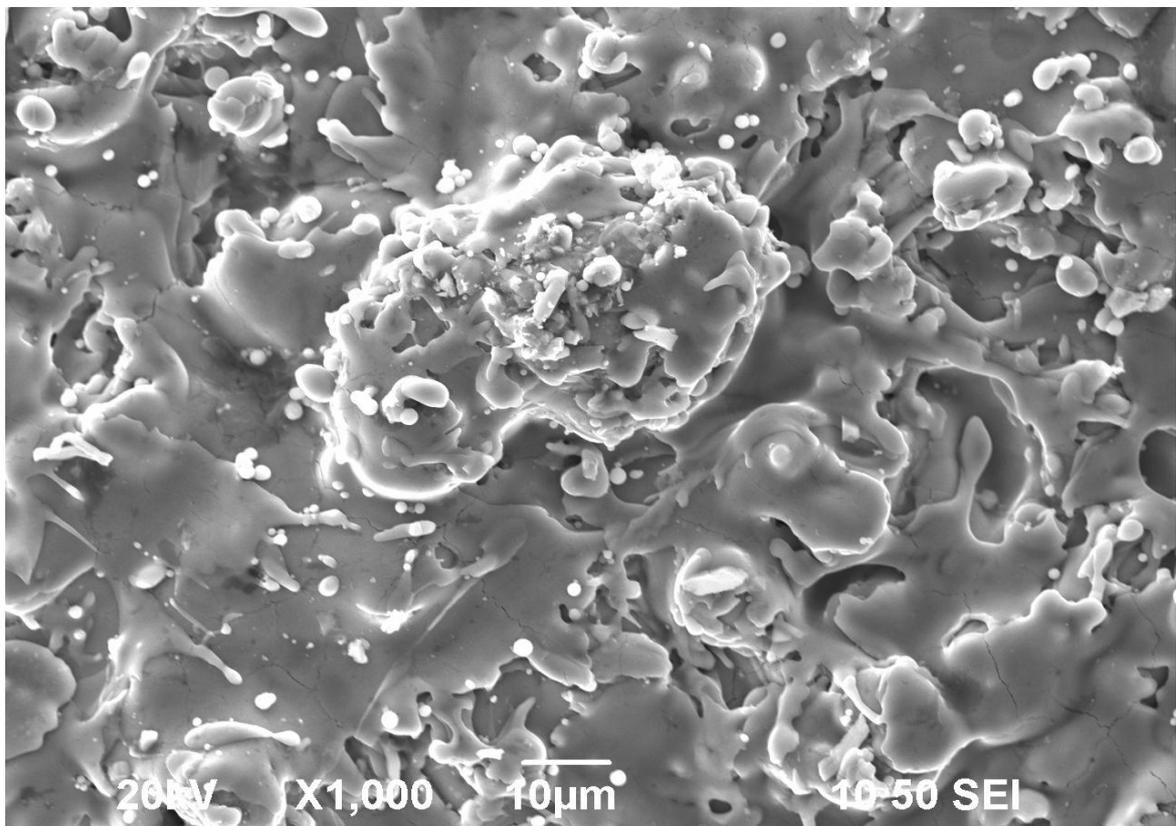
Η επόμενη φωτογραφία αποτελεί μία αντιπροσωπευτική εικόνα της σκόνης METCO 6231 που ψεκάστηκε και επιλέχτηκε σε μια σειρά φωτογραφιών και αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα . Η διαφορετική μεγέθυνση των φακών του βοηθά ώστε παρατηρήσεις που έγιναν πιο κάτω σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να γίνουν ν πιο ευδιάκριτες .



Φωτογραφία : Ηλεκτρονικής μικροσκοπία σκόνης 6231 με μεγέθυνση x 200



Φωτογραφία : ηλεκτρονικής μικροσκοπία σκόνης 6231 με μεγέθυνση x 500



Φωτογραφία : Ηλεκτρονικής μικροσκοπία σκόνης 6231 με μεγέθυνση x 1000

Από την εικόνα της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας παρατηρούμε ότι τα σωματίδια της σκόνης δεν έχουν σφαιρικό σχήμα, αλλά έχουν ένα ακανόνιστο σχήμα κατανεμημένης μάζας, το οποίο δεν επαναλαμβάνεται ανά την επικράτεια της σκόνης.

Ακόμη παρατηρούμαι ότι υπάρχουν άτηκτα σωματίδια τα οποία παρασύρονται από το πεπιεσμένο αέρα και το τριγμένο υλικό επικάλυψης και έτσι δημιουργείται η ανομοιόμορφη επιφάνεια που βλέπουμε στις πιο πάνω φωτογραφίες . Παρατηρούνται μαύρα στίγματα οι οποίοι είναι ανοικτή πόροι που δημιουργούνται από τα μεγάλα άτηκτα σωματίδια τα οποία κάθονται στο υλικό επικάλυψης .

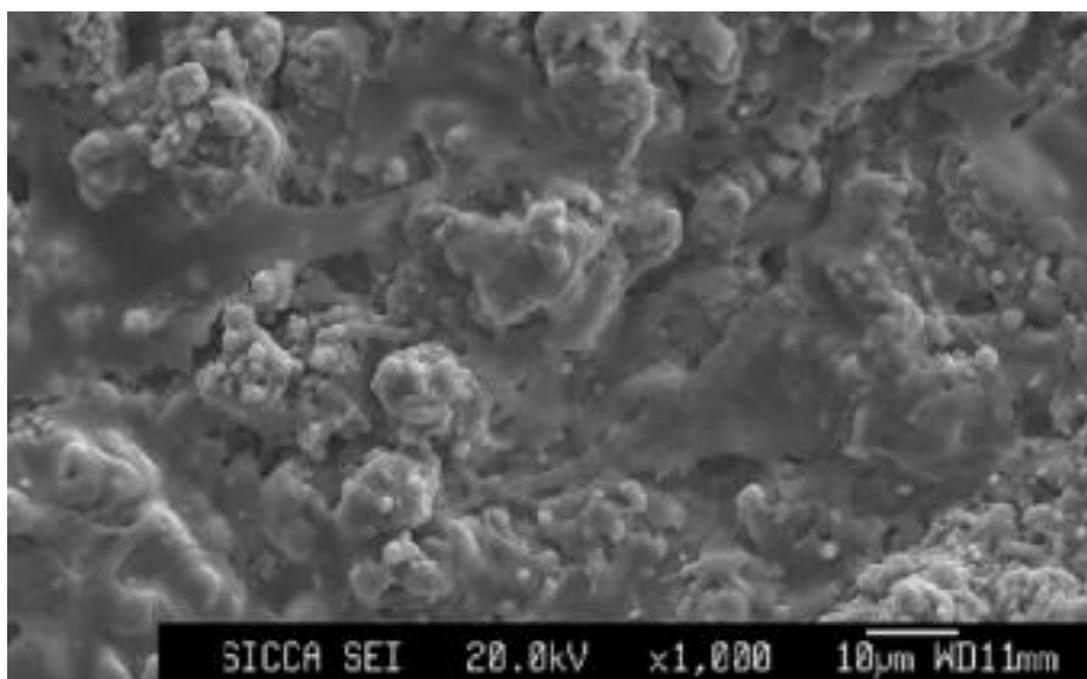
Επίσης παρατηρείται ότι δεν έχουμε ένα σταθερό μέγεθος της σκόνης, αλλά μεταβάλλεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών. Δυστυχώς δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθεί συγκεκριμένος προσδιορισμός της κατανομής του μεγέθους των κόκκων, λόγω μη ύπαρξης δυνατότητας πραγματοποίησης της ανάλογης μεθόδου.

Σε δειγματοληψία είκοσι κόκκων, αντιπροσωπευτικού μεγέθους, δημιουργήθηκε ο πιο κάτω πίνακας (οι άξονες λήφθηκαν έτσι ώστε να είναι κάθετοι μεταξύ τους) . Η διεργασία πραγματοποίησης των συγκεκριμένων υπολογισμών παρουσιάζονται στο πίνακα πιο κάτω και έγινε με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος image j . Στην αρχή καλυμπράραμε το πρόγραμμα στην γραμμή κάτω από τις φωτογραφίες όπου είναι η κλίμακα και μετά ληφθηκαν οι πιο κάτω μετρήσεις .

a/a	Μεγάλη Διάμετρος (μm)	Μικρή Διάμετρος (μm)
1	0,12	0,8
2	0,24	0,17
3	0,38	0,31
4	0,46	0,35
5	0,13	0,09
6	0,27	0,21
7	0,77	0,69
8	0,31	0,22
9	0,24	0,17
10	0,33	0,16
11	0,11	0,07
12	0,22	0,14
13	0,45	0,38
14	0,21	0,18
15	0,17	0,11
16	0,3	0,25
17	0,25	0,21
18	0,31	0,23
19	0,35	0,31
20	0,29	0,22

Σε δειγματοληψία είκοσι κόκκων, αντιπροσωπευτικού μεγέθους (πιο πάνω πίνακας), βρέθηκε ότι το μέσο μήκος του μεγάλου άξονα είναι 27,125 μm και του μικρού άξονα είναι 17,40625 μm (οι άξονες λήφθηκαν έτσι ώστε να είναι κάθετοι μεταξύ τους).

Ανάλογο ακανόνιστο σχήμα στα σωματίδια της σκόνης παρατηρήθηκε και από τους G. Bertrand, N. Berger-Kellera, C. Meunier, C. Coddeta στην δημοσιευμένη μελέτη τους από το επιστημονικό περιοδικό sciencedirect, το 2005, με θέμα : «Evaluation of metastable phase and microhardness on plasma sprayed titania coatings». Ειδικότερα, χρησιμοποίησαν συνηθισμένη εμπορική σκόνη τιτανίας , όμοιας σύστασης με τη σκόνη της παρούσα διπλωματικής. Όπως παρατήρησαν μετά από σάρωση της χρησιμοποιούμενης σκόνης με ηλεκτρονική μικροσκοπία, οι κόκκοι της σκόνης αρχικά είχαν μορφή ακανόνιστης μάζας με μεγάλη κατανομή μεγεθών, ακριβώς όπως παρατηρήθηκε στην σκόνη METCO 6231. Στην φωτογραφία που ακολουθεί απεικονίζεται ένας κόκκος της σκόνης που μελετήθηκε στην συγκεκριμένη έρευνα των G. Bertrand, N. Berger-Kellera, C. Meunier, C. Coddeta



Φωτογραφία : Ηλεκτρονικής μικροσκοπία σκόνης πειράματος G. Bertrand, N. Berger-Kellera, C. Meunier, C. Coddeta

10.9 Επικάλυψης

Οι επικαλύψεις που παράγονται με την τεχνική του θερμού ψεκασμού προέρχονται από εναπόθεση τηγμένων σωματιδίων πάνω σε ένα υπόστρωμα. Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των επικαλύψεων είναι η φακοειδής πολύ μικρή δομή των κόκκων που προκύπτει από την ταχεία στερεοποίηση των μικρών σφαιριδίων που στερεοποιούνται, χτυπώντας μια ψυχρή επιφάνεια με μεγάλη ταχύτητα.

Η εξέταση της εγκάρσιας τομής της επικάλυψης αποκαλύπτει την επιτυχή πραγματοποίηση της επικάλυψης, καθώς είναι εμφανή όλα τυπικά χαρακτηριστικά των επικαλύψεων θερμικού ψεκασμού πλάσματος τιτανίας που προορίζεται για επικαλύψεις θερμικής προστασίας.

Οι μηχανισμοί πρόσφυσης-συσσωμάτωσης σε μία διεπιφάνεια επικάλυψη / υπόστρωμα στον θερμό ψεκασμό και ανάμεσα στα σωματίδια που συνθέτουν την επικάλυψη είναι ένας τομέας που ακόμη συζητείται. Σε γενικές γραμμές έχει διαπιστωθεί ότι συμβαίνει τόσο μηχανική αλληλοσύνδεση όσο και διάχυση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την συσσωμάτωση και την δημιουργία της επικάλυψης είναι οι εξής: καθαρότητα, η περιοχή της επιφάνεια, η επιφανειακή τοπογραφία, η θερμοκρασία (θερμική ενέργεια), ο χρόνος (τάξη αντίδρασης, ψύξης), η ταχύτητα (κινητική ενέργεια), οι φυσικές και χημικές ιδιότητες και αντιδράσεις

Ένας μεγάλος αριθμός των διεργασιών θερμού ψεκασμού γίνεται στον αέρα. Κατά την διάρκεια του ψεκασμού συμβαίνουν διάφορες χημικές αλληλεπιδράσεις με κυριότερες τις αντιδράσεις οξειδωσης. Μεταλλικά σωματίδια που οξειδώνονται πάνω στην επιφάνεια δημιουργούν ένα περίβλημα από οξείδια. Αυτό γίνεται εμφανές στην μικροδομή των επικαλύψεων σαν συνυπολογιζόμενο οξείδιο, σκιαγραφώντας τα όρια των κόκκων ή των σωματιδίων.

Επικαλύψεις που εμφανίζουν παχύς και πεπλατυσμένους κόκκους φαίνεται να έχουν ροή παράλληλη προς το υπόστρωμα. Η δομή δεν είναι ισοτροπική και οι φυσικές ιδιότητες είναι διαφορετικές εάν η ροή είναι παράλληλη προς το υπόστρωμα (διαμήκης) ή κάθετη (εγκάρσια). Η αντοχή προς την διαμήκης κατεύθυνση μπορεί να είναι 5 με 10 φορές καλύτερη από ότι προς την εγκάρσια. Η δομή της επικάλυψης είναι ετερογενής όσον αφορά τα κατεργασμένα και χυτά υλικά. Αυτό οφείλεται σε μεταβολές στην κατάσταση των μεμονωμένων σωματιδίων κατά την πρόσκρουση.

Είναι σχεδόν αδύνατο να εξασφαλιστεί ότι όλα τα σωματίδια είναι ακριβώς το ίδιο μέγεθος και να επιτευχθεί η ίδια θερμοκρασία και ταχύτητα.

Σε γενικές γραμμές οι λεπτές επικαλύψεις έχουν πιο μεγάλη διάρκεια από ότι οι πιο παχιές. Οι μέθοδοι ψεκασμού και η μικροδομή των επικαλύψεων επηρεάζουν τα όρια τάσης της επικάλυψης. Πορώδες εμφανίζεται στις περισσότερες επικαλύψεις με θερμό ψεκασμό. Το φυσιολογικό ποσοστό είναι 1% με 25% αλλά μπορεί να μεταβληθεί με αλλαγές στις μεθόδους και στα υλικά.

Στις περισσότερες μεταλλικές επικαλύψεις που γίνονται με θερμό ψεκασμό στον αέρα συμβαίνουν αντιδράσεις οξειδωσης. Τα προϊόντα της οξειδωσης συνήθως περιλαμβάνονται μέσα στις επικαλύψεις. Τα οξείδια είναι συνήθως πιο σκληρά από τα αρχικά μέταλλα. Οι επικαλύψεις με υψηλά ποσοστά οξειδίων είναι συνήθως πιο σκληρές από τις υπόλοιπες και έχουν καλύτερη αντοχή στην φθορά. Τα οξείδια στις επικαλύψεις μπορεί να είναι όμως και επιζήμια σε ιδιότητες αντοχής και ιδιότητες που θα προκύψουν μετά από κατεργασία.

Η ποιότητα των επικαλύψεων εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες: την προετοιμασία της επιφάνειας και τις παραμέτρους του ψεκασμού. Η προετοιμασία της επικάλυψης είναι πολύ σημαντική γιατί μπορεί να επηρεάσει τον βαθμό διάβρωσης της επικάλυψης.

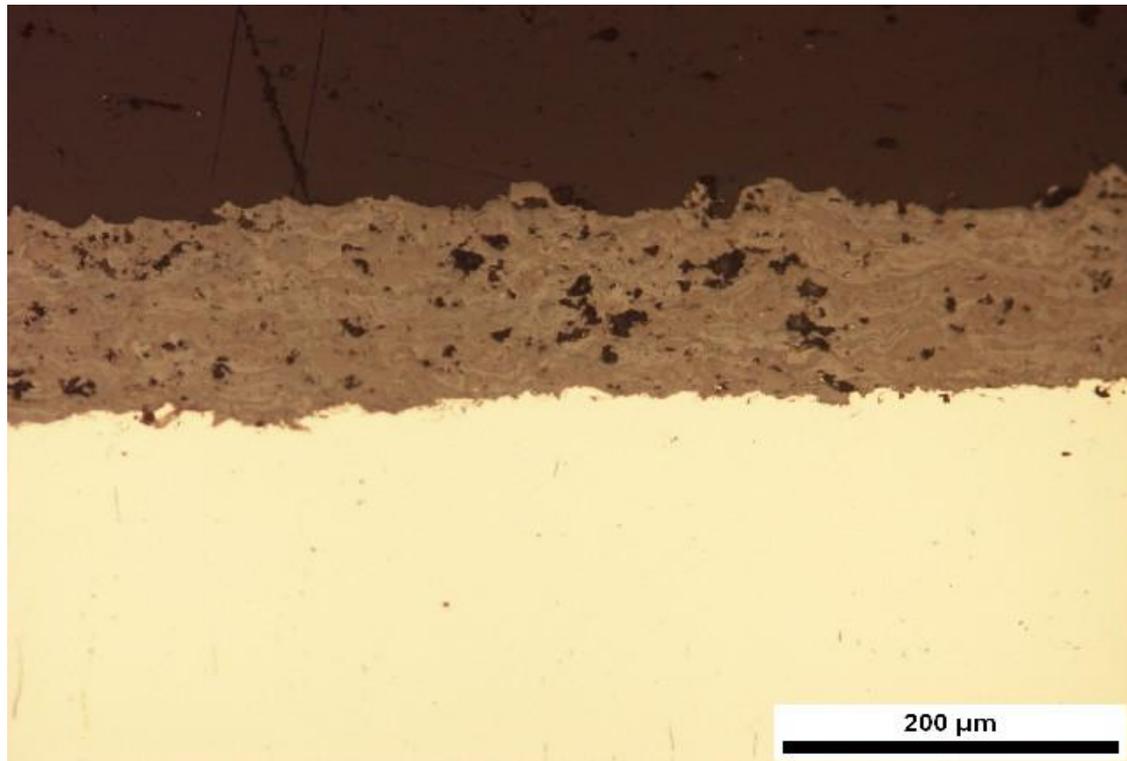
Οι παράμετροι του ψεκασμού είναι πιο πιθανό να επηρεάσουν την μικροδομή της επικάλυψης και την απόδοσή της. Επίσης σημαντικοί παράγοντες είναι ο προσανατολισμός και η απόσταση του όπλου με το υπόστρωμα και τα ποσά των αερίων καθώς και της σκόνης τροφοδοσίας. Το δέσιμο των επικαλύψεων με θερμό ψεκασμό είναι κυρίως μηχανικό. Ωστόσο, η αντοχή των δεσμών δεν είναι ανεξάρτητη από το υλικό του υποστρώματος.

Όλες οι επικαλύψεις με θερμό ψεκασμό περιέχουν μια εσωτερική τάση. Αυτή η τάση γίνεται μεγαλύτερη όσο η επικάλυψη γίνεται παχύτερη. Πάντα όμως υπάρχει ένα όριο στο πόσο θα πρέπει να είναι το πάχος στην επικάλυψη που εφαρμόζεται. Σε κάποιες περιπτώσεις, μια λεπτότερη επικάλυψη μπορεί να έχει καλύτερη αντοχή

Κατά την διαδικασία εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής πάρθηκαν διάφορες ψηφιακές φωτογραφίες από το μικροσκόπιο με σκοπό την εκτίμησης του πάχους επικάλυψης και του πορώδες .

Οι υπολογισμοί έγιναν στις φωτογραφίες πιο κάτω με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος image j .Παρατίθενται πιο κάτω φωτογραφίες και πίνακες υπολογισμού

Πείραμα 1

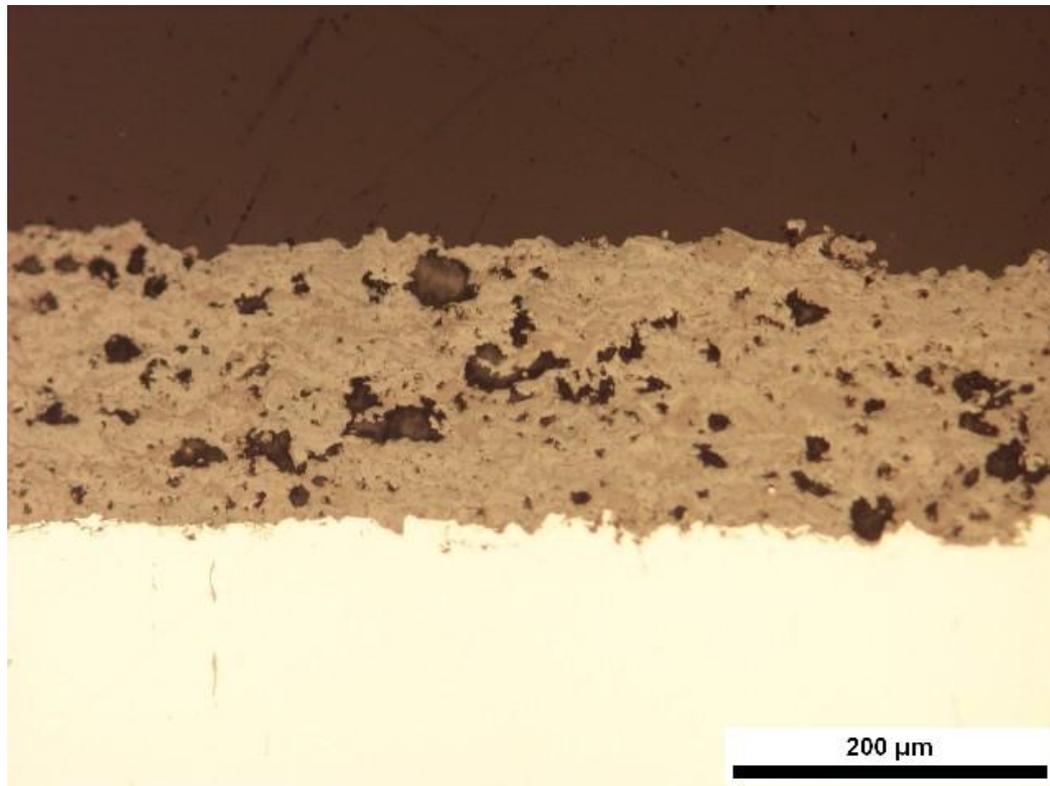


Φωτογραφία : Επικάλυψης με μεγέθυνση x 20 και κλίμακα κάτω στο δεξιά

A/A	πάχος επικάλυψης	Πορώδες
1	186,02	35,5
2	191,54	45,88
3	185,68	12,65
4	187,96	9,63
5	190,32	2,36
6	184,55	22,38
7	181,43	36,47
8	179,14	15,63
9	185,36	11,12
10	186,38	7,54

Πίνακας : πάχους επικάλυψης – πορώδες .

Πείραμα 2



Φωτογραφία : Επικάλυψης με μεγέθυνση x 20 και κλίμακα κάτω στο δεξιά

A/A	πάχος επικάλυψης	Πορώδες
1	160	38
2	152,08	14,04
3	155,87	9,43
4	163,71	18,47
5	149,56	24,04
6	161,32	5,05
7	158,74	14,86
8	154,87	20,31
9	161,16	6,45
10	162,58	8,47

Πίνακας : πάχους επικάλυψης – πορώδες .

Η επικάλυψη στις πιο πάνω φωτογραφίες μπορεί να χαρακτηριστεί ως υλικό με υψηλή ανομοιογένεια, καθώς παρατηρούνται πόροι και διάκενα διαφόρων μεγεθών και σχημάτων με μεγάλη πυκνότητα και σχετικά ομοιόμορφη κατανομή. Η σύνδεση υποστρώματος χάλυβα είναι αρκετά καλή και χαρακτηρίζεται ως μηχανική σύνδεση. Αλλά παρατηρούνται και κάποια σημεία ελαττωματικής πρόσφυσης που μπορεί να οφείλονται σε εγκιβωτισμό αέρα.

Παράλληλα μετρήθηκε το πορώδες της επικάλυψης, διαιρώντας τη συνολική επιφάνειά τους με την επιφάνεια της εγκάρσιας τομής. Προκύπτει ότι αντιστοιχούν περίπου στο 10% του συνολικού όγκου της επικάλυψης. Σημειώνεται ότι η μέτρηση του πορώδους δεν κατέστη δυνατόν να γίνει με χρήση προγράμματος ανάλυσης εικόνας, αλλά επιχειρήθηκε η μέτρηση του με χρήση υπολογιστικού προγράμματος image j αφού έγινε το σωστό καλυμπράρισμα στη κλίμακα που δίνεται κάτω δεξιά των πιο πάνω φωτογραφιών .

Η τιμή του πορώδους θεωρείται ότι βρίσκεται σε ικανοποιητικά πλαίσια καθώς και η ύπαρξή του αποτελεί ένα βασικό χαρακτηριστικό των επικαλύψεων ψεκασμού πλάσματος. Ωστόσο όμως δεν επικοινωνούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μη σχηματίζεται ένα δίκτυο που θα μπορούσε να διευκολύνει τη διάβρωση του υποστρώματος και την αποκόλληση της επικάλυψης από αυτό.

Η ύπαρξη του πορώδους αποδίδεται στο γεγονός ότι τα σταγονίδια της υγρής φάσης κατά τον ψεκασμό τους μπορεί να είναι ημιρευστά ή ακόμα και στερεά κατά τη σύγκρουσή τους με μια στερεή επιφάνεια, με αποτέλεσμα να μην προσαρμόζονται ακριβώς στη μορφολογία της επιφάνειας αυτής, με επακόλουθο τον εγκλωβισμό αέρα. Άλλη ενδεχόμενη αιτία δημιουργίας του πορώδους είναι οι μικρορωγματώσεις που μπορεί να οφείλονται στις θερμικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά την ψύξη της επικάλυψης.

Ωστόσο, οι πόροι μπορεί να έχουν ευεργετικό αποτέλεσμα ως σημεία ανακούφισης ρωγμών κατά τη θερμική κόπωση της επικάλυψης όταν αυτή χρησιμοποιείται σε σημεία τα οποία αναπτύσσουν υψηλές θερμοκρασίες. Όμως, μπορεί να έχουν και αρνητικό αποτέλεσμα σε υγρή ή θερμή διάβρωση, καθώς αποτελούν διόδους για το διαβρωτικό μέσο, το οποίο μπορεί να προσβάλει το χαλύβδινο υπόστρωμα .

Το ποσοστό των κενών που τελικά σχηματίζονται επηρεάζεται βέβαια από πολλούς παράγοντες, όπως η απόσταση υποστρώματος-πιστολιού ψεκασμού και η θερμοκρασία του υποστρώματος .

Κατόπιν μελέτης της επιφάνειας της επικάλυψης, αποδείχθηκε ότι η επιφάνεια των δειγμάτων παρουσιάζει σημαντική τραχύτητα. Η ύπαρξη της τραχιάς επιφάνειας είναι απόλυτα φυσιολογική για τέτοιου είδους επικαλύψεις και οφείλεται στον τρόπο ανάπτυξης της επικάλυψης. Ειδικότερα, οφείλεται τόσο στην διαδικασία της αμμοβολής που υπόκειται η επιφάνεια πριν την απόθεση των επικαλύψεων, ώστε να επιτευχθεί η μηχανική σύνδεση υποστρώματος - επιστρώματος, όσο και στο γεγονός ότι ολόκληρες σφαίρες να παγιδεύονται μέσα στη μάζα της.

Βιβλιογραφία

1. THERMAL SPRAY COATINGS, H.Herman and S.Sampath, The Thermal Spray Laboratory, Department of Materials Science and Engineering, State University of New York, Stony Brook

Δημοσιεύσεις

6. Mingheng Li and Panagiotis D. Christofides Multi-scale modeling and analysis of an industrial HVOF thermal spray process
7. A Rabiei^a, D.R Mum^a, J.W Hutchinson^a, R Schweinfest^c, M Rühle^c and A.G Evans Microstructure, deformation and cracking characteristics of thermal spray ferrous coatings
8. Alexander Kout Efficient stochastic simulation of thermal spray processes
9. S. Deshpande, A. Kulkarni, S. Sampath and H. Herman Application of image analysis for characterization of porosity in thermal spray coatings and correlation with small angle neutron scattering
10. R.S. Lima*, B.R. Marple From APS to HVOF spraying of conventional and nanostructured titania feedstock powders: a study on the enhancement of the mechanical properties

11 Τριβολογική συμπεριφορά δοκιμίου

11.1 Τριβόμετρο

Το τριβόμετρο είναι το όργανο που επιτρέπει τη δοκιμή σε τριβή ολίσθησης επίπεδων δοκιμίων, σε ατμόσφαιρα ελεγχόμενης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Οι παράμετροι του τριβικού συστήματος που μπορούν να επιλεγούν είναι το ανταγωνιστικό υλικό, το κάθετο φορτίο και η γραμμική ταχύτητα ολίσθησης. Η συσκευή είναι πλήρως ελεγχόμενη από Η/Υ.

Κατά την λειτουργία του περιλαμβάνει την τριβή ενός σφαιριδίου ή μιας αιχμηρής απόληξης ή ενός επιπέδου με το υπό εξέταση δοκίμιο.

Οι παράμετροι της δοκιμής, όπως ταχύτητα, συχνότητα, πίεση επαφής, αριθμός επαναλήψεων, χρόνος είναι πλήρως ελεγχόμενες, επιτρέποντας την εργαστηριακή προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών σε διαδικασίες φθοράς. Διατίθενται με κίνηση παλινδρομική ή/και περιστροφική.

Ειδικές εκδόσεις της συσκευής περιλαμβάνουν δοκιμές σε ελεγχόμενες υψηλές θερμοκρασίες, εντός υγρών, με ελεγχόμενη υγρασία ή αδρανή ατμόσφαιρα, ακόμη και υπό κενό. Προσδιορίζεται ο συντελεστής τριβής από την παραμόρφωση ενός ελαστικού βραχίονα και η φθορά των δοκιμίων από την απώλεια υλικού στο τέλος της δοκιμής. Η διαδικασία βαθμονόμησης είναι εύκολη και αυτοματοποιημένη.

Συνοδεύεται από λογισμικό πρόγραμμα ελέγχου, ανάκτησης και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, με απεικόνιση του συντελεστή τριβής σε πραγματικό χρόνο, στατιστικούς υπολογισμούς κ.α.

11.2 Τριβολογικό πείραμα

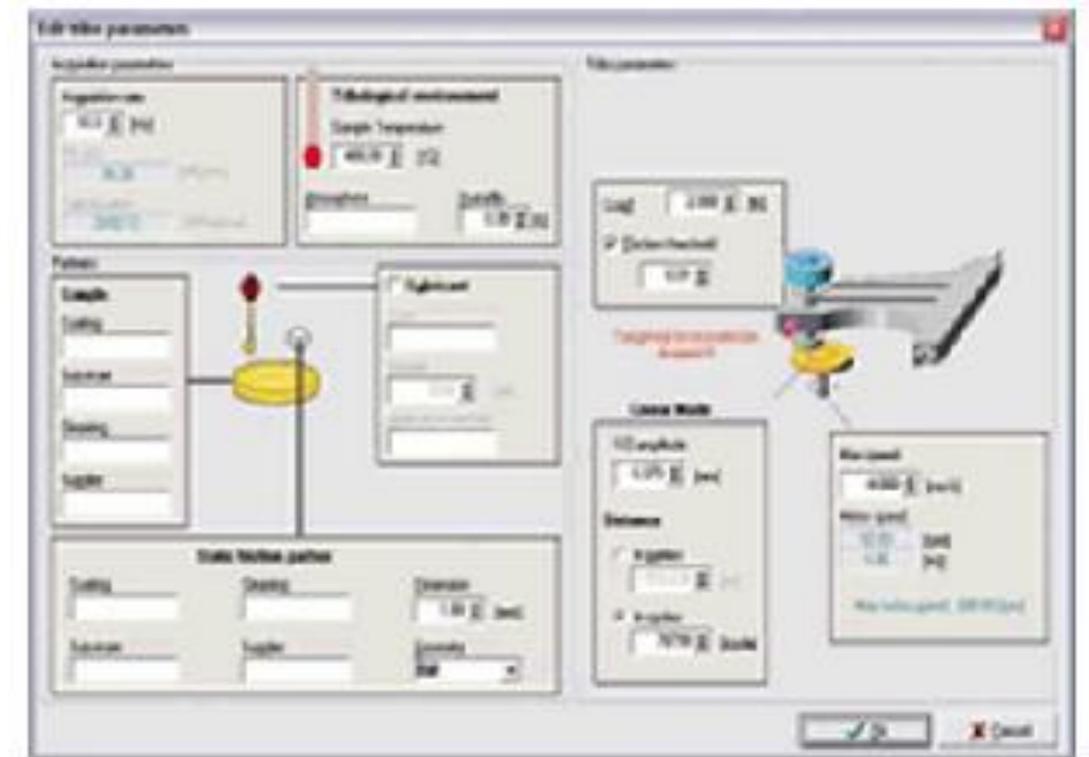
Η εκτέλεση του πειράματος πραγματοποιήθηκαν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (περίπου 20 °C και 70% υγρασία).Το όργανο ρυθμίστηκε να μετρά με συχνότητα 0,5 Hz (δηλαδή κάθε 2 seconds). Η ρύθμιση αυτή καθορίζεται εύκολα από το χειριστή της συσκευής μέσω του H/Y.

Κατά την εκτέλεση της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε στις συγκεκριμένες δοκιμές είναι το TRN tribometer της CSEM (απεικονίζεται πιο κάτω) και το πείραμα έγινε σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (περίπου 20 °C και 70% υγρασία). Το όργανο ρυθμίστηκε να μετρά με συχνότητα 0,5 Hz (δηλαδή κάθε 2 seconds). Η ρύθμιση αυτή καθορίζεται εύκολα από το χειριστή της συσκευής μέσω του H/Y.

Ακόμη ο χρήστης της συσκευής καθορίζει και την ακτίνα που θα διαγράφει ο στυλίσκος πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την εναλλαγή διαφόρων φορτίων ή ταχυτήτων πάνω στην ίδια επικάλυψη. Το κάθετο φορτίο στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ήταν 1 , 2 και 10 N.



Φωτογραφία : Τριβόμετρον



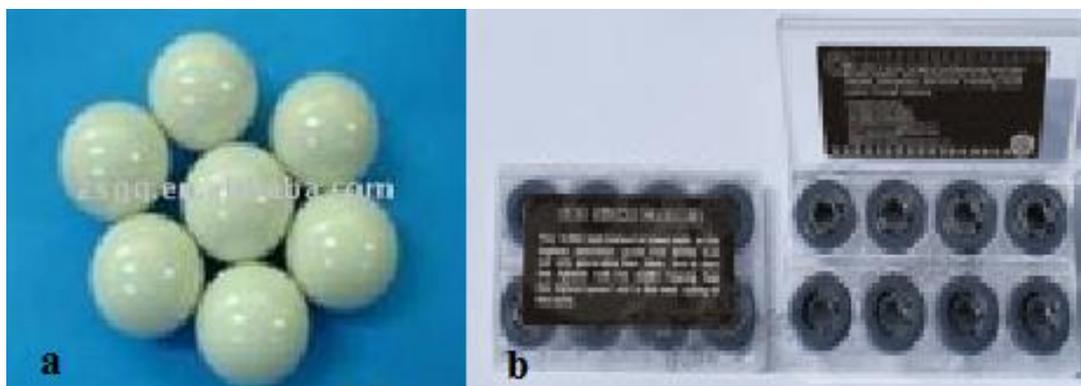
Σχήμα : Πρόγραμμα στο ηλ. Υπολογιστή

Οι συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια της δοκιμής τριβής, κατά τα γνωστά, συνδέονται με την τριβολογική συμπεριφορά των υλικών που μελετούνται. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξαρτώνται από: τις επικρατούσες στο χώρο συνθήκες, το ανταγωνιστικό υλικό της ακίδας του στυλίσκου το οποίο είναι Si_3N_4 , την ακτίνα που διαγράφει η ακίδα την ταχύτητα περιστροφής 0.01cm ,0.15 cm , 0.2 cm του δοκιμίου το ασκούμενο φορτίο και την συνολική απόσταση που διαγράφει ο στυλίσκος

11.3 Μετρήσεις και αποτελέσματα

Οι μετρήσεις του συντελεστή τριβής λαμβάνονται κάθε 1mm (περίπου) από τη συσκευή του τριβομέτρου. Κατόπιν επεξεργασίας των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα διαγράμματα που παρουσιάζουν την εξέλιξη του συντελεστή τριβής και του όγκου φθοράς κατά τη διάρκεια της κάθε δοκιμής. Στα σχήματα παρουσιάζονται τα διαγράμματα του συντελεστή τριβής συναρτήσει του μήκους ολίσθησης για τα δύο διαφορετικά σφαιρίδια που χρησιμοποιήθηκαν (Si_3N_4 και Al_2O_3).

Αρχικά παρουσιάζονται τα γραφήματα για σφαιρίδια Al_2O_3 και οι αρχικές συνθήκες όπου τέθηκαν στο τριβόμετρο και μετά για Si_3N_4



Φωτογραφία : α) σφαιρίδια Al_2O_3 β) σφαιρίδια Si_3N_4

Για κάθετο φορτίο 1 N με σφαιρίδια Al₂O₃ .

Πίνακας	
Ακτίνα	: 10,00 [mm]
Ταχύτητα	: 50,00 [cm/s]
Φορτίο	: 1,00 [N]
Διανυθείσα απόσταση	: 2000,00 [m]
Μονάδα απόστασης	: Meters
Συχνότητα μηχανής	: 0,1 [Hz]
Στατικές συνιστώσες	
-Διάσταση	: 1,00 [mm]
Γεωμετρία :	
Συνθήκες περιβάλλοντος	
Θερμοκρασία	: 20,00 [°C]
Υγρασία	: 0,00 [%]

Πίνακας : Τριβολογικών παραμέτρων



Σχήμα: Συντελεστών τριβής για κάθετο 1 N φορτίο με ανταγωνιστικό υλικό του σφαιριδίου Al₂O₃.

Για κάθετο φορτίο 2 N με σφαιρίδια Al_2O_3 .

Πίνακας
Ακτίνα : 15,02 [mm]
Ταχύτητα: 50,00 [cm/s]
Φορτίο : 2,00 [N]
Διανυθείσα απόσταση : 2000,00 [m]
Μονάδα απόστασης: Meters
Συχνότητα μηχανής: 0,1 [Hz]
Στατικές συνιστώσες
- Διάσταση: 1,00 [mm]
- Γεωμετρία :
Συνθήκες περιβάλλοντος
Θερμοκρασία : 20,00 [°C]
Υγρασία: 0,00 [%]

Πίνακας : Τριβολογικών παραμέτρων

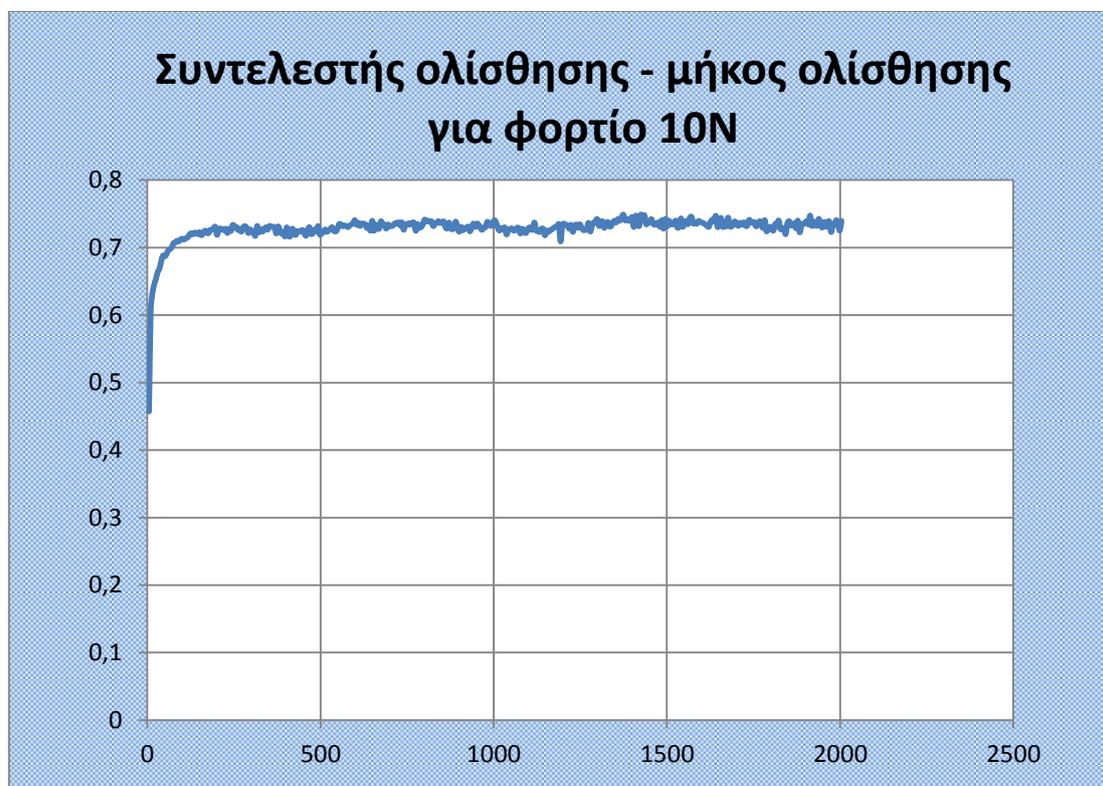


Σχήμα: Συντελεστών τριβής για κάθετο 2 N φορτίο με ανταγωνιστικό υλικό του σφαιριδίου Al_2O_3 .

Για κάθετο φορτίο 10 N με σφαιρίδια Al₂O₃.

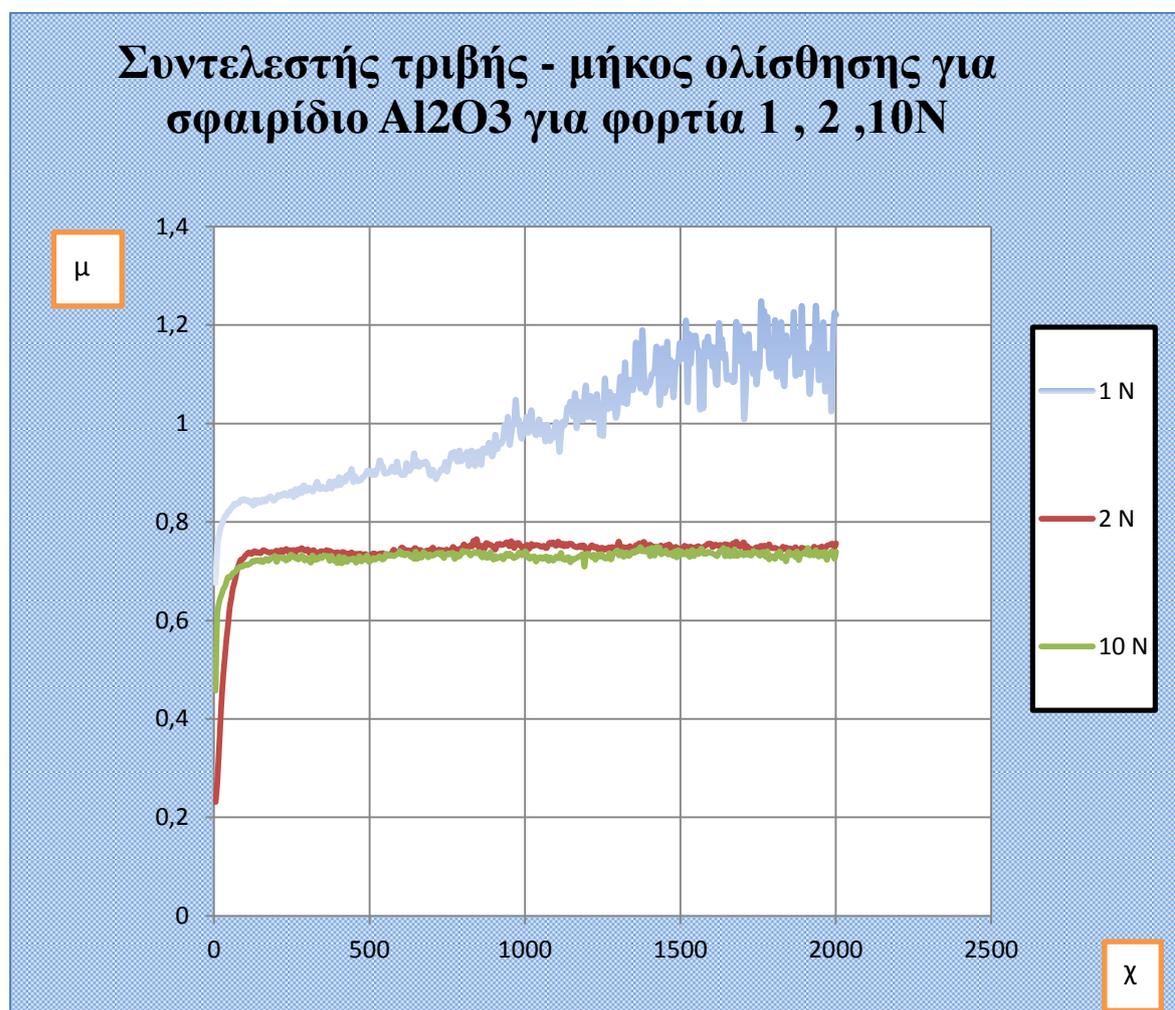
Πίνακας	
Ακτίνα	: 20,00 [mm]
Ταχύτητα	: 50,00 [cm/s]
Φορτίο	: 10,00 [N]
Διανυθείσα απόσταση	: 2000,00 [m]
Μονάδα απόστασης	: Meters
Συχνότητα μηχανής	: 0,1 [Hz]
Στατικές συνιστώσες	
-Διάσταση	: 1,00 [mm]
Γεωμετρία :	
Συνθήκες περιβάλλοντος	
Θερμοκρασία	: 20,00 [°C]
Υγρασία	: 0,00 [%]

Πίνακας Τριβολογικών παραμέτρων



Σχήμα: Συντελεστή τριβής για κάθετο 1 N φορτίο με ανταγωνιστικό υλικό του σφαιριδίου Al₂O₃.

Για κάθετο φορτίο 1, 2 και 10 N με σφαιρίδια Al_2O_3 .



Σχήμα: Σύγκριση συντελεστών τριβής για διαφορετικό κάθετο φορτίο 1 , 2 10 N με ανταγωνιστικό υλικό του σφαιριδίου Al_2O_3 .

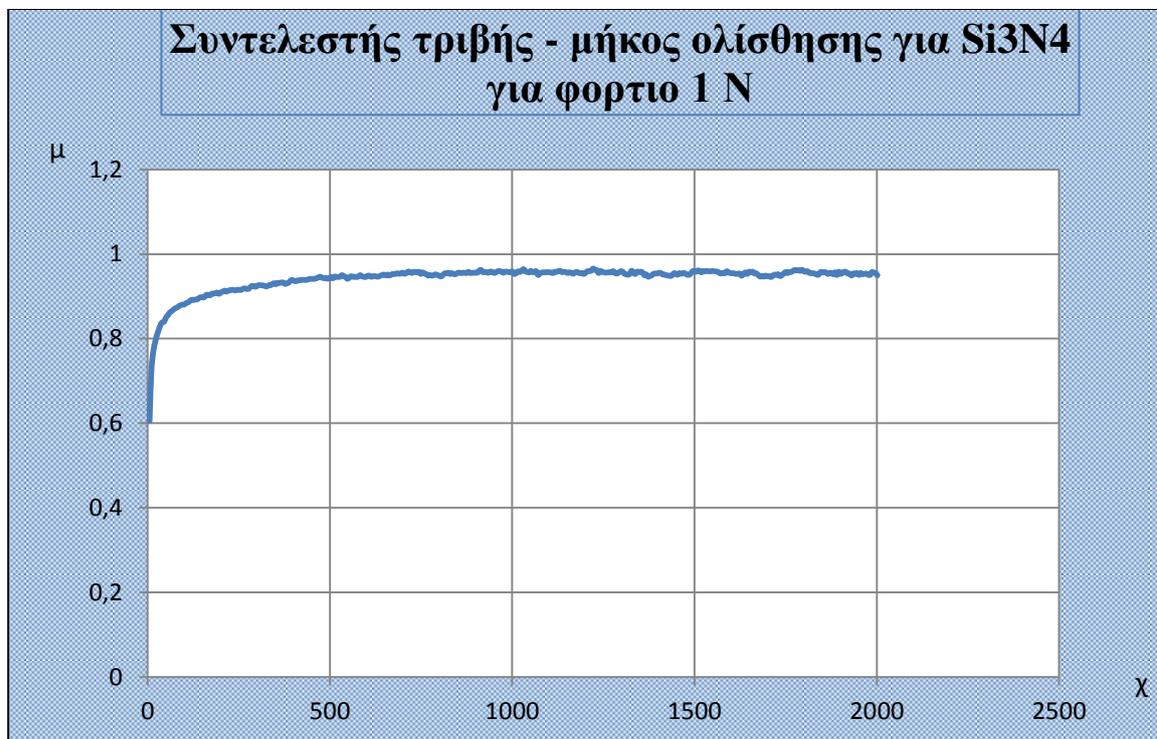
Στο σχήμα παρουσιάζεται η εξέλιξη του συντελεστή τριβής χρησιμοποιώντας σφαιρίδιο Al_2O_3 για τα κάθετα φορτία 1 , 2 και 10 N και για μήκος ολίσθησης 2000 m. Παρατηρούμε μία σημαντική διαφορά στα τρεις καμπύλες.

Συγκεκριμένα, αν εξετάσουμε τις καμπύλη για το κάθετο φορτίο των 1 N, βλέπουμε ότι ο συντελεστής τριβής αυξάνει αλλά μετά τα 1000m παρατηρούμαι μια σημαντική αυξομείωση του συντελεστή τριβή. Για την δεύτερη και τρίτη καμπύλη, με φορτίο 5, 10 N, παρατηρείτε μία σημαντική αύξηση του συντελεστή τριβής τα πρώτα 200 m, η οποία μετά παραμένει σταθερή .

Για κάθετο φορτίο 1 N με σφαιρίδια Si3N4

Πίνακας
Ακτίνα : 10,00 [mm]
Ταχύτητα: 50,00 [cm/s]
Φορτίο : 1,00 [N]
Διανυθείσα απόσταση : 2000,00 [m]
Μονάδα απόστασης: Meters
Συχνότητα μηχανής: 0,1 [Hz]
Στατικές συνιστώσες
--Διάσταση : 1,00 [mm]
- Γεωμετρία :
Συνθήκες περιβάλλοντος
Θερμοκρασία: 20,00 [°C]
Υγρασία : 0,00 [%]

Πίνακας : Τριβολογικών παραμέτρων

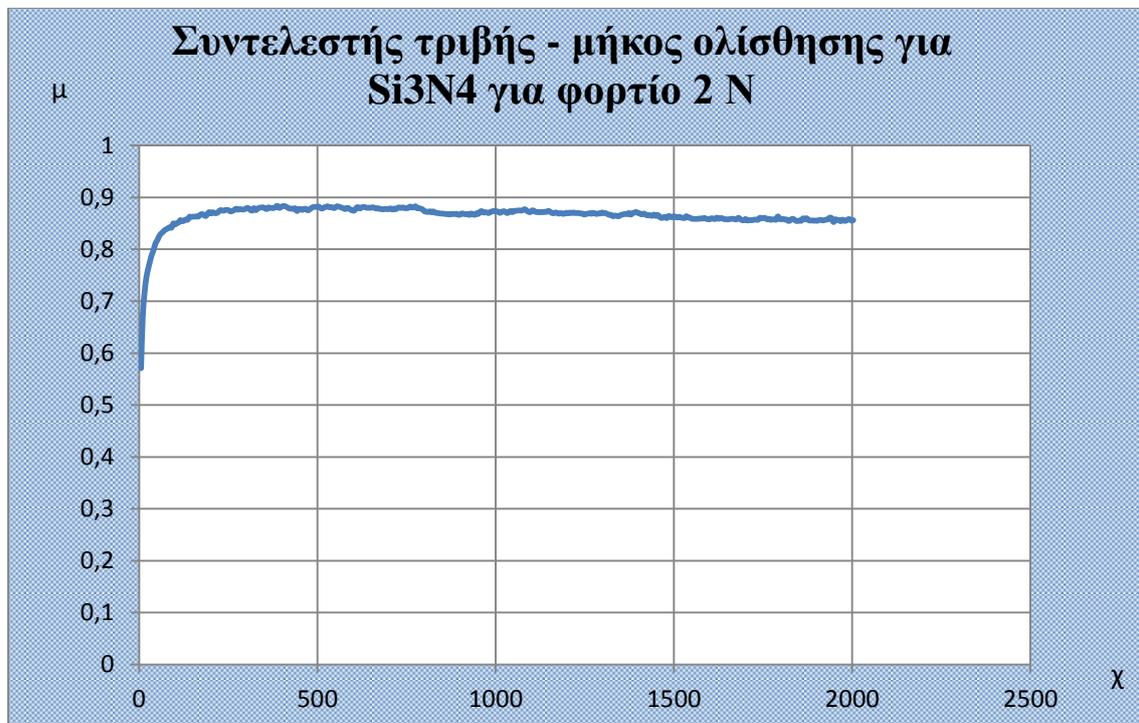


Σχήμα: Συντελεστή τριβής για κάθετο 1 N φορτίο με ανταγωνιστικό υλικό του σφαιριδίου Si3N4.

Για κάθετο φορτίο 2 N με σφαιρίδια Si3N4

Πίνακας	
Ακτίνα	: 15,01 [mm]
Ταχύτητα	: 50,00 [cm/s]
Φορτίο	: 2,00 [N]
Διανυθείσα απόσταση	: 2000,00 [m]
Μονάδα απόστασης	: Meters
Συχνότητα μηχανής	: 0,1 [Hz]
Στατικές συνιστώσες	
-Διάσταση	: 1,00 [mm]
Γεωμετρία :	
Συνθήκες περιβάλλοντος	
Θερμοκρασία	: 20,00 [°C]
Υγρασία	: 0,00 [%]

Πίνακας Τριβολογικών παραμέτρων

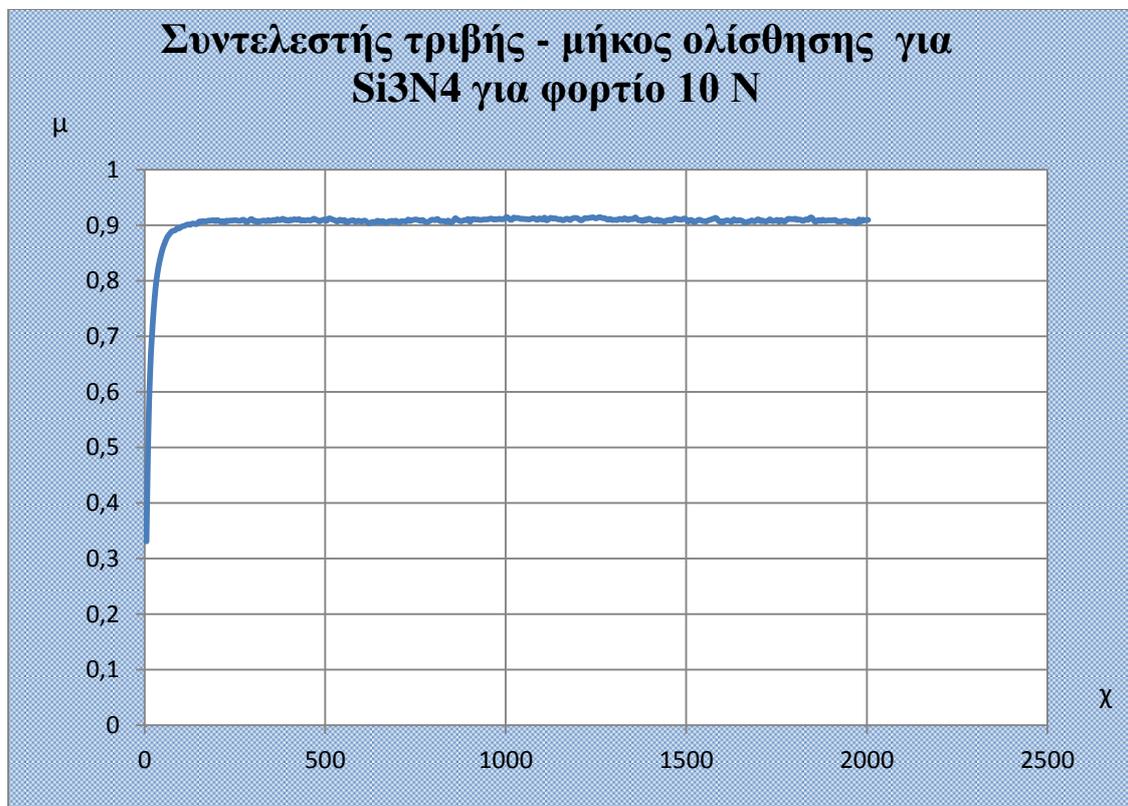


Σχήμα: Συντελεστή τριβής για κάθετο 2 N φορτίο με ανταγωνιστικό υλικό του σφαιριδίου Si3N4.

Για κάθετο φορτίο 10 N με σφαιρίδια Si3N4

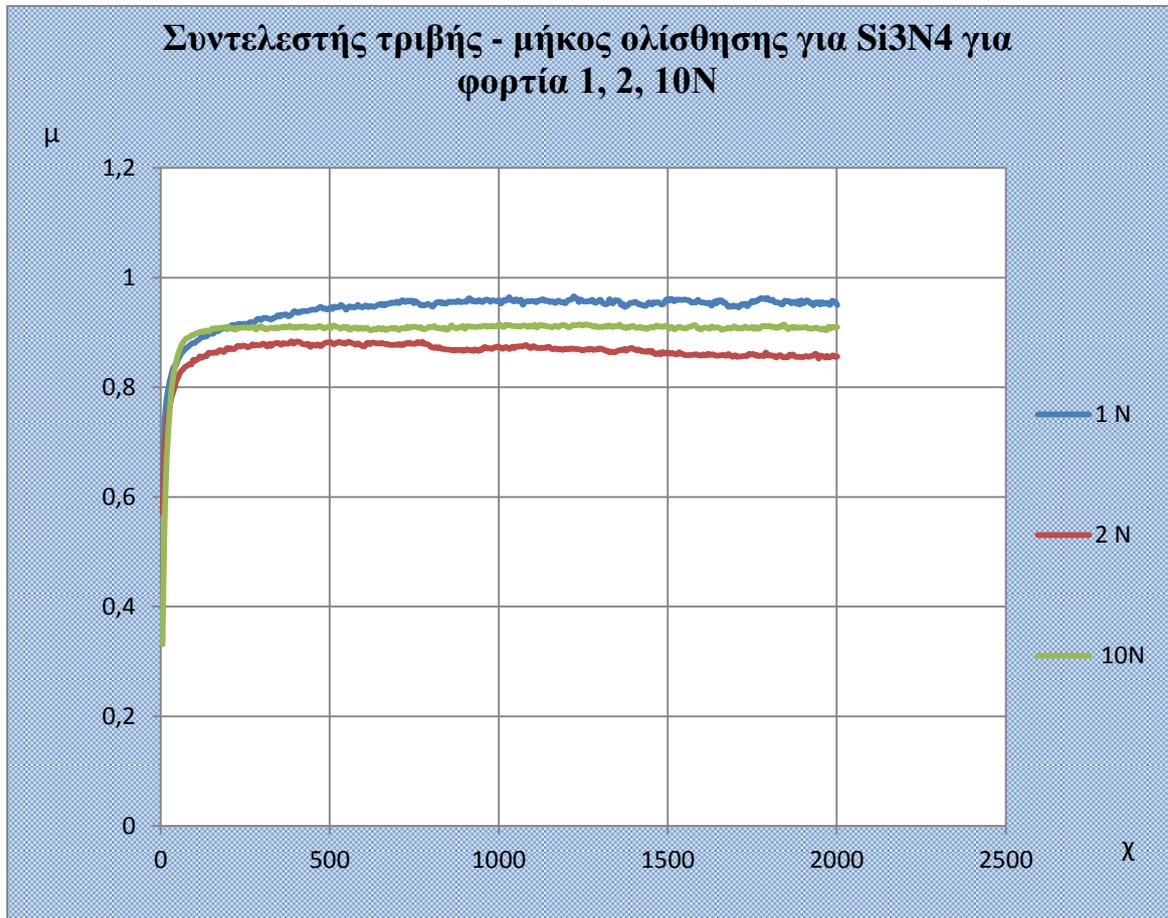
Πίνακας	
Ακτίνα	: 20,00[mm]
Ταχύτητα	: 50,00 [cm/s]
Φορτίο	: 10,00 [N]
Διανυθείσα απόσταση	: 2000,00 [m]
Μονάδα απόστασης	: Meters
Συχνότητα μηχανής	: 0,1 [Hz]
Στατικές συνιστώσες	
-Διάσταση	: 1,00 [mm]
Γεωμετρία :	
Συνθήκες περιβάλλοντος	
Θερμοκρασία	: 20,00 [°C]
Υγρασία	: 0,00 [%]

Πίνακας : Τριβολογικών παραμέτρων



Σχήμα: Συντελεστή τριβής για κάθετο 10 N φορτίο με ανταγωνιστικό υλικό του σφαιριδίου Si3N4.

Για κάθετο φορτίο 1, 2 και 10 N με σφαιρίδια Si3N4

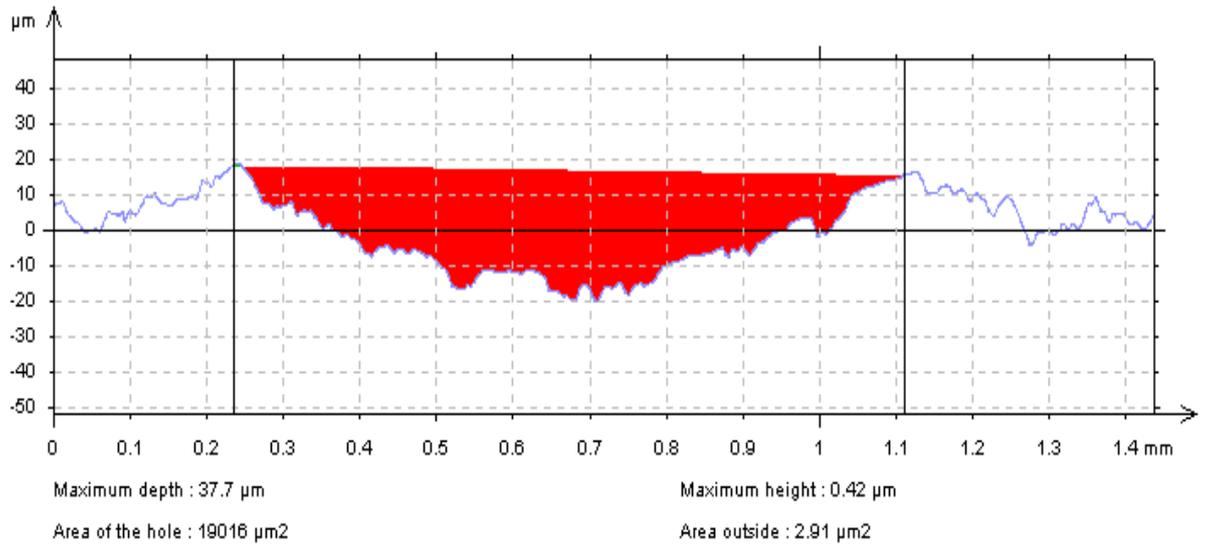


Σχήμα: Σύγκριση συντελεστών τριβής για διαφορετικό κάθετο φορτίο 1 , 2 10 N με ανταγωνιστικό υλικό του σφαιριδίου Si3N4

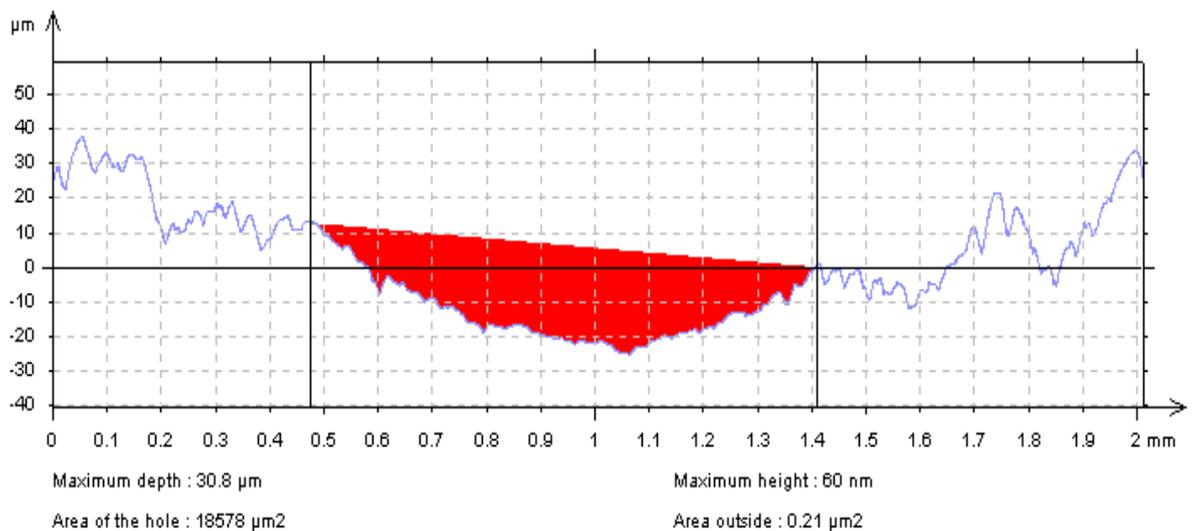
Στο πιο πάνω σχήμα παρουσιάζεται η εξέλιξη του συντελεστή τριβής χρησιμοποιώντας σφαιρίδιο Si3N4 για τα κάθετα φορτία 1, 2 και 10 N και για μήκος ολίσθησης 2000 m. Παρατηρούμε μικρή διαφορά φορά στην εξέλιξη του συντελεστή τριβής για τα δύο διαφορετικά φορτία. Συγκεκριμένα, έχουμε αύξηση του συντελεστή τριβής για τα πρώτα 200 m και μετά ο συντελεστής τριβής κυμαίνεται σχετικά σταθερός γύρω από μια τιμή 0,9 . Επίσης παρατηρούμαι ότι ενώ οι συντελεστές τριβής ξεκινούν να κυμαίνονται γύρω από μια τιμή με μεγαλύτερη τι τιμή για φορτίο 1 N η οποία είναι 0,97 , για φορτίο 10 N η οποία είναι 0,91 και για φορτίο 5 N η οποία είναι 0,87

Τυπικές μορφές του κρατήρα φθοράς συναρτήσει του μήκους ολίσθησης, με σταθερό κάθετο φορτίο 1 , 2 10 N και υλικό εκτριβής Al₂O₃.

Για κάθετη δύναμη 1 N

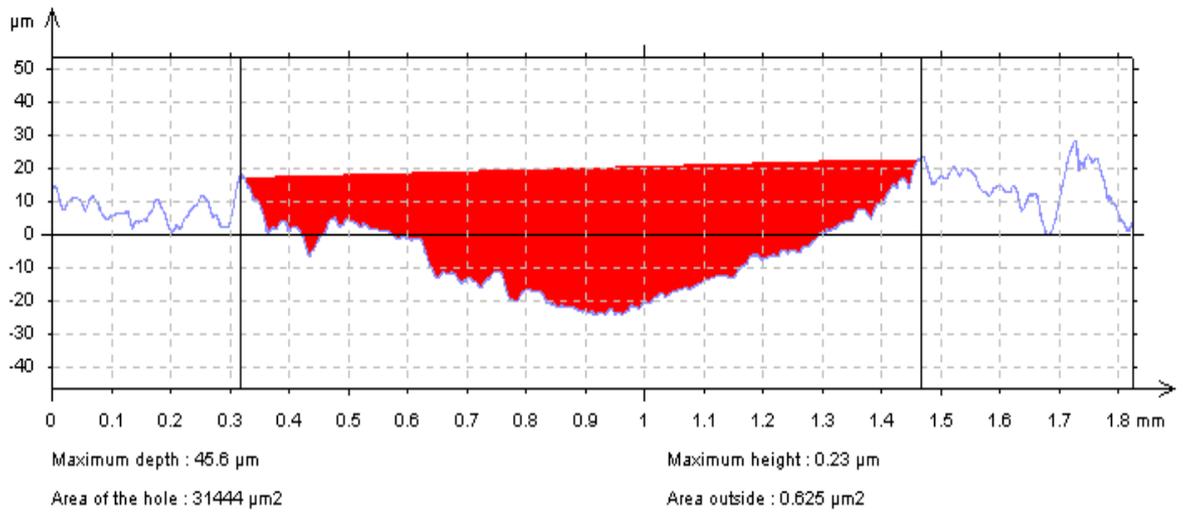


Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO₂ για μήκος ολίσθησης x=500m, για σταθερό κάθετο φορτίο 1 N και υλικό εκτριβής Al₂O₃.

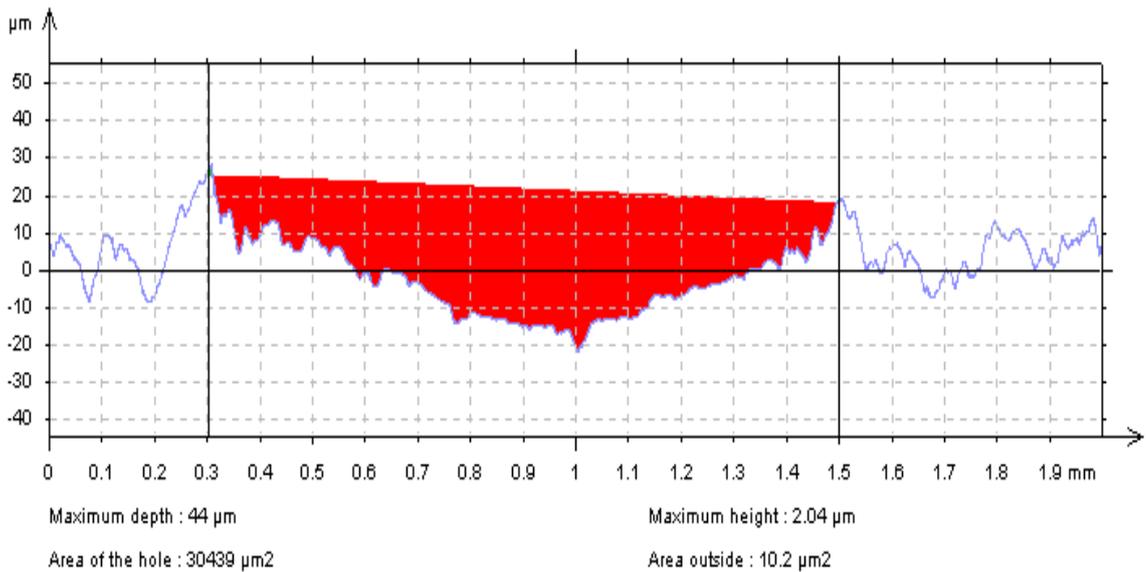


Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO₂ για μήκος ολίσθησης x=1000m, για σταθερό κάθετο φορτίο 1 N και υλικό εκτριβής Al₂O₃.

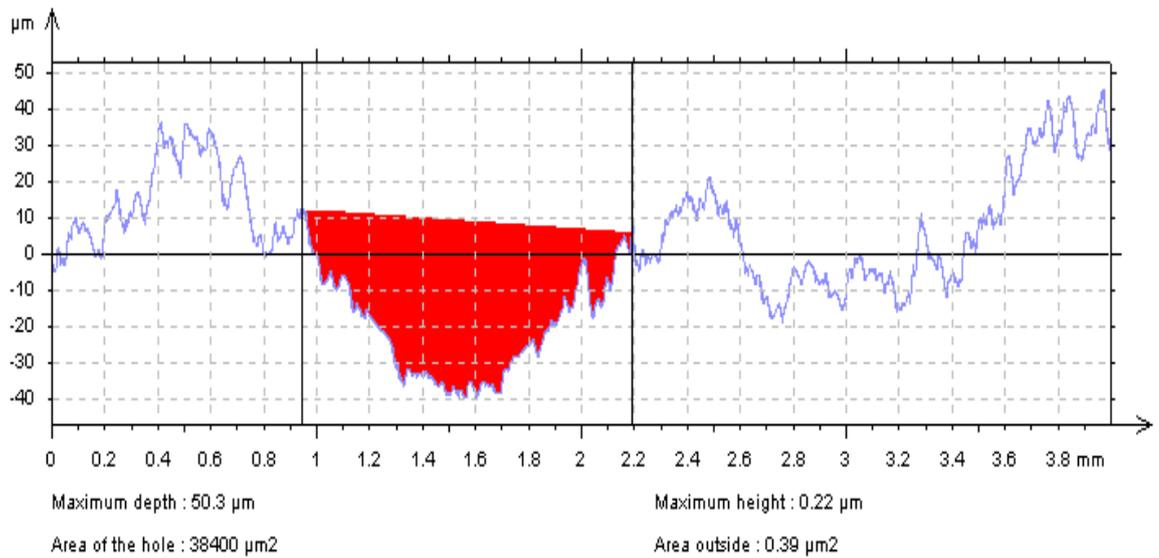
Για κάθετη δύναμη 2 N



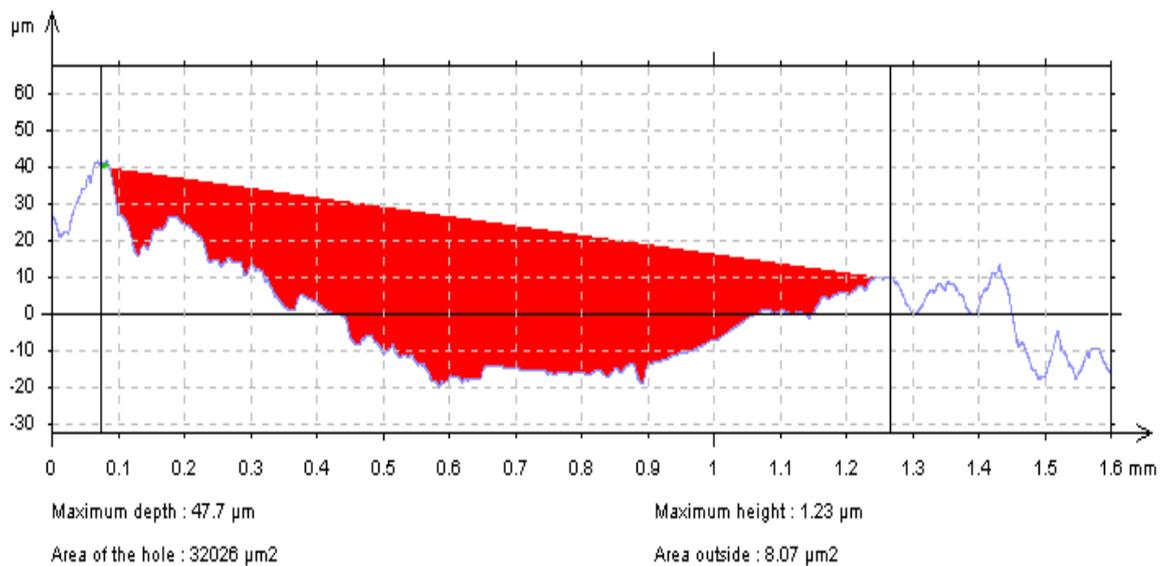
Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=500\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 2 N και υλικό εκτριβής Al_2O_3 .



Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=1000\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 2 N και υλικό εκτριβής Al_2O_3 .

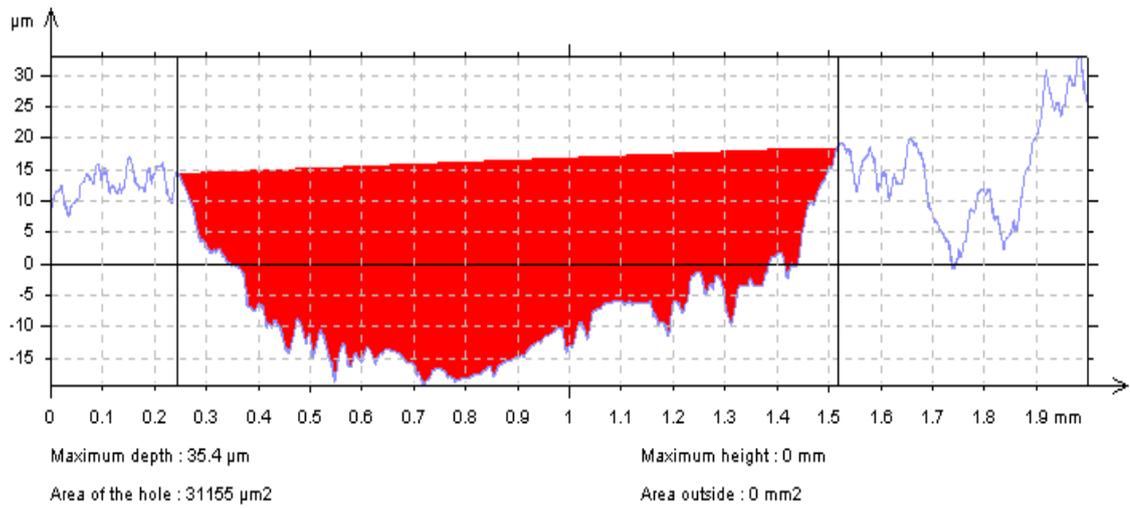


Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=200\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 2 N και υλικό εκτριβής Al_2O_3 .

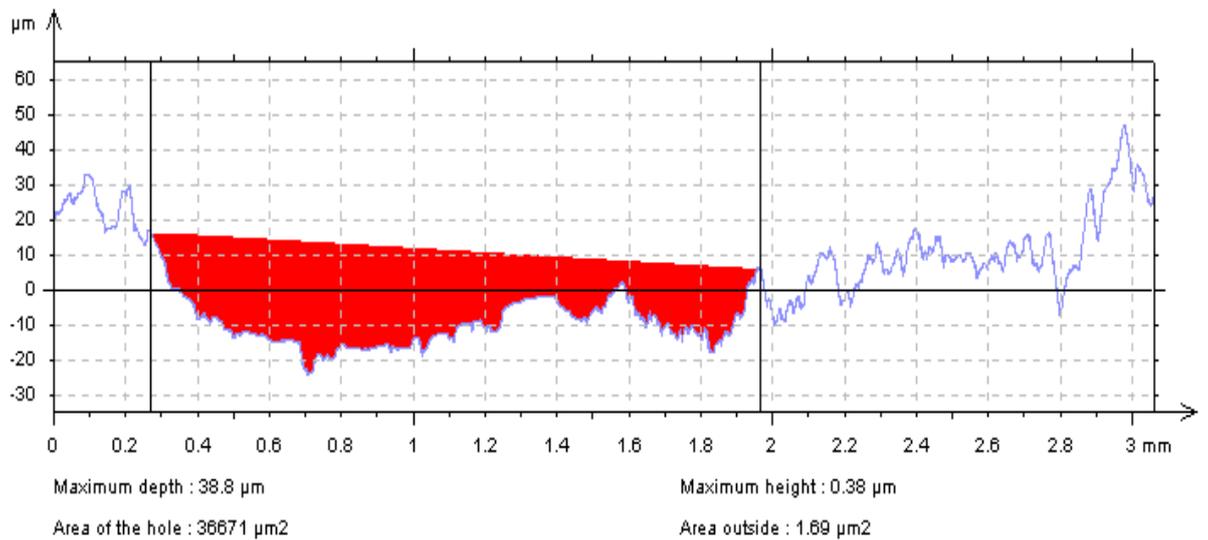


Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=200\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 2 N και υλικό εκτριβής Al_2O_3 .

Για κάθετη δύναμη 10 N



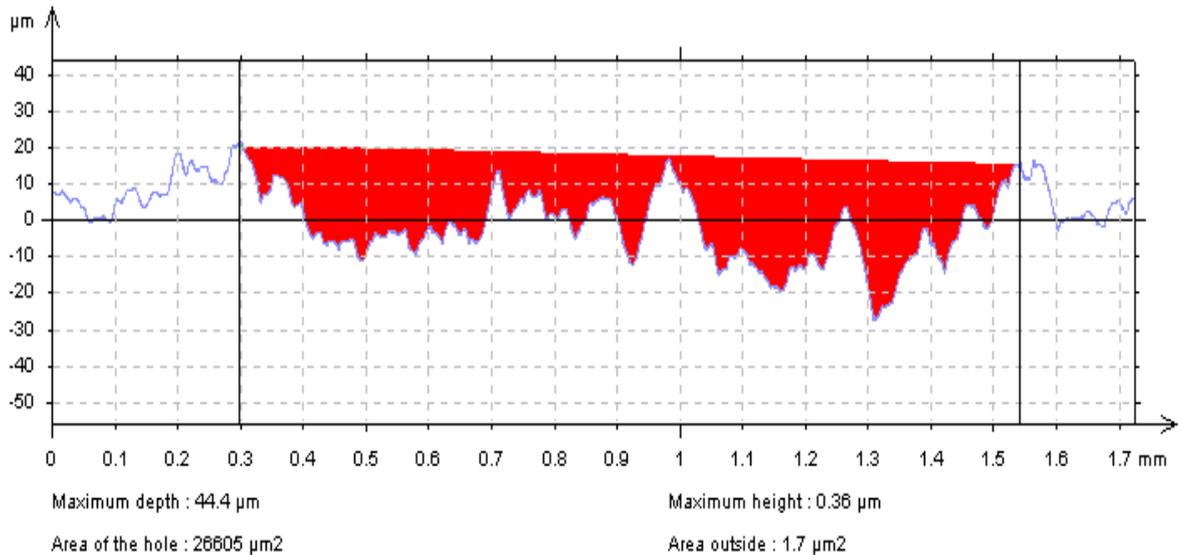
Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=600\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 10 N και υλικό εκτριβής Al_2O_3 .



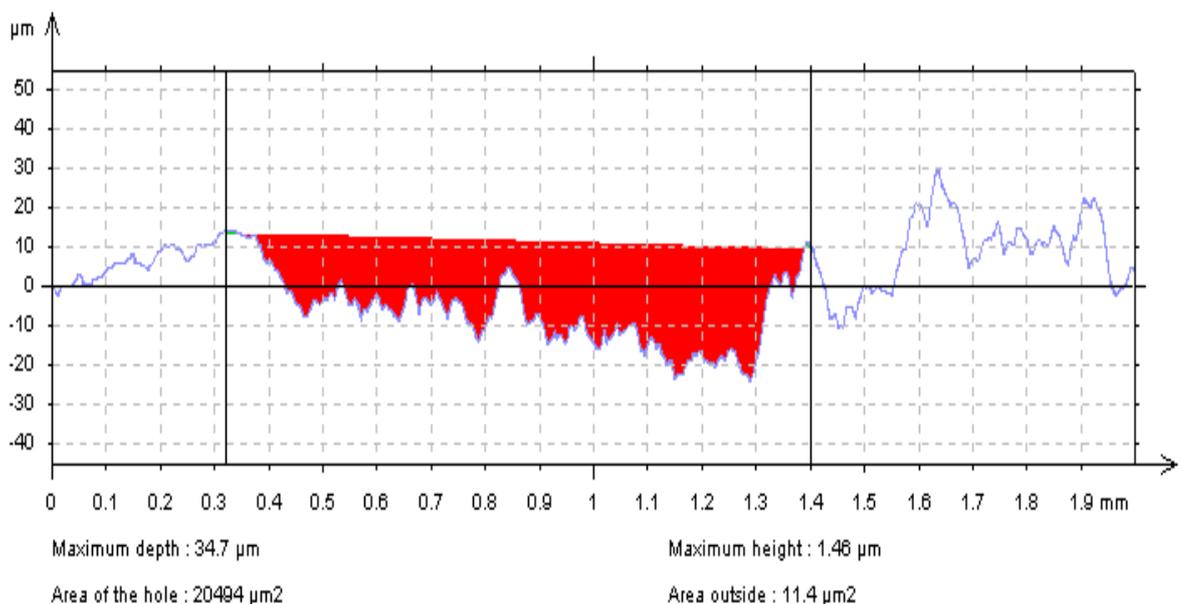
Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=1800\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 1 N και υλικό εκτριβής Al_2O_3 .

Τυπικές μορφές του κρατήρα φθοράς συναρτήσει του μήκους ολίσθησης, με σταθερό κάθετο φορτίο 1 , 2 10 N και υλικό εκτριβής Si3N4

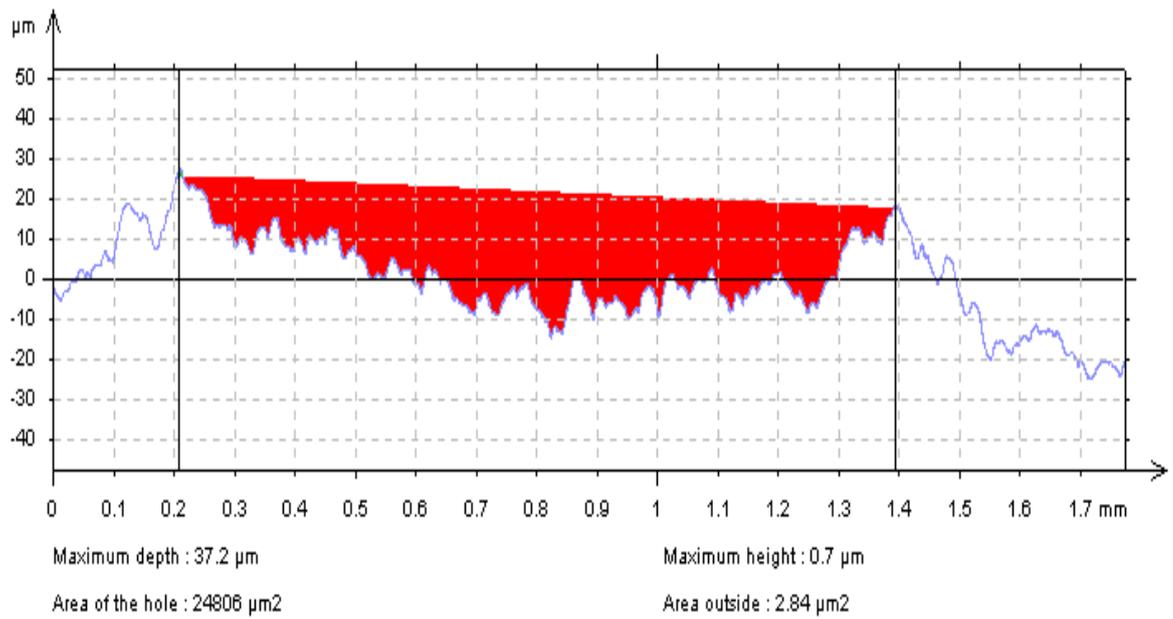
Για κάθετη δύναμη 1 N



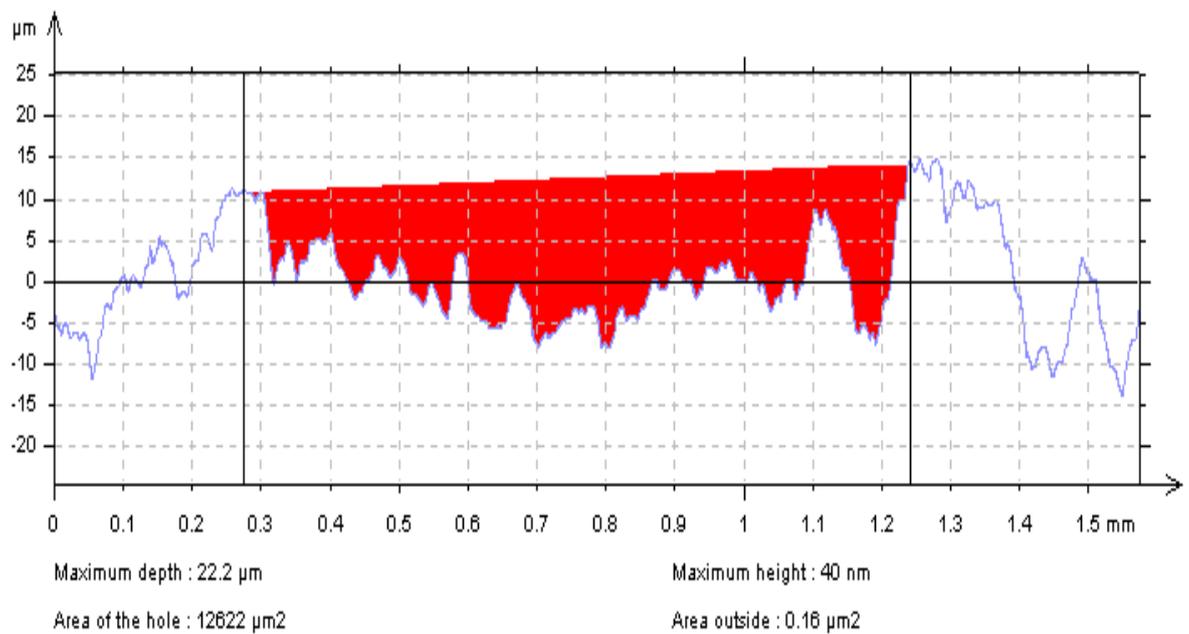
Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO2 για μήκος ολίσθησης $x=500\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 1 N και υλικό εκτριβής Si3N4.



Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO2 για μήκος ολίσθησης $x=1000\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 1 N και υλικό εκτριβής Si3N4

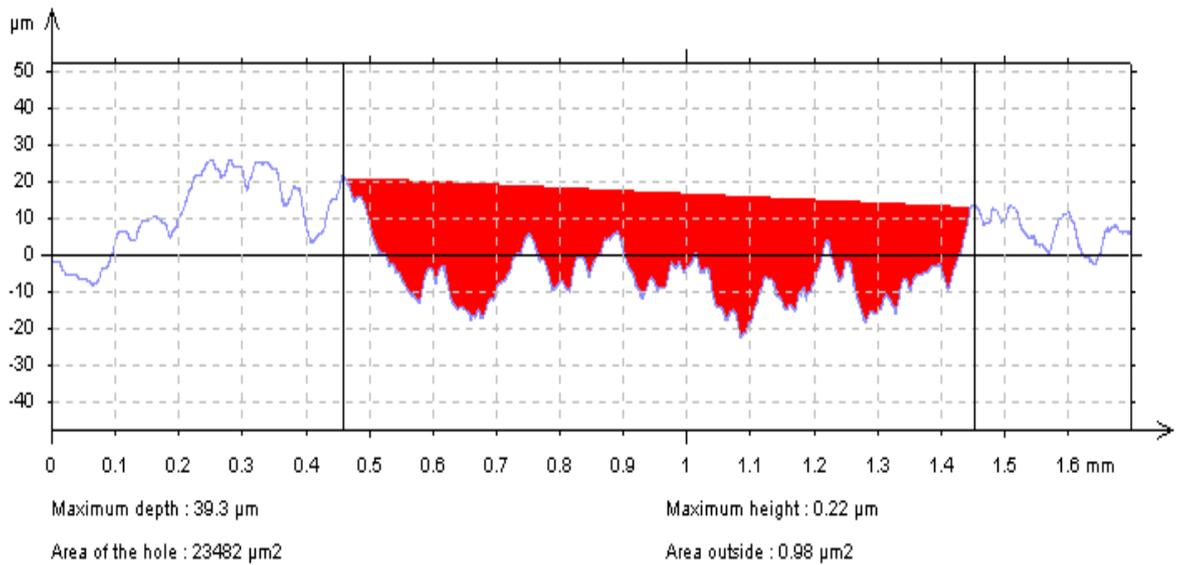


Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=1500\mu\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 1 N και υλικό εκτριβής Si_3N_4

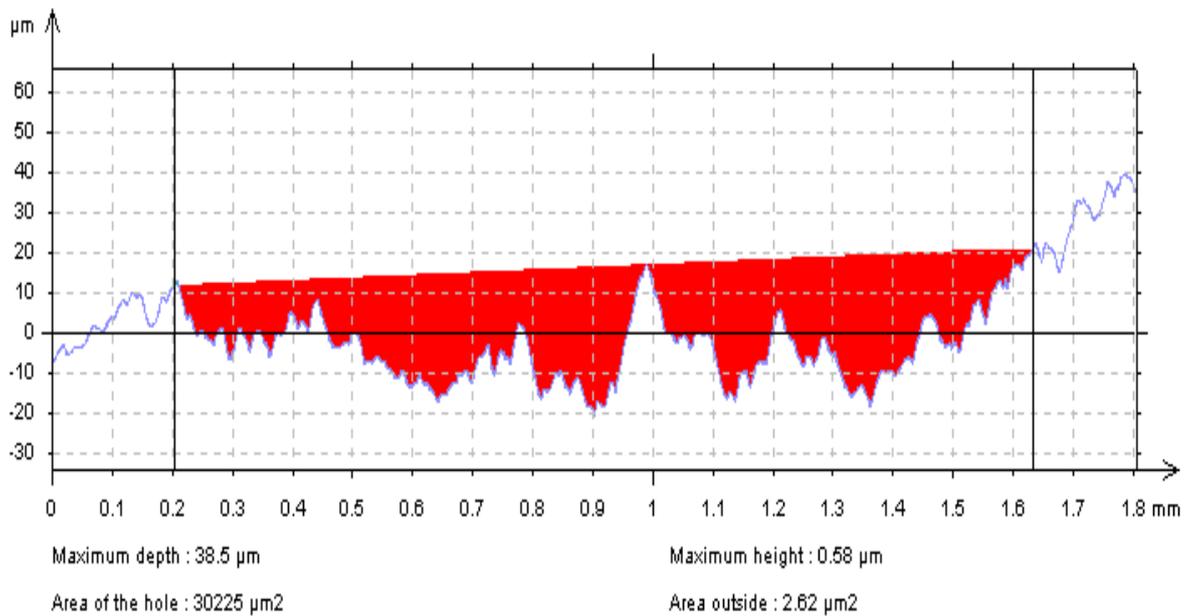


Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=2000\mu\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 1 N και υλικό εκτριβής Si_3N_4

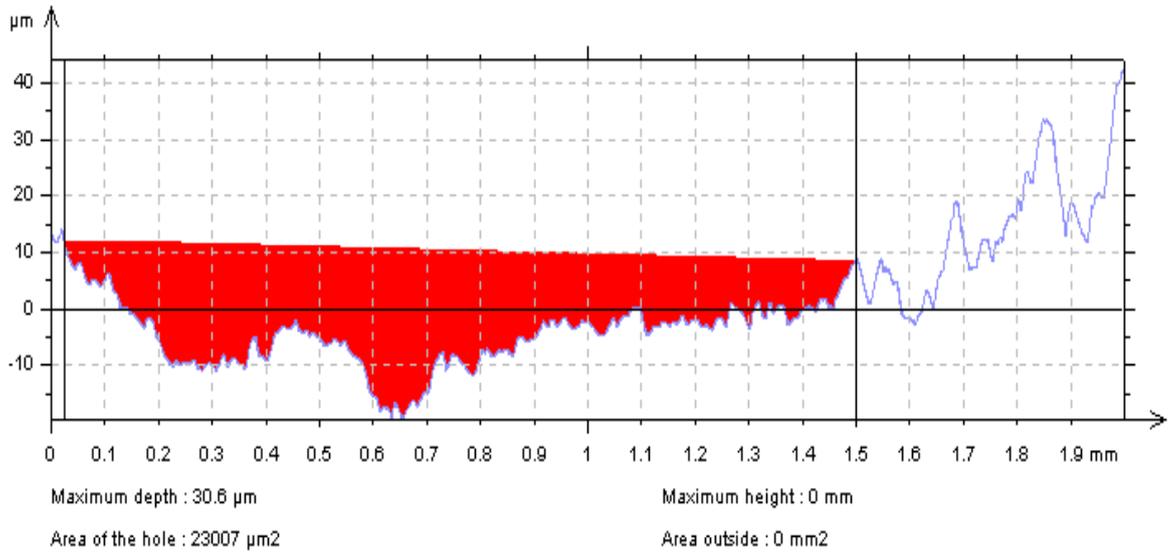
Για κάθετη δύναμη 2 N



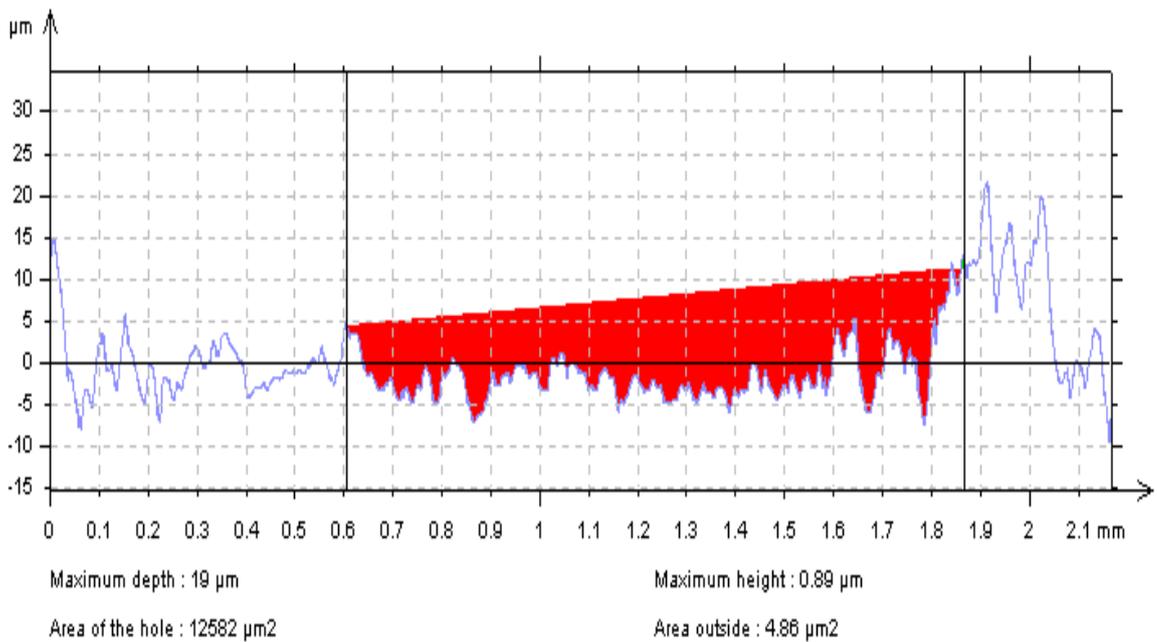
Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=600\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 2 N και υλικό εκτριβής Si_3N_4



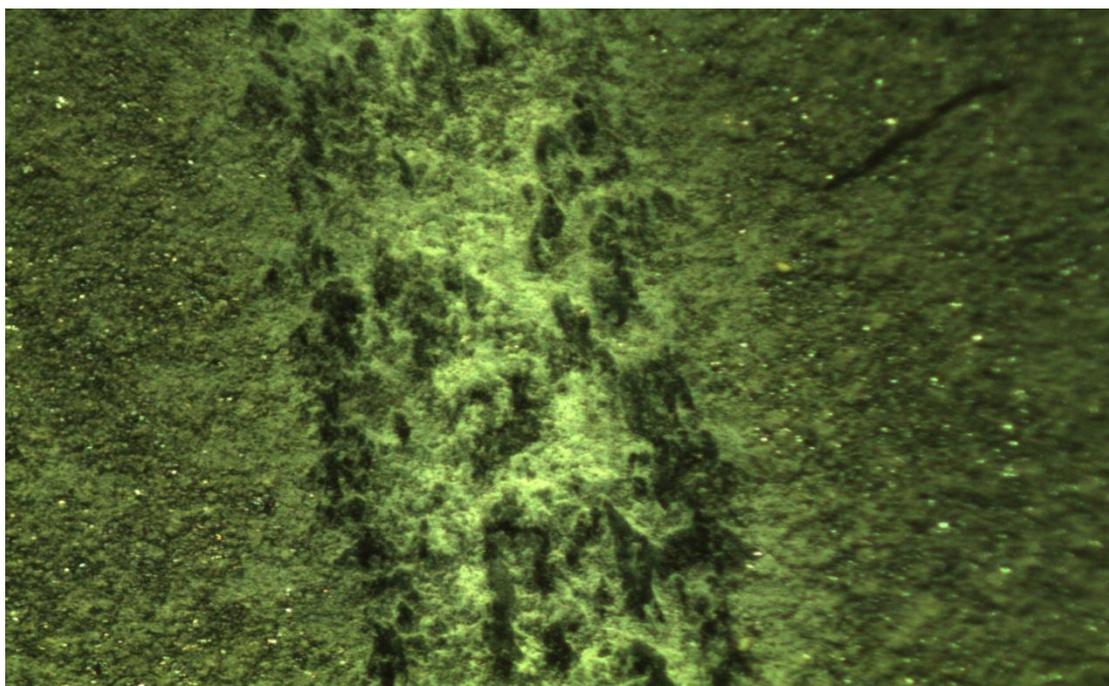
Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=1200\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 2 N και υλικό εκτριβής Si_3N_4



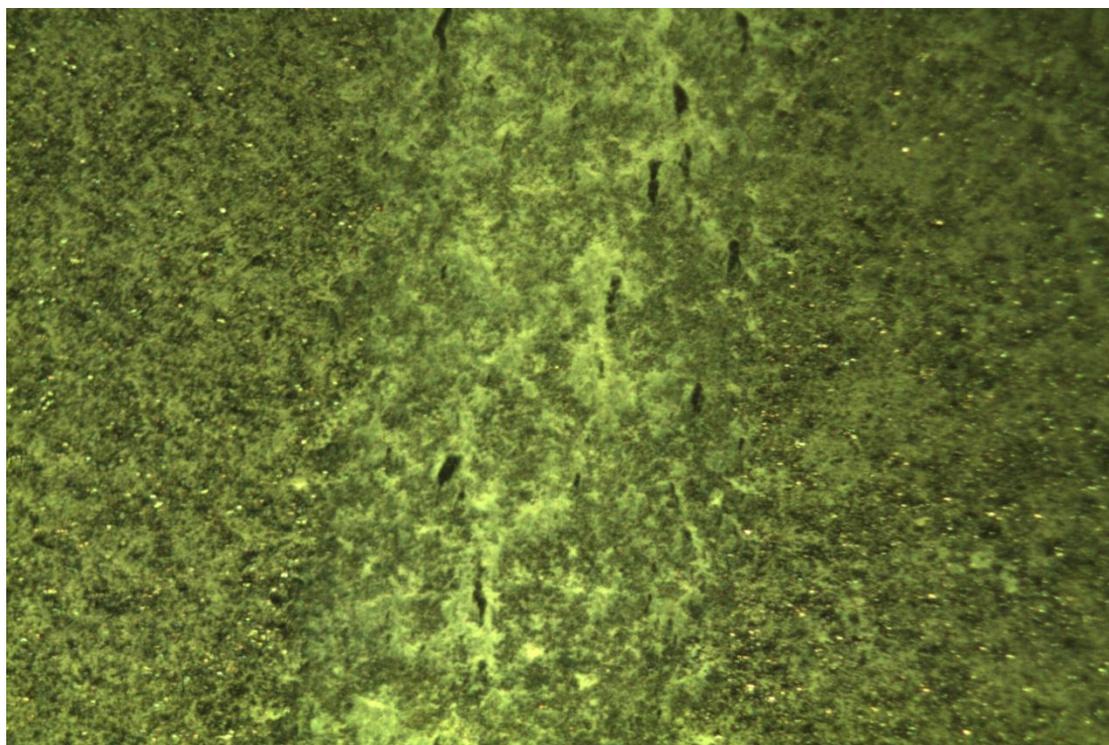
Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=1200\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 10 N και υλικό εκτριβής Si_3N_4



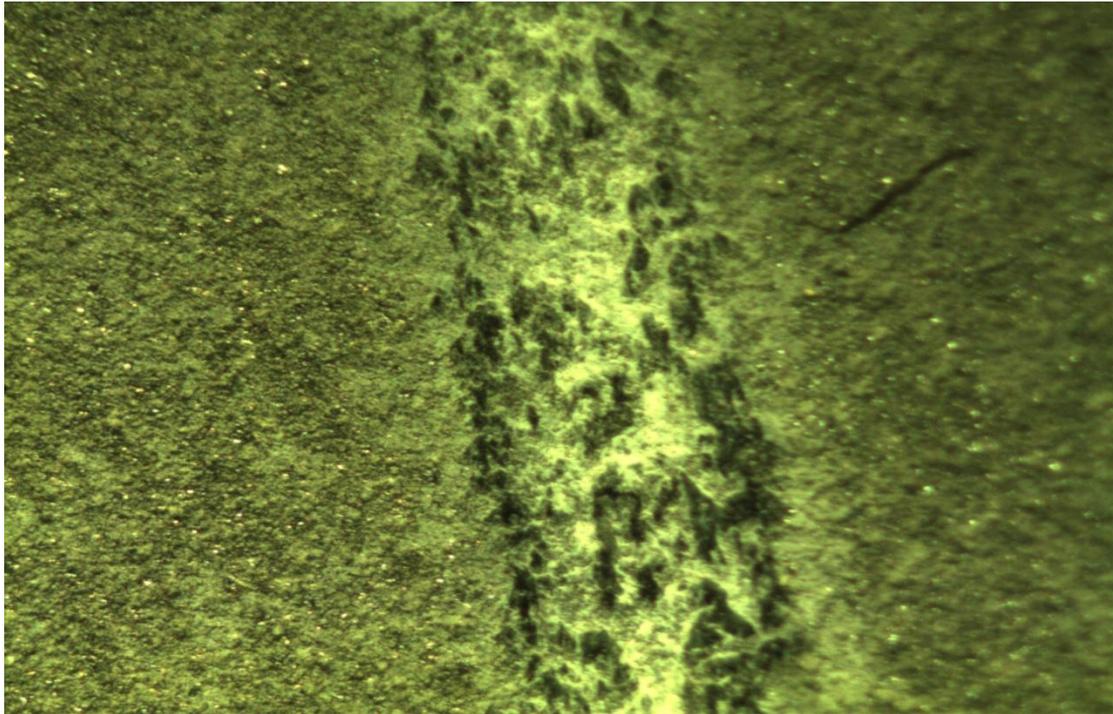
Σχήμα : Κρατήρας φθοράς στην επικάλυψη TiO_2 για μήκος ολίσθησης $x=1800\text{m}$, για σταθερό κάθετο φορτίο 10 N και υλικό εκτριβής Si_3N_4



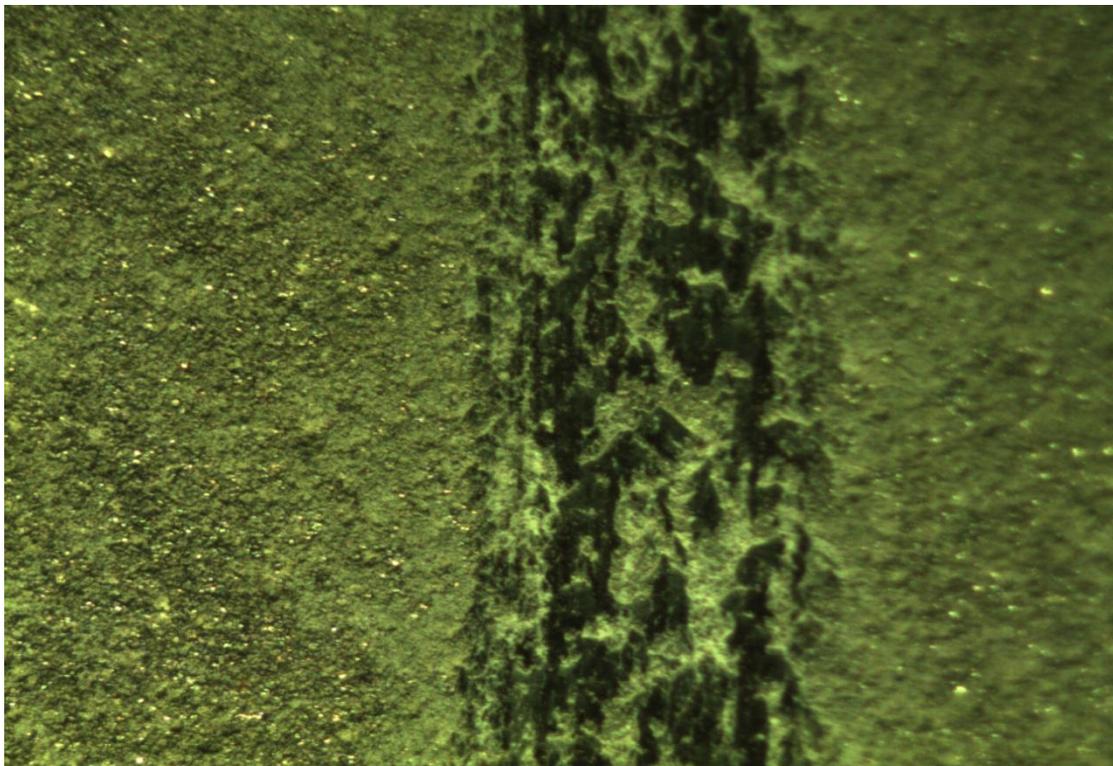
Φωτογραφία: Η αύλακα φθοράς της επικάλυψης για TiO_2 κάθετο φορτίο 10 N και $x=2$ km, με υλικό εκτριβής Al_2O_3 .



Φωτογραφία: Η αύλακα φθοράς της επικάλυψης για TiO_2 κάθετο φορτίο 10 N και $x=2$ km, με υλικό εκτριβής Si_3N_4 .



Φωτογραφία: Η αύλακα φθοράς της επικάλυψης για TiO_2 κάθετο φορτίο 2 N και $x=2 \text{ km}$, με υλικό εκτριβής Al_2O_3 .



Φωτογραφία: Η αύλακα φθοράς της επικάλυψης για TiO_2 κάθετο φορτίο 2 N και $x=2 \text{ km}$, με υλικό εκτριβής Si_3N_4 .

Στις πιο πάνω φωτογραφίες παρουσιάζονται τα αυλάκια που σχηματίστηκαν κατόπιν της εκτριβής των δοκιμίων με ανταγωνιστικά υλικά Al_2O_3 και Si_3N_4 με φορτία 2, 10N .

Κατά την παρατήρηση των πιο πάνω φωτογραφιών βλέπουμε ότι η φθορά από Al_2O_3 είναι μικρότερη και επίσης παρατηρούμε και πιο λείες αυλακώσεις ανεξαρτήτου δύναμης . Για την φθορά από Si_3N_4 οι αυλακώσεις είναι πιο τραχύς και πιο βαθιές άρα ο όγκος του υλικού όπου αποβλήθηκε – κρατήρα φθοράς είναι μεγαλύτερος .

Ακόμη παρατηρούμαι ότι για δύναμη 2 N έχουμε πιο μικρές και τραχύς αυλακώσεις οι οποίες μας δίνουν ότι αποβλήθηκε μικρότερος όγκος υλικού . Για τη δύναμη 10 N παρατηρούμαι ότι έχουμε μεγαλύτερες αυλακώσεις όμως πιο ομαλές και ο όγκος του αποβλημένου υλικού είναι μεγαλύτερος .

Βιβλιογραφία

1. THERMAL SPRAY COATINGS, H.Herman and S.Sampath, The Thermal Spray Laboratory, Department of Materials Science and Engineering, State University of New York, Stony Brook
2. Catherine M. Cotell, James A. Sprague, Fred A. Smidt Surface engineering / Prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee.

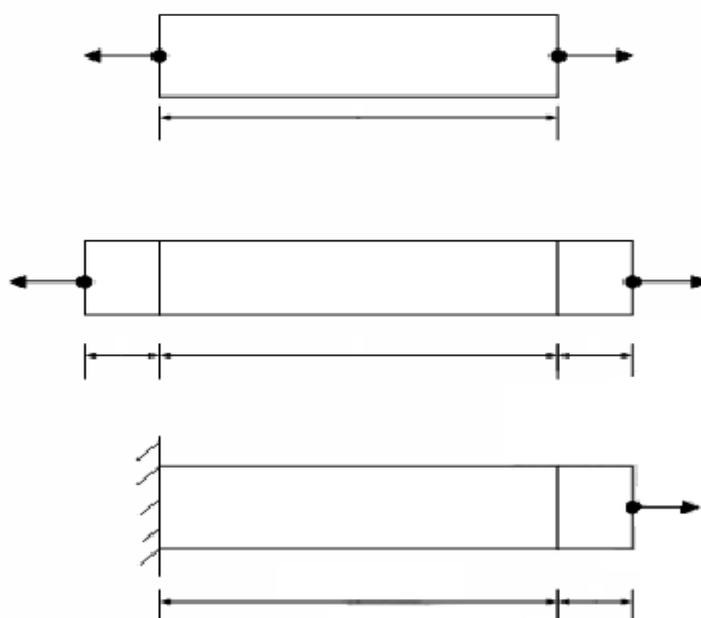
Δημοσιεύσεις

1. Friction and wear studies of oxidized titanium surfaces bombarded with ions in the 100 keV region B.M. Lund, N.J. Mikkelsen, L.M. Schmidt, G. Sørensen
2. Tribological properties of ceramic-(TiO₂) sliding couples for use as candidate seal materials to 700°C . Christopher Dellacorte, Bruce M. Steinetz, Pamela K. Rindley
3. Advances in tribology: the materials point of view . H. Czichos, D. Klaffke, E. Santner, M. Woydt

12 Εφελκυσμός

12.1 Θεωρία εφελκυσμού

Εφελκυσμός είναι το φαινόμενο εκείνο που το δοκίμιο τείνει αρχικά να μηκυνθεί (αυξήσει το μήκος του) και μετά πιθανώς να διασπαστεί (υποστεί θραύση) υπό την επενέργεια δυο ίσων και αντίθετων δυνάμεων που επενεργούν στα αντίθετα άκρα του ή υπό την επενέργεια μιας δύναμης που επενεργεί στο ένα άκρο όταν το άλλο άκρο είναι πακτωμένο με κάποιο σώμα.



Σχήμα : Αξονικός Εφελκυσμός

Κατά τον αξονικό εφελκυσμό έχουμε

- P σε N , ή σε οποιαδήποτε άλλη μονάδα του ίδιου

συστήματος, η εφελκυστική δύναμη κατά τη διάρκεια της καταπόνησης

- $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2$ σε mm , ή σε οποιαδήποτε άλλη μονάδα του ίδιου συστήματος, η αντίστοιχη μήκυνση ράβδου μετάλλου που ονομάζεται επιμήκυνση

- L σε mm ή σε οποιαδήποτε άλλη μονάδα του ίδιου συστήματος, το αρχικό μήκος της ράβδου

12.1.2 Εφαρμοζόμενα μεγέθη

- Ορθή Τάση (σ) προκύπτει από το λόγο της εκάστοτε εφαρμοζόμενης δύναμης P προς την αρχική διατομή του δοκιμίου που συμβολίζεται με F . Επειδή η ορθή τάση προέρχεται από την αντίστοιχη εφελκυστική δύναμη, ονομάζεται ορθή εφελκυστική τάση και ισούται με:

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ (σε } N/mm \text{)}$$

- Ανηγμένη επιμήκυνση (ε) προκύπτει από το λόγο της εκάστοτε επιμήκυνσης Δl προς το αρχικό μήκος L .

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{ (αναφέρεται συνήθως σε \% ποσοστό, καθαρός αριθμός)}$$

Διατομή πρισματικού δοκιμίου $F = a \times b$

12.1.3 Νόμος του Hooke

Έστω μια πρισματική αβαρής ράβδος AB , η οποία καταπονείται από αξονική εφελκυστική δύναμη F που ασκείται στο κέντρο βάρους της και έστω A το εμβαδό της διατομής της ράβδου

Με την επενέργεια της εφελκυστικής δύναμης η ράβδος θα επιμηκυνθεί κατά Δl και τελικά το σημείο εφαρμογής της δύναμης θα μετατοπιστεί δεξιότερα, οπότε και το τελικό μήκος μήκος της ράβδου θα γίνει $(l + \Delta l)$.

Πειραματικά αποδεικνύεται ότι για πρισματικές ράβδοι, υποβαλλόμενες σε εφελκυσμό εντός της ελαστικής περιοχής, η επιμήκυνση Δl της ράβδου είναι ανάλογη τόσο προς την δύναμη εφελκυσμού F , όσο και προς το αρχικό μήκος της l και αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού της διατομής της A . Η πλήρης μαθηματική διατύπωση του νόμου του Hooke είναι:

$$\Delta l = \frac{pl}{EF}$$

Ο νόμος του Hooke ισχύει εφόσον ισχύουν οι παρακάτω παραδοχές:

- Ο άξονας της ράβδου είναι ευθύγραμμος.
- Η δύναμη δρα στη διεύθυνση και στον άξονα της ράβδου και το σημείο εφαρμογής της είναι το κέντρο βάρους της διατομής.
- Οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή.
- Στα θλιβόμενα μέρη δεν υπάρχει κίνδυνος λυγισμού.
- Όλες οι κατά μήκος ίνες της ράβδου επιμηκύνεται το ίδιο.
- Οι διατομές που είναι αρχικά επίπεδες και κάθετες στον άξονα της ράβδου παραμένουν έτσι και μετά την παραμόρφωση.
- Οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι μικρότερες από την τάση αναλογίας του υλικού.

Ο νόμος του Hooke ισχύει μόνο εντός της γραμμικά ελαστικής περιοχής του διαγράμματος σ - ϵ . Ακόμη διαπιστώθηκε επίσης ότι ο νόμος του Hooke δεν ισχύει μόνο για εφελκυσμό αλλά και για θλίψη

12.2 Εργαστηριακό εξοπλισμός

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στην εκπόνηση της παρούσα διπλωματικής εργασίας για την εφαρμογή των απαιτούμενων εφελκυστικών φορτίων στα δοκίμια, ώστε να επέλθει η θραύση τους είναι κατασκευασμένη από την εταιρία Instron.

Η μηχανή εφελκυσμού Instron χρησιμοποιείται για την δοκιμή ενός μεγάλου εύρους υλικών στον εφελκυσμό ή στην θλίψη, μετακινώντας τις αρπάγες της μηχανής σε ανοδική ή καθοδική κατεύθυνση μέσω ενός συστήματος κίνησης. Η προστασία του δοκιμίου εξασφαλίζεται, λόγω του άκαμπτου πλαισίου που χρησιμοποιείται ως βάση και των κινούμενων αρπάγων. Μέσω της ηλεκτρονικής οθόνης που διαθέτει η μηχανή μπορούμε να παρατηρήσουμε το φορτίο που εφαρμόζεται στιγμιαία στο δοκίμιο καθώς και το φορτίο στο οποίο γίνεται η θραύση του υλικού αλλά και την επιπλέον επιμήκυνση που έχει υποστεί το δοκίμιο.

Τα βασικά μέρη όπου αποτελείται η μηχανή είναι

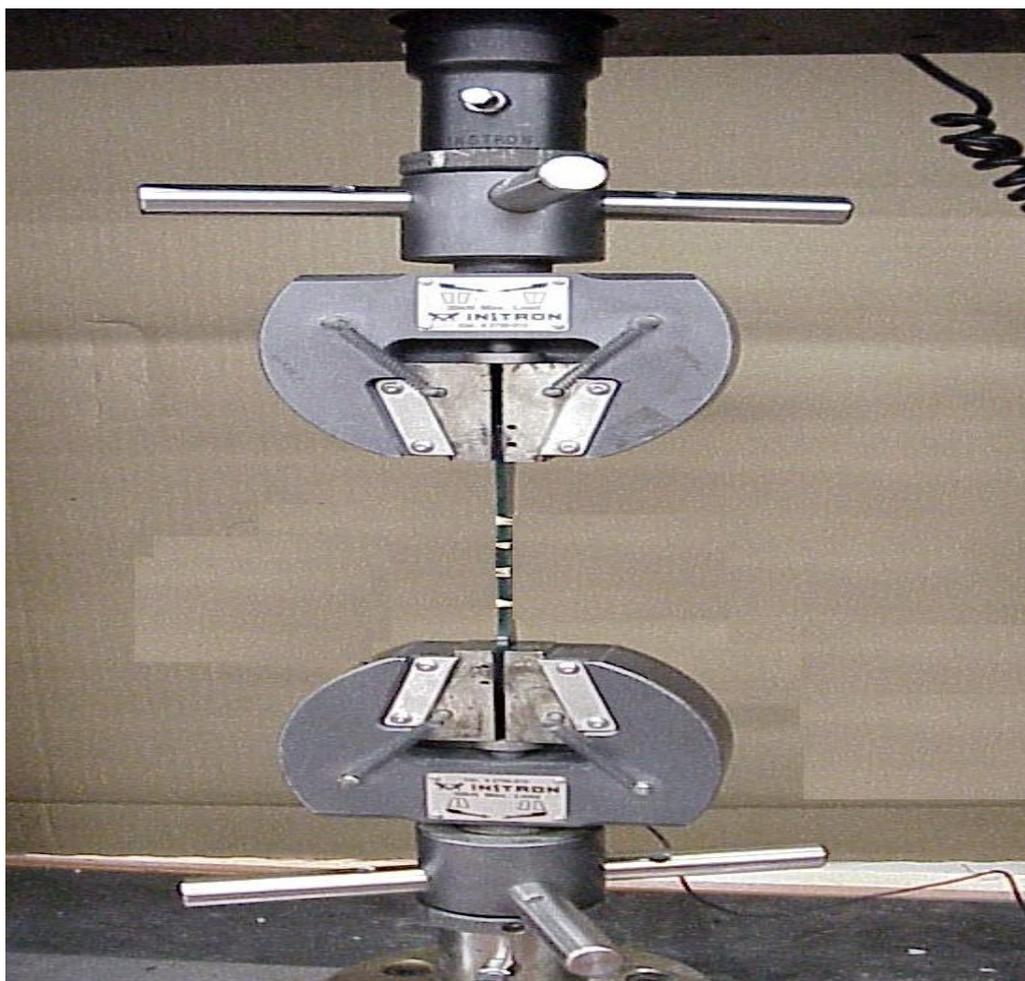
- Το πλαίσιο, μορφής Ο, που περιλαμβάνει το τραπέζι στερέωσης του δοκιμίου και το μηχανισμό κίνησης του εργαλείου διαμόρφωσης
- Ο μηχανισμός της κινητής κεφαλής
- Ο πίνακας ελέγχου, ο οποίος διαθέτει θύρα επικοινωνίας συμβατή με το πρωτόκολλο IEEE , συνδεδεμένη μέσω παράλληλης θύρας με Η/Υ



Σχήμα :Μηχανή Instron εργαστηρίου

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, η καταγραφή του διαγράμματος φορτίου- συνολικής επιμήκυνσης γίνεται, αυτόματα από τη μηχανή της δοκιμής. Έτσι, για κάθε δοκίμιο ξεχωριστά, με το πέρας της δοκιμής, παίρνουμε το διάγραμμα δύναμης-επιμήκυνσης και βάση αυτού υπολογίζουμε την τάση και την παραμόρφωση για κάθε ζεύγος τιμών δύναμης-επιμήκυνσης.

Η δύναμη F ασκείται στο δοκίμιο, το οποίο κρατείται μεταξύ των δύο αρπαγών της μηχανής εφελκυσμού. Έτσι, παρατηρείται μια επιμήκυνση του δοκιμίου και ταυτόχρονη μείωση του πάχους του σε συγκεκριμένο σημείο του ελάσματος. Στη συνέχεια, με την συνεχόμενη άσκηση της δύναμης, στο σημείο που μειώθηκε το πάχος, εμφανίζεται μια ρωγμή, το μέγεθος της οποίας αυξάνεται με το χρόνο. Για κάποια τιμή της δύναμης F και αφού το δοκίμιο έχει παραμορφωθεί κατά Δl , επέρχεται η αστοχία αυτού. Συνεπώς, στο σημείο εμφάνισης της ρωγμής, το δοκίμιο θραύεται.



Σχήμα : Αρπάγες της μηχανής Instron.

12.3 Μετρήσεις στην Instron

Αρχικά στη μηχανή Instron έγινε μέτρηση ενός δοκιμίου χάλυβα ιδίων διαστάσεων με αυτά τα οποία είχαν ψεκαστεί (διαγράμματα) το οποίο δεν είχε υποστεί κάποια διεργασία με σκοπό την σύγκριση του με τα ψεκασμένα δοκίμια .

Στιγμιότυπα από τις εικόνες από δοκιμή εφελκυσμού (α) άσκηση δύναμης F στο δοκίμιο, (β) λίγο πριν τη θραύση (γ) θραύση.



Φωτογραφία : Άσκηση δύναμης F στο δοκίμιο



Φωτογραφία : Λίγο πριν τη θραύση

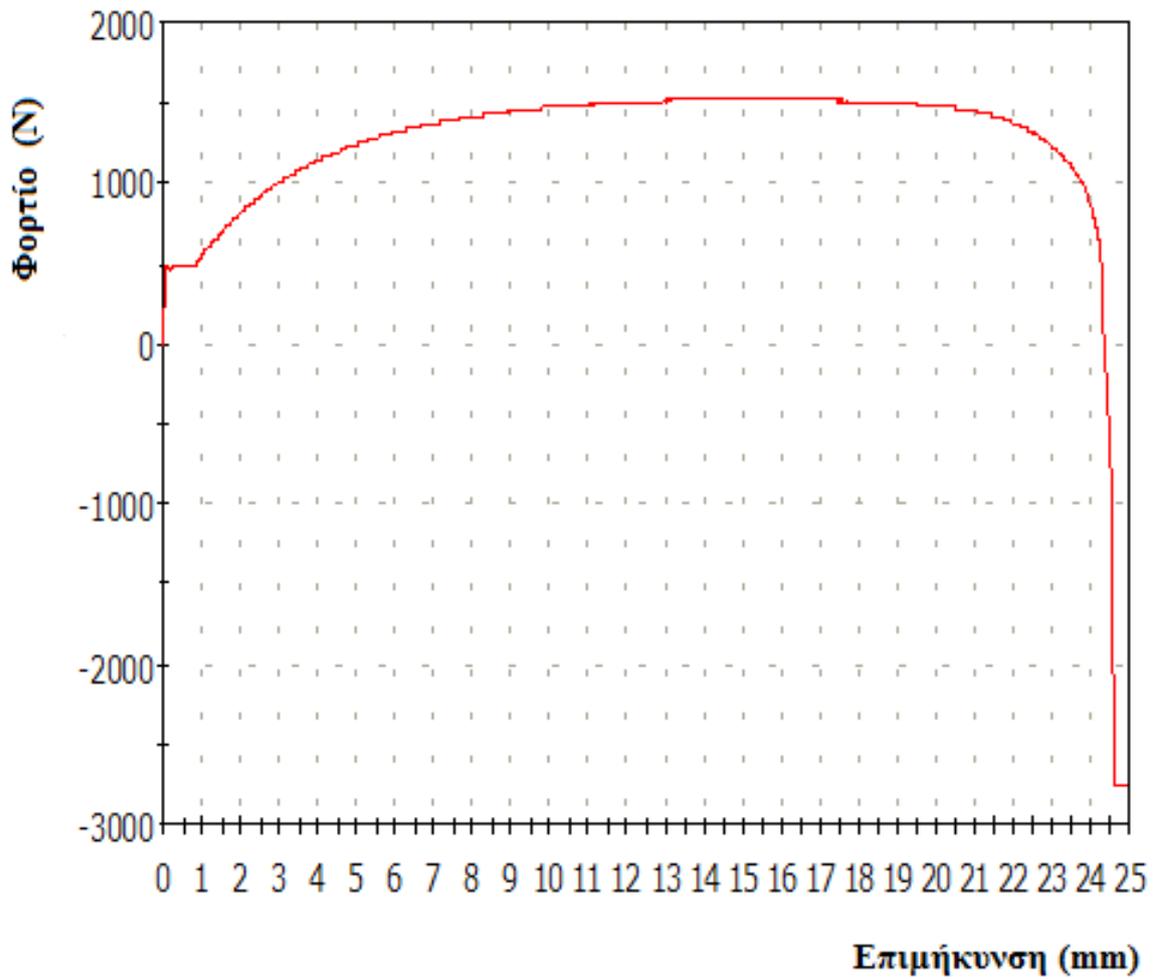


Φωτογραφία : Θράυση

Όπως είναι εμφανή και στις παραπάνω φωτογραφίες, καθώς το δοκίμιο επιμηκύνεται με την άσκηση του φορτίου από την συσκευή παρατηρούμαι τη συνολική παραμόρφωση του υλικού μέχρι τη αστοχία του (φωτογραφίες 1, 2, 3). Αυτές οι παραμορφώσεις όπου λαμβάνουν χώρα στο δοκίμιο μας περιλαμβάνουν τόσο την ελαστική όσο και τη πλαστική παραμόρφωση .

Στο σημείο αυτό για καλύτερη εποπτεία των πειραματικών αποτελεσμάτων , παρουσιάζονται συνοπτικά οι αποτιμήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων που προκύπτουν από τη δοκιμή του εφελκυσμού (διάγραμμα).

Φορτίο - Επιμήκυνση



Σχήμα : Διάγραμμα φορτίου – επιμήκυνση .

	Περιοχή (cm ²)	Γεωμετρία	Μήκος (mm)
1	0.11400	ορθογώνιο	185.00000

	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Επιμήκυνση (mm)
1	1.00000	11.40000	24.32000

	Φορτίο θραύσης (N)	Στέλεχος μηχανής κατά θραύση (mm/mm)	Επιμήκυνση στο φορτίο αιχμής (mm)
1	91.27000	0.00000	24.57000

	Φορτίο στο φορτίο αιχμής (N)	Στέλεχος μηχανής στο φορτίο αιχμή (mm/mm)	Ενέργεια για την τομή στο άξονα X- (J)
1	-2784.00000	0.00000	-----
	Modulus (Αυτόματο) (MPa)	Τομή άξονα X στο Modulus (Αυτόματο) (mm/mm)	Τομή άξονα Y στο Modulus (Αυτόματο) (MPa)
1	3457.39902	-0.00942	32.56978
	Poisson's Ratio (Chord)	Τομή στο άξονα X με Poisson's λόγο (Chord) (mm/mm)	Τομή στο άξονα Y με Poisson's λόγο (Chord) (mm/mm)
1	-----	-----	-----
	Αξονική μήκος μέτρησης (Strain Source) (mm)	Χρόνος Απομάκρυνση (ms)	Μέση πίεση στο εφελκυσμός (%)
1	185.00000	-----	0.00000
	Κυκλική μέτρηση εφελκυσμού	Δεδομένα σημείου κατά το εφελκυσμός ()	Διαφορική πίεση κατά εφελκυσμός (mm/mm)
1	0	46151	0.00000
	Κυβική δύναμη εφελκυσμού (mm)	Ενέργεια σε εφελκυσμό (J)	Επέκταση σε εφελκυσμό (mm)
1	0.00000	19.00038	15.13230
	Φορτίο σε εφελκυσμό (N)	Επιλεγμένα δεδομένα στο εφελκυσμός	RIP Μέτρηση του εφελκυσμού
1	1522.12000	0	1817
	Επαναλήψεις μετρήσεων στο εφελκυσμό	Στέλεχος 1 σε εφελκυσμός (mm/mm)	Αντοχής στο Εφελκυσμό (gf/tex)
1	0	-----	1552.13044
	Εφελκυστική επιμήκυνση σε εφελκυσμός (mm)	Εφελκυστική καταπόνηση σε εφελκυσμό (mm/mm)	Εφελκυστική τάση (MPa)
1	15.13230	0.08180	133.51930
	Χρονική στιγμή εφελκυσμού (sec)	Συνολική κυκλική μέτρηση δύναμης εφελκυσμού	Εγκάρσια επέκταση 1 σε εφελκυσμός (mm)
1	181.60001	0	-----
	Εγκάρσια επέκταση 2 σε εφελκυσμός (mm)	Εγκάρσια ένταση 1 σε εφελκυσμός (mm/mm)	Εγκάρσια ένταση 2 σε εφελκυσμός (mm/mm)
1	-----	-----	-----

	Πραγματική τάση εφελκισμού (mm/mm)	Πραγματική δύναμη εφελκισμού (Pa)	Συχνότητα 1 (mm/min)
1	0.07862	144440670.90799	5.00000
	Μέσος όρος ένταση σε απόδοση (Μηδέν Κλίση) (%)	Κυκλική απόδοση (μηδέν κλίση)	Δεδομένα στο σημείο απόδοσης (μηδέν κλίση) ()
1	0.00000	0	43916
	Διαφορική ένταση σε Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)	Μετατόπισης (Στέλεχος 1) σε Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Ενέργεια απόδοσης κατά (Μηδέν Κλίση) (J)
1	0.00000	0.00000	17.88352
	Επιμήκυνση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Φορτίο απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (N)	Επιλεγμένα δεδομένα απόδοσης (Μηδέν Κλίση)
1	14.39880	1524.81003	0
	ΡIP Μέτρηση του εφελκισμού (Μηδέν Κλίση)	Επαναλήψεις μετρήσεων σύμφωνα με την Απόδοση (Μηδέν Κλίση)	Καταπόνησης 1 Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	1729	0	-----
	Αντοχής Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (gf/tex)	Επιμήκυνση σε πλήρη απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εφελκυστική καταπόνηση πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	1554.87351	14.39880	0.07783
	Εφελκυστική καταπόνηση (Μηδέν Κλίση) (MPa)	Χρονική στιγμή απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (sec)	Συνολικός αριθμός Κύκλικής απόδοσης (Μηδέν Κλίση)
1	133.75526	172.80001	0
	Εγκάρσια επιμήκυνση πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εγκάρσια επιμήκυνση 2 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εγκάρσια επιμήκυνση 1 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	-----	-----	-----
	Εγκάρσια επιμήκυνση 2 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση)) (mm/mm)	Μέτρο ελαστικότητας (mm/mm)	Μέτρο ελαστικότητας (Μηδέν Κλίση) (Pa)
1	-----	0.07495	144165618.77512

Ψεκασμένο δοκίμιο 1



Φωτογραφία άσκηση δύναμης F στο δοκίμιο



Φωτογραφία αποφλοίωση επικάλυψης

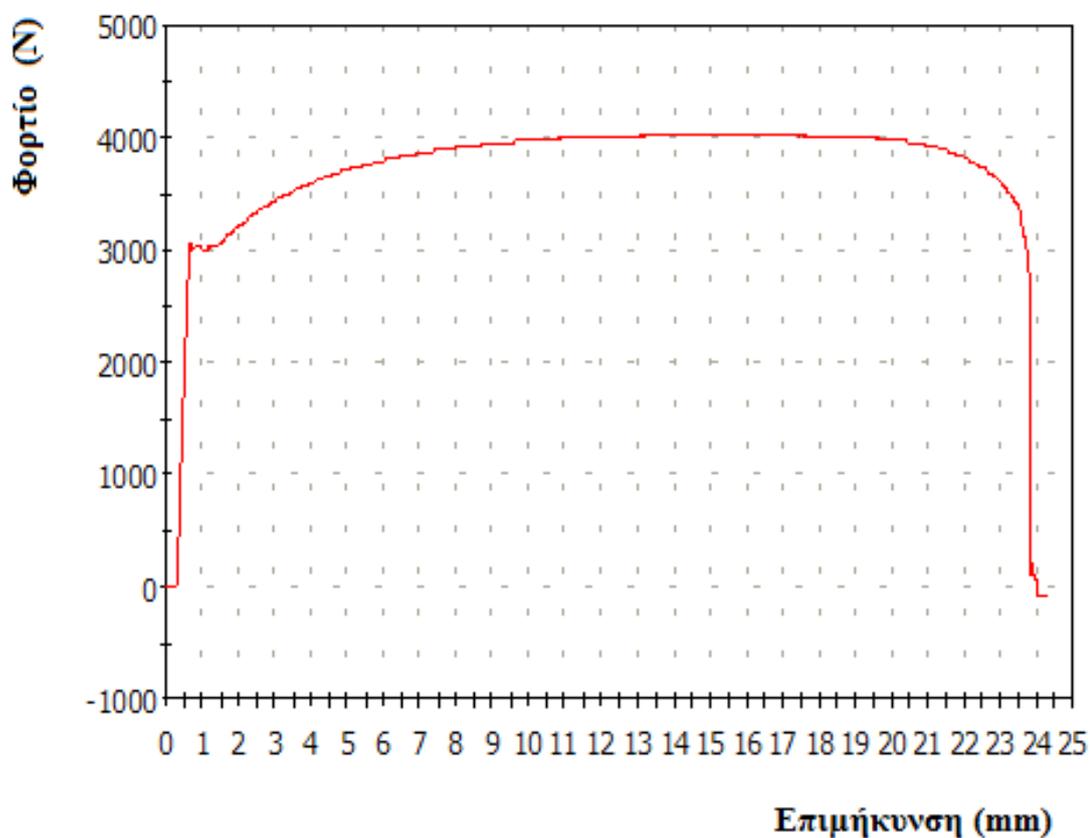


Φωτογραφία θραύσης

Παρατηρείται μια επιμήκυνση του δοκιμίου και ταυτόχρονη μείωση του πάχους του σε συγκεκριμένο σημείο του ελάσματος. Στη συνέχεια, με την συνεχόμενη άσκηση της δύναμης, στο σημείο που μειώθηκε το πάχος, εμφανίζεται μια ρωγμή, το μέγεθος της οποίας αυξάνεται με το χρόνο. Για κάποια τιμή της δύναμης F και αφού το δοκίμιο έχει παραμορφωθεί κατά Δl , επέρχεται η αστοχία αυτού. Συνεπώς, στο σημείο εμφάνισης της ρωγμής, το δοκίμιο θραύεται

Όπως είναι εμφανή και στις παραπάνω φωτογραφίες, καθώς το δοκίμιο επιμηκύνεται με την άσκηση του φορτίου από την συσκευή η επικάλυψη αρχίζει να αποφλοιώνεται από την επιφάνεια του δοκιμίου και να απορρίπτεται από το δοκίμιο.

Φορτίο - Επιμήκυνση



Σχήμα : Διάγραμμα φορτίου – επιμήκυνση .

	Περιοχή (cm ²)	Γεωμετρία	Μήκος (mm)
1	0.11400	Rectangular	185.00000

	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Επιμήκυνση (mm)
1	1.00000	11.40000	23.82000

	Φορτίο θραύσης (N)	Στέλεχος μηχανής κατά θραύση (mm/mm)	Επιμήκυνση στο φορτίο αιχμής (mm)
1	2690.00000	0.00000	16.42000

	Φορτίο στο φορτίο αιχμής (N)	Στέλεχος μηχανής στο φορτίο αιχμή (mm/mm)	Ενέργεια για την τομή στο άξονα X- (J)
1	4024.00000	0.00000	-----

	Modulus (Αυτόματο) (MPa)	Τομή άξονα X στο Modulus (Αυτόματο) (mm/mm)	Τομή άξονα Y στο Modulus (Αυτόματο) (MPa)
1	9745.86503	-0.01817	177.03390
	Poisson's Ratio (Chord)	Τομή στο άξονα X με Poisson's λόγο (Chord) (mm/mm)	Τομή στο άξονα Y με Poisson's λόγο (Chord) (mm/mm)
1	-----	-----	-----
	Αξονική μήκος μέτρησης (Strain Source) (mm)	Χρόνος Απομάκρυνση (ms)	Μέση πίεση στο εφελκυσμός (%)
1	185.00000	-----	0.00000
	Κυκλική μέτρηση εφελκυσμού	Δεδομένα σημείου κατά το εφελκυσμός ()	Διαφορική πίεση κατά εφελκυσμός (mm/mm)
1	0	45923	0.00000
	Κυβική δύναμη εφελκυσμού (mm)	Ενέργεια σε εφελκυσμό (J)	Επέκταση σε εφελκυσμό (mm)
1	0.00000	54.71661	15.05700
	Φορτίο σε εφελκυσμό (N)	Επιλεγμένα δεδομένα στο εφελκυσμός	PIP Μέτρηση του εφελκυσμού
1	4024.09993	0	1808
	Επαναλήψεις μετρήσεων στο εφελκυσμό	Στέλεχος 1 σε εφελκυσμός (mm/mm)	Αντοχής στο Εφελκυσμό (gf/tex)
1	0	-----	4103.44013
	Εφελκυστική επιμήκυνση σε εφελκυσμός (mm)	Εφελκυστική καταπόνηση σε εφελκυσμό (mm/mm)	Εφελκυστική τάση (MPa)
1	15.05700	0.08139	352.99121
	Χρονική στιγμή εφελκυσμού (sec)	Συνολική κυκλική μέτρηση δύναμης εφελκυσμού	Εγκάρσια επέκταση 1 σε εφελκυσμός (mm)
1	180.70001	0	-----
	Εγκάρσια επέκταση 2 σε εφελκυσμός (mm)	Εγκάρσια ένταση 1 σε εφελκυσμός (mm/mm)	Εγκάρσια ένταση 2 σε εφελκυσμός (mm/mm)
1	-----	-----	-----
	Πραγματική τάση εφελκυσμού (mm/mm)	Πραγματική δύναμη εφελκυσμού (Pa)	Συχνότητα 1 (mm/min)
1	0.07825	381720892.01259	5.00000

	Μέσος όρος ένταση σε απόδοση (Μηδέν Κλίση) (%)	Κυκλική απόδοση (μηδέν κλίση)	Δεδομένα στο σημείο απόδοσης (μηδέν κλίση) ()
1	0.00000	0	44678
	Διαφορική ένταση σε Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)	Μετατόπισης (Στέλεχος 1) σε Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Ενέργεια απόδοσης κατά (Μηδέν Κλίση) (J)
1	0.00000	0.00000	53.07435
	Επιμήκυνση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Φορτίο απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (N)	Επιλεγμένα δεδομένα απόδοσης (Μηδέν Κλίση)
1	14.64870	4024.09993	0
	PIP Μέτρηση του εφελκισμού (Μηδέν Κλίση)	Επαναλήψεις μετρήσεων σύμφωνα με την Απόδοση (Μηδέν Κλίση)	Καταπόνησης 1 Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	1759	0	-----
	Αντοχής Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (gf/tex)	Επιμήκυνση σε πλήρη απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εφελκυστική καταπόνηση πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	4103.44013	14.64870	0.07918
	Εφελκυστική καταπόνηση (Μηδέν Κλίση) (MPa)	Χρονική στιγμή απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (sec)	Συνολικός αριθμός Κύκλικής απόδοσης (Μηδέν Κλίση)
1	352.99121	175.80001	0
	Εγκάρσια επιμήκυνση πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εγκάρσια επιμήκυνση 2 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εγκάρσια επιμήκυνση 1 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	-----	-----	-----
	Εγκάρσια επιμήκυνση 2 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)	Μέτρο ελαστικότητας (mm/mm)	Μέτρο ελαστικότητας (Μηδέν Κλίση) (Pa)
1	-----	0.07620	380941830.46631

Ψεκασμένο δοκίμιο 2



Φωτογραφία άσκηση δύναμης F στο δοκίμιο



Φωτογραφία αποφλοίωση επικάλυψης

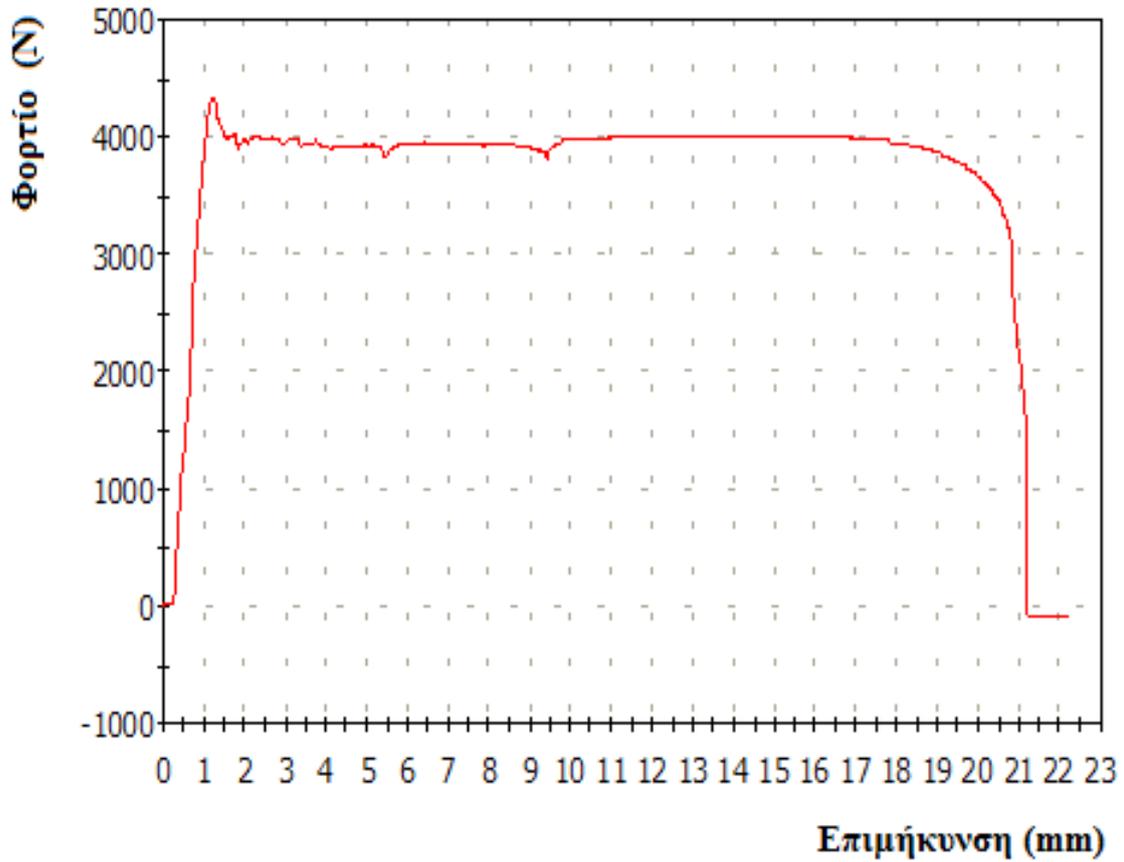


Φωτογραφία θραύσης

Παρατηρείται μια επιμήκυνση του δοκιμίου και ταυτόχρονη μείωση του πάχους του σε συγκεκριμένο σημείο του ελάσματος. Στη συνέχεια, με την συνεχόμενη άσκηση της δύναμης, στο σημείο που μειώθηκε το πάχος, εμφανίζεται μια ρωγμή, το μέγεθος της οποίας αυξάνεται με το χρόνο. Για κάποια τιμή της δύναμης F και αφού το δοκίμιο έχει παραμορφωθεί κατά Δl , επέρχεται η αστοχία αυτού. Συνεπώς, στο σημείο εμφάνισης της ρωγμής, το δοκίμιο θραύεται

Όπως είναι εμφανή και στις παραπάνω φωτογραφίες, καθώς το δοκίμιο επιμηκύνεται με την άσκηση του φορτίου από την συσκευή η επικάλυψη αρχίζει να αποφλοιώνεται από την επιφάνεια του δοκιμίου και να απορρίπτεται από το δοκίμιο.

Φορτίο - Επιμήκυνση



Σχήμα : Διάγραμμα φορτίου – επιμήκυνση

	Περιοχή (cm ²)	Γεωμετρία	Μήκος (mm)
1	0.11400	Rectangular	185.00000

	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Επιμήκυνση (mm)
1	1.00000	11.40000	21.22000

	Φορτίο θραύσης (N)	Στέλεχος μηχανής κατά θραύση (mm/mm)	Επιμήκυνση στο φορτίο αιχμής (mm)
1	1007.00000	0.00000	1.22000

	Φορτίο στο φορτίο αιχμής (N)	Στέλεχος μηχανής στο φορτίο αιχμή (mm/mm)	Ενέργεια για την τομή στο άξονα X- (J)
1	4333.00000	0.00000	0.01731
	Modulus (Αυτόματο) (MPa)	Τομή άξονα X στο Modulus (Αυτόματο) (mm/mm)	Τομή άξονα Y στο Modulus (Αυτόματο) (MPa)
1	103299.46099	0.00183	-188.83216
	Poisson's Ratio (Chord)	Τομή στο άξονα X με Poisson's λόγο (Chord) (mm/mm)	Τομή στο άξονα Y με Poisson's λόγο (Chord) (mm/mm)
1	-----	-----	-----
	Αξονική μήκος μέτρησης (Strain Source) (mm)	Χρόνος Απομάκρυνση (ms)	Μέση πίεση στο εφελκυσμός (%)
1	185.00000	-----	0.00000
	Κυκλική μέτρηση εφελκυσμού	Δεδομένα σημείου κατά το εφελκυσμός ()	Διαφορική πίεση κατά εφελκυσμός (mm/mm)
1	0	14325	0.00000
	Κυβική δύναμη εφελκυσμού (mm)	Ενέργεια σε εφελκυσμό (J)	Επέκταση σε εφελκυσμό (mm)
1	0.00000	16.12559	4.69020
	Φορτίο σε εφελκυσμό (N)	Επιλεγμένα δεδομένα στο εφελκυσμός	PIP Μέτρηση του εφελκυσμού
1	3922.08993	0	564
	Επαναλήψεις μετρήσεων στο εφελκυσμό	Στέλεχος 1 σε εφελκυσμός (mm/mm)	Αντοχής στο Εφελκυσμό (gf/tex)
1	0	-----	3999.41852
	Εφελκυστική επιμήκυνση σε εφελκυσμός (mm)	Εφελκυστική καταπόνηση σε εφελκυσμό (mm/mm)	Εφελκυστική τάση (MPa)
1	4.69020	0.02535	344.04297
	Χρονική στιγμή εφελκυσμού (sec)	Συνολική κυκλική μέτρηση δύναμης εφελκυσμού	Εγκάρσια επέκταση 1 σε εφελκυσμός (mm)
1	56.30000	0	-----
	Εγκάρσια επέκταση 2 σε εφελκυσμός (mm)	Εγκάρσια ένταση 1 σε εφελκυσμός (mm/mm)	Εγκάρσια ένταση 2 σε εφελκυσμός (mm/mm)
1	-----	-----	-----

	Πραγματική τάση εφελκισμού (mm/mm)	Πραγματική δύναμη εφελκισμού (Pa)	Συχνότητα 1 (mm/min)
1	0.02504	352765303.18599	5.00000
	Μέσος όρος ένταση σε απόδοση (Μηδέν Κλίση) (%)	Κυκλική απόδοση (μηδέν κλίση)	Δεδομένα στο σημείο απόδοσης (μηδέν κλίση) ()
1	0.00000	0	3708
	Διαφορική ένταση σε Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)	Μετατόπιση (Στέλεχος 1) σε Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Ενέργεια απόδοσης κατά (Μηδέν Κλίση) (J)
1	0.00000	0.00000	2.28500
	Επιμήκυνση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Φορτίο απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (N)	Επιλεγμένα δεδομένα απόδοσης (Μηδέν Κλίση)
1	1.20680	4332.83001	0
	RIP Μέτρηση του εφελκισμού (Μηδέν Κλίση)	Επαναλήψεις μετρήσεων σύμφωνα με την Απόδοση (Μηδέν Κλίση)	Καταπόνησης 1 Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	146	0	-----
	Αντοχής Απόδοση (Μηδέν Κλίση) (gf/tex)	Επιμήκυνση σε πλήρη απόδοση (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εφελκυστική καταπόνηση πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	4418.25705	1.20680	0.00652
	Εφελκυστική καταπόνηση (Μηδέν Κλίση) (MPa)	Χρονική στιγμή απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (sec)	Συνολικός αριθμός Κύκλικής απόδοσης (Μηδέν Κλίση)
1	380.07281	14.50000	0
	Εγκάρσια επιμήκυνση πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εγκάρσια επιμήκυνση 2 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm)	Εγκάρσια επιμήκυνση 1 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)
1	-----	-----	-----
	Εγκάρσια επιμήκυνση 2 πλήρους απόδοσης (Μηδέν Κλίση) (mm/mm)	Μέτρο ελαστικότητας (mm/mm)	Μέτρο ελαστικότητας (Μηδέν Κλίση) (Pa)
1	-----	0.00650	382552115.41795

12.4 Παρατηρήσεις

Το σύστημα που εξετάστηκε αποτελείται, όπως αναφέρθηκε, από όλκιμο χαλύβδινο υπόστρωμα εκατέρωθεν του οποίου υπάρχουν δύο ισόπαλες στρώσεις από ψαθυρή κεραμική επικάλυψη TiO₂. Κατά τις παρατηρήσεις θα γίνει μέτρο σύγκρισης το δοκίμιο το οποίο δεν είχε υποστεί επικάλυψη για να γίνει μια σύγκριση των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού .

- Από τα πιο πάνω διαγράμματα παρατηρούμε μια αύξηση της δύναμης εφελκυσμού την οποία μπορεί να δεχθεί το επικαλυμμένο μας δοκίμιο της τάξεως του 200-250 % σε σχέση με το δοκίμιο μόνο από χάλυβα . Παρατίθεται κατατοπιστικός πίνακας με τις μέγιστες δυνάμεις εφελκυσμού .

Δοκίμιο από χάλυβα	Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2
1500N	4000 N	4400 N

- Από τις πειραματικές μετρήσεις που πήραμε της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας του επιστρωμένου συστήματος TiO₂ κατέδειξαν ότι το μέτρο ελαστικότητας του συστήματος αυξάνεται με την αύξηση του πάχους της επικάλυψης και σε σχέση με το δοκίμιο μόνο από χάλυβα

Δοκίμιο από χάλυβα	Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2
-0,00942	-0,01817	0,00183

Βιβλιογραφία

1. THERMAL SPRAY COATINGS, H.Herman and S.Sampath, The Thermal Spray Laboratory, Department of Materials Science and Engineering, State University of New York, Stony Brook

Δημοσιεύσεις

1. Advances in tribology: the materials point of view . H. Czichos, D. Klaffke, E. Santner, M. Woydt
2. Fatigue and mechanical properties of nanostructured and conventional titania(TiO₂) thermal spray coatings . A. Ibrahim a , R.S. Limab, C.C. Berndtcd, B.R. Marpleb
3. C.C. Koch (Ed.), Nanostructured Materials, Processing, Properties and Potential Applications, William Andrew Publishing, Noyes, 2002.
4. R.S. Lima, L. Leblanc, B.R. Marple, in: E. Lugscheider (Ed.), Nanostructured and Conventional Titania Coatings for Abrasion and Slurry-Erosion Resistance Sprayed via APS, VPS and HVOF, Proceedings of the International Thermal Spray Conference, DVS-Verlag GmbH, Basel, Switzerland, 2005.
5. A.A. Tipton, in: C.C. Berndt, S. Sampath (Eds.), Advances in Thermal Spray Science and Technology, ASM International, Materials Park, OH, 1995.
6. Structure and mechanical properties of plasma sprayed coatings of titania . Pavel Ctibora' , Petr Bohacb, Martin Stranyanekb, Radim Ctvrtlikb

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αφορά την μελέτη της μικροδομής και των μηχανικών και τριβολογικών και εφελκυστήκων ιδιοτήτων της επικάλυψης τιτανίας (TiO₂) με θερμικό ψεκασμό πλάσματος σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Από το εκτενές πειραματικό της μέρος εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Σκόνη τιτανίας (Metco 6231) αποτέθηκε με ψεκασμό πλάσματος σε ατμοσφαιρικές συνθήκες σε υπόστρωμα δοκιμίων χάλυβα ελάσματα και κυκλικά δοκίμια επικαλύφθηκαν. Τα ελάσματα επικαλύφθηκαν στις 2 πλευρές και τα κυλινδρικά δοκίμια επικαλύφθηκαν στη μία πλευρά. Τα πάχη της επικάλυψης για 8 περάσματα ήταν κατά μέσο όρο 35mm ανά πλευρά .

Η παρατήρηση της σκόνης τιτανίας (Metco 6231) πριν τον ψεκασμό της με ηλεκτρονική μικροσκοπία κατέδειξε ότι τα σωματίδια της σκόνης δεν έχουν σφαιρικό σχήμα, αλλά έχουν ένα ακανόνιστο σχήμα κατανεμημένης μάζας, το οποίο δεν επαναλαμβάνεται ανά την επικράτεια της σκόνης.

Ακόμη κατά την ηλεκτρονική μικροσκοπία παρατηρήσαμε ότι υπάρχουν άτηκτα σωματίδια τα οποία παρασύρονται από το πεπιεσμένο αέρα και το τηγμένο υλικό επικάλυψης και έτσι δημιουργείται η ανομοιόμορφη επιφάνεια που είδαμε στις πιο πάνω φωτογραφίες . Παρατηρήσαμε μαύρα στίγματα οι οποίοι είναι ανοικτή πόροι που δημιουργούνται από τα μεγάλα άτηκτα σωματίδια τα οποία κάθονται στο υλικό επικάλυψης . Επίσης είδαμε ότι δεν έχουμε ένα σταθερό μέγεθος της σκόνης, αλλά μεταβάλλεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών.

Η μεταλλογραφική ανάλυση κατέδειξε ότι η επικάλυψη είναι ποιοτική, παρουσιάζοντας ομοιογενή δομή. Εμφανίζει στρωματοειδή μορφή λόγω της πλάτυνσης των τηγμένων σταγονιδίων κατά την πρόσκρουσή τους με μεγάλη ταχύτητα στο υπόστρωμα χάλυβα. Η σύνδεση μεταξύ υποστρώματος- επικάλυψης είναι καθαρά μηχανική και η διεπιφάνεια θεωρείται αρκετά καλή με ελάχιστα σημεία αποκόλλησης του επιστρώματος. Δεν εντοπίστηκαν μικρορωγμές, που μπορεί να οφείλονταν σε θερμικές τάσεις.

Η μεταλλογραφική εξέταση των δοκιμίων έκανε εμφανή την ύπαρξη πορώδους το οποίο αποδίδεται στον εγκλωβισμό φυσαλίδων αέρα μεταξύ των τηγμένων κόκκων TiO₂ κατά τον ψεκασμό τους. Η παρουσία του πορώδους κρίνεται ποσοτικά

ικανοποιητική και λειτουργεί αφενός ευεργετικά για την ανακούφιση των τυχόν θερμικών τάσεων και αφετέρου αρνητικά στην μηχανική αντοχή λόγω ασυνέχειας υλικού.

Η αξιολόγηση της τριβολογικής συμπεριφοράς της επικάλυψης TiO_2 μελετήθηκε μέσω τυπικών δοκιμών σε τριβόμετρο. Ως υλικά εκτριβής χρησιμοποιήθηκαν τυποποιημένα σφαιρίδια από υλικά Al_2O_3 και Si_3N_4 ενώ τα δύο χρησιμοποιούμενα φορτία ήταν 1, 2 και 10 N . Μελετήθηκε η μεταβολή του συντελεστή τριβής και του όγκου φθοράς συναρτήσει του μήκους ολίσθησης.

Συγκεκριμένα εξετάσαμε τις καμπύλη για το κάθετο φορτίο των 1 N και για υλικό εκτριβής Al_2O_3 , είδαμε ότι ο συντελεστής τριβής αυξάνει αλλά μετά τα 1000m και παρατηρήσαμε μια σημαντική αυξομείωση του συντελεστή τριβής. Για την δεύτερη και τρίτη καμπύλη, με φορτίο 5, 10 N, παρατηρείτε μία σημαντική αύξηση του συντελεστή τριβής τα πρώτα 200 m, η οποία μετά παραμένει σταθερή .

Ακόμη χρησιμοποιώντας σφαιρίδιο Si_3N_4 για τα κάθετα φορτία 1, 2 και 10 N εξετάσαμε τις καμπύλες και παρατηρήσαμε μικρή διαφορά στην εξέλιξη του συντελεστή τριβής για τα δύο διαφορετικά φορτία. Συγκεκριμένα, έχουμε αύξηση του συντελεστή τριβής για τα πρώτα 200 m και μετά ο συντελεστής τριβής κυμαίνεται σχετικά σταθερός γύρω από μια τιμή 0,9 . Επίσης παρατηρούμαι ότι ενώ οι συντελεστές τριβής ξεκινούν να κυμαίνονται γύρω από μια τιμή με μεγαλύτερη τιμή για φορτίο 1 N η οποία είναι 0,97 , για φορτίο 10 N η οποία είναι 0,91 και για φορτίο 5 N η οποία είναι 0,87

Κατά την παρατήρηση των φωτογραφιών για τα αυλάκια τριβής είδαμε ότι η φθορά από Al_2O_3 είναι μικρότερη και επίσης έχουμε και πιο λείες αυλακώσεις ανεξαρτήτου δύναμης . Για την φθορά από Si_3N_4 οι αυλακώσεις είναι πιο τραχύς και πιο βαθιές άρα ο όγκος του υλικού όπου αποβλήθηκε – κρατήρα φθοράς είναι μεγαλύτερος .

Ακόμη παρατηρούμαι ότι για δύναμη 2 N έχουμε πιο μικρές και τραχύς αυλακώσεις οι οποίες μας δίνουν ότι αποβλήθηκε μικρότερος όγκος υλικού . Για τη δύναμη 10 N παρατηρούμαι ότι έχουμε μεγαλύτερες αυλακώσεις όμως πιο ομαλές και ο όγκος του αποβλημένου υλικού είναι μεγαλύτερος . Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όσο

πιο πολύ φορτίο έχουμε τόσο πιο βαθιά αυλάκια και περισσότερο όγκο αποβλημένου υλικού .

Μετρήσεις της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας του επιστρωμένου συστήματος TiO_2 κατέδειξαν ότι το μέτρο ελαστικότητας του συστήματος αυξάνεται με την αύξηση του πάχους της επικάλυψης.

Η αντοχή σε εφελκυσμό του επιστρωμένου συστήματος επηρεάστηκε από την παρουσία της επικάλυψης TiO_2 και είχαμε μια αύξηση της δύναμης εφελκυσμού την οποία μπορεί να δεχθεί το επικαλυμμένο μας δοκίμιο της τάξεως του 200-250 % σε σχέση με το δοκίμιο μόνο από χάλυβα . Παρατίθεται κατατοπιστικός πίνακας με τις μέγιστες δυνάμεις εφελκυσμού

Από τα πιο πάνω συμπεράσματα στην παρούσα διπλωματική εργασία που μας οδήγησαν τα πειράματα και οι πειραματικές μετρήσεις στο ατμοσφαιρικό ψεκασμός πλάσματος της τιτανίας αποδείξαμε ότι μπορεί να βοηθήσει τα υλικά τα οποία χρειάζονται βελτίωση των εφελκυστικών ιδιοτήτων και αντοχής τους σε τριβής σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή .