

Σύγχρονα υλικά

του Θ. Σκουλικίδη*

1. Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό στην περιοχή της Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών αναπτύχθηκαν νέα υλικά, που οδήγησαν, και πρόκειται να οδηγήσουν και στο μέλλον, σε επαναστατικές εφαρμογές.

Έτσι παρουσιάζονται παρακάτω μερικά από τα πιο εντυπωσιακά νέα υλικά και περιγράφονται ο τρόπος παρασκευής, οι ιδιότητες και οι εφαρμογές τους.

Τα υλικά αυτά είναι: τα νέα σύνθετα υλικά, οι μονοκρυσταλλοί πυριτίου, τα μεταλλικά γυαλιά, τα υλικά για κεραμικούς κινητήρες, ο υπερπλαστικός χάλυβας, τα υλικά για περυσία αεροσποβίλων των αεροπλάνων, βιοϊατρικά υλικά.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και άλλα νέα υλικά, που χρησιμοποιούνται για πυραύλους, τεχνητούς δορυφόρους, πολεμικούς σκοπούς, ή δεν ανακοινώνονται ή είναι πολύ ακριβά και δεν έχουν μεγάλη εφαρμογή. Για τους λόγους αυτούς δεν είναι δυνατή ή σκόπιμη η παρουσίασή τους.

2. Σύνθετα υλικά

2.1. Γενικότητες

Αυτά αποτελούνται από ένα βασικό υλικό (μήτρα) και ένα ή περισσότερα πρόσθετα υλικά, που έχουν σκοπό να βελτιώσουν ορισμένες φυσικές, χημικές ή μηχανικές ιδιότητες όλης της μάζας ή της επιφάνειας του βασικού υλικού. Από την άποψη αυτή λ.χ. τα κράματα, το οπλισμένο σκυρόδεμα, τα λά-

στιχα αυτοκινήτων, οπλισμένα με πλέγμα χάλυβα, είναι σύνθετα υλικά. Όμως, έχει επικρατήσει να θεωρούνται ως σύνθετα υλικά τρεις κύρια κατηγορίες: (α) Επιμεταλλωμένα μέταλλα (για λόγους αισθητικούς ή και προστασίας από τη διάβρωση) και ανοδικά οξειδωμένα (αλουμίνιο: για προστασία από τη διάβρωση και για βαφή) ή καλυμμένα με κεραμικά υλικά (αντικατάσταση οστών), (β) Βασικά υλικά (μήτρες) με προσθήκες ινών ή πλακών από άλλα υλικά: «ενισχυμένα υλικά» (προκειμένου να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητες των βασικών), (γ) Κατασκευές σάντουιτς [σ' αυτές ανήκουν και ορισμένα σύνθετα υλικά της κατηγορίας (α)].

2.2. Μήτρες (βασικά υλικά)

Ως βασικά υλικά (μήτρες) για βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους, χρησιμοποιούνται πολυμερή, κεραμικά, άνθρακας και μέταλλα.

2.2.1. Πολυμερή

Χρησιμοποιούνται θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή, όπως εποξειδικές ρητίνες και ακόρεστοι πολυεστέρες, και θερμοπλαστικά. Τελευταία χρησιμοποιείται η δεύτερη κατηγορία, κύρια αρωματικές πολυαιθεροαιθεροκετόνες (PEEK) με σημείο μαλάκυνσης 150° C και σημείο τήξης 340° C, που εφαρμόζονται στην αεροναυτική και στην αεροδυναμική. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να σχηματιστούν με θέρμανση, ξεκινώντας

από πλάκες τους και να ανακυκλωθούν.

Η ενίσχυσή τους με ίνες διαφόρων υλικών αυξάνει τη μηχανική αντοχή τους γειτονικά στην αντοχή του χάλυβα, που έχει 4 ως 8 φορές μεγαλύτερο βάρος.

2.2.2. Κεραμικά

Ένα παράδειγμα κεραμικής μήτρας ενισχυμένης με ίνες είναι το αμιαντοτσιμέντο. Όπως είναι γνωστό, το μπετόν έχει μικρή αντοχή σε εφελκυσμό και σε κάμψη. Η προσθήκη ινών αμιάντου του εξαιλείφει αυτό το μειονέκτημα.

Επειδή ο αμιάντος είναι καρκινογόνος αντικαταστάθηκε με πλέγματα χάλυβα ή ίνες γυαλιού.

2.2.3. Άνθρακας

Πρόσφατα παρασκευάστηκαν σύνθετα υλικά με βάση (μήτρα) τον άνθρακα ενισχυμένο με ίνες άνθρακα (Πιν. 1) για κατασκευή κινητήρων στις αεροδιαστημικές εφαρμογές, εξαιτίας της υψηλής μηχανικής και θερμοικής αντοχής τους (Πιν. 2)

2.2.4. Μέταλλα

Σε προβιομηχανικό στάδιο βρίσκεται η παρασκευή σύνθετων υλικών με βάση (μήτρα) μέταλλα. Έχει ήδη παρασκευαστεί αλουμίνιο ενισχυμένο με ίνες βορίου ή ανθρακοπυριτίου ή αλουμίνιας (Πιν. 1 και 2). Το σύνθετο αυτό υλικό έχει μεγάλη μηχανική και

(*) Ο Θ. Σκουλικίδης είναι καθηγητής και Δ/της του Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

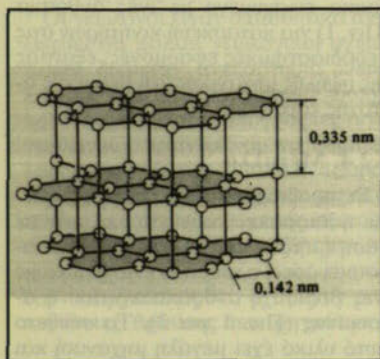
Πίνακας 1: Διάφορα είδη ενισχυτικών υλικών, που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σύνθετων υλικών, με ορισμένα μηχανικά χαρακτηριστικά τους.

Υλικό	Πυκνότητα	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Αντοχή σε εφελκυσμό (GPa)
Τριχιδία			
Γραφίτης	2,2	700	20
Si ₃ N ₄	3,1	400	7-14
SiC	3,2	500-700	7-21
Al ₂ O ₃	4,0	420-530	14
Ίνες			
Γραφίτης I	1,95	390	2,2
Γραφίτης II	1,75	250	2,7
Βόριο	2,6	400	3,0
SiO ₂	2,2	700	3,6-6
Αρωματική πολυαμιδη	1,45	130	2,7
Γυαλί E	2,6	73	3,4
Γυαλί R	2,53	86	4,4
Αμίαντος	2,5	160	6
Χάλυβας (0,9% C)	7,8	210	4
Ανοξειδωτος Χάλυβας	7,9	200	2,4
Μολυβδένιο	10,3	365-410	2,1
Βολφράμιο	19,3	345	2,0-4
Πλάκες			
Μίκα	2	170	3

θερμική αντοχή και αντοχή στη διάβρωση.

2.3. Ενισχυτικά υλικά

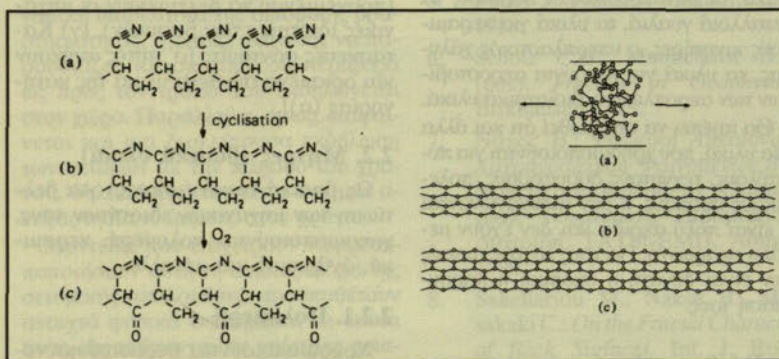
Χρησιμοποιείται μία σειρά από διάφορα υλικά με τη μορφή τριχιδίων (μονοκρυστάλλιοι), ινών ή πλακών, με κύριο χαρακτηριστικό τη μεγάλη μηχανική αντοχή και μερικές φορές και θερμική αντοχή τους. Μεγάλη χρήση έχουν κύρια οι ίνες γυαλιού ή γραφίτη. Όπως φαίνεται στον Πίν. 1, τα υλικά αυτά είναι άνθρακας, κεραμικά, μέταλλα, πολυμερή κ.λ.π.



Σχ.1: Κρυσταλλική δομή του γραφίτη (άνθρακα).

Τα τριχιδία, μεταξύ αυτών και κεραμικά που είναι πολύ ελαφριά, είναι μονοκρυστάλλιο χωρίς ατέλειες με με-

του γυαλιού, όταν βρίσκεται σε θερμοκρασία μεταξύ σημείου μαλάκυνσης και σημείου τήξης.



Σχ.2: Πολυμερές (πολυ-ακρυλονιτριλίο) μετατρέπεται σε ίνα άνθρακα.

γάλη αντοχή σε εφελκυσμό. Εξ αιτίας των δυσκολιών, που παρουσιάζει η παρασκευή τους, έχουν πολύ υψηλή τιμή και δεν εφαρμόζονται ακόμη σε μεγάλη κλίμακα. Για τους ίδιους λόγους, η εφαρμογή ινών βορίου είναι περιορισμένη. Αντίθετα η φτηνή τιμή των ινών άνθρακα και η ακόμη φτηνότερη των ινών γυαλιού επέτρεψε την ευρεία εφαρμογή τους.

Οι ίνες γυαλιού παρασκευάζονται με απλό και εύκολο τρόπο: με εφελκυσμό

Η παρασκευή των ινών άνθρακα είναι περιπλοκότερη. Επιδιώκεται να αποκτήσει ο άνθρακας τις εξαιρετικά μεγάλες μηχανικές αντοχές, γειτονικές σε εκείνες του διαμαντιού, που έχει το πλέγμα του κατά διεύθυνση παράλληλη προς τα εξαγωνικά επίπεδα της κρυσταλλικής δομής (Σχ. 1), σε αντίθεση με κάθετη σ' αυτά διεύθυνση, που η αντοχή σε εφελκυσμό είναι 30 φορές μικρότερη. Αυτό πραγματοποιείται με τον ακόλουθο τρόπο:

MAR M 200		PW 454	
Χημικό στοιχείο	% κατά βάρος	Χημικό στοιχείο	% κατά βάρος
Νικέλιο	60,25	Νικέλιο	62,5
Βολφράμιο	12,5	Ταντάλιο	12
Κοβάλτιο	10	Χρώμιο	10
Χρώμιο	9	Κοβάλτιο	5
Αλουμίνιο	5	Αλουμίνιο	5
Τιτάνιο	2	Βολφράμιο	5
Νιόβιο	1	Τιτάνιο	1,5
Άνθρακας	0,15		
Ζιρκόνιο	0,05		
Βόριο	0,015		
Ακαθαρσίες: Σίδηρος < 0,2%, Πυρίτιο < 0,1%, Μαγγάνιο < 0,10%, Χαλκός < 0,05%, Θείο < 0,08%, Μόλυβδος < 0,0005%.			

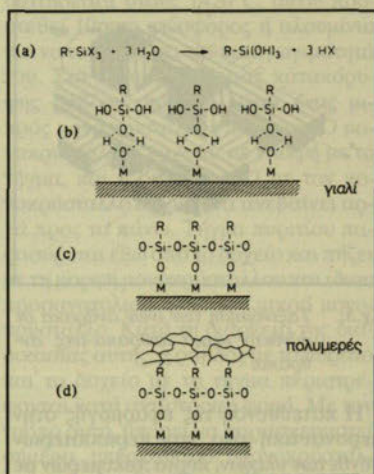
Γίνεται πυρόλυση με εφελκυσμό στους $\approx 200^\circ\text{C}$ ινών πολυ(ακρυλονιτριλίου) (Σχ. 2a) και παίρνεται η ένωση του σχήματος 2b· αν αυτή η πυρόλυση γίνει σε ελαφρά οξειδωτική ατμόσφαιρα παίρνεται η ένωση 2c. Με θέρμανσή της σε αδρανή ατμόσφαιρα στους $1500\text{-}2000^\circ\text{C}$, απομακρύνεται απ' αυτή νερό και υδροχλωρίδιο. Έτσι απομακρύνεται απ' αυτή όλο το οξυγόνο, το άζωτο και το υδρογόνο και μένει ένα άνθρακα. Τα εξαγωνικά επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος είναι μερικά προσανατολισμένα κατά μήκος της ίνας, γι' αυτό η αντοχή της σε εφελκυσμό είναι η μισή του διαμαντιού ή του άνθρακα με πλήρη προσανατολισμό, όμως είναι 100 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του πολυ (ακρυλονιτριλίου). Με εφελκυσμό της ίνας σε αδρανή ατμόσφαιρα στους 2700°C , η αντοχή της διπλασιάζεται και γίνεται όση του διαμαντιού. Οι ίνες αυτές άνθρακα, εκτός από την εξαιρετικά μεγάλη μηχανική αντοχή τους, έχουν και μεγάλη θερμική αντοχή και ηλεκτρική αγωγιμότητα.

2.4. Συνδυασμός βασικών υλικών (μητρών) και ενισχυτικών: σύνθετα υλικά

Όπως αναφέρθηκε, συνδυάζοντας τα βασικά υλικά με τα ενισχυτικά, παρασκευάζονται τα σύνθετα υλικά με μεγάλες μηχανικές και θερμικές αντοχές και ορισμένα (πολυμερή) με μικρό βάρος. Είναι φανερό ότι μηχανικό φορτίο μεταφέρεται από τη μήτρα στο ενισχυτικό υλικό. Για να επιτύχει αυτό καλύτερα, χρειάζεται μερικές φορές (ιδιαίτερα για τις ίνες γυαλιού) η χρησιμοποίηση συνδετικού μέσου, που ενώνεται χημικά με την πολυμερή μήτρα

και με την επιφάνεια του γυαλιού (Σχ. 3).

Βρίσκεται σε εξέλιξη η χρησιμοποίηση τέτοιου συνδετικού μέσου για τις ίνες άνθρακα και τις αρωματικές πολυαμιδές (Πιν. 2).



Σχ.3: (a) Υδρόλυση συνδετικού μέσου, (b) Σχηματισμός γεφυρών υδρογόνου μεταξύ του προϊόντος υδρόλυσης και ίνας γυαλιού, (c) Σχηματισμός χημικού δεσμού με την ίνα, (d) Σχηματισμός χημικού δεσμού και με το πολυμερές. X: αλογόνο M: μεταλλικό κατίον.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται ορισμένα σύνθετα υλικά με ορισμένες μηχανικές ιδιότητές τους, σε σύγκριση με μερικά παραδοσιακά απλά υλικά.

Όλα τα σύνθετα αυτά υλικά έχουν ιδιαίτερη σημασία και βελτιώνουν πολύ τις μηχανικές ιδιότητες των βασικών υλικών, όμως το σύνθετο υλικό άνθρακα-ίνες-άνθρακα (Σχ. 5), που βρίσκε-

ται σε συνεχή βελτίωση, παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον, γιατί είναι ελαφρύ, έχει μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό και στη θερμότητα, είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού και έχει μεγάλη αντοχή στο χρόνο έναντι των σύνθετων υλικών με βασικό υλικό πολυμερή ή μέταλλα.

2.5. Κατασκευές σάντουιτς

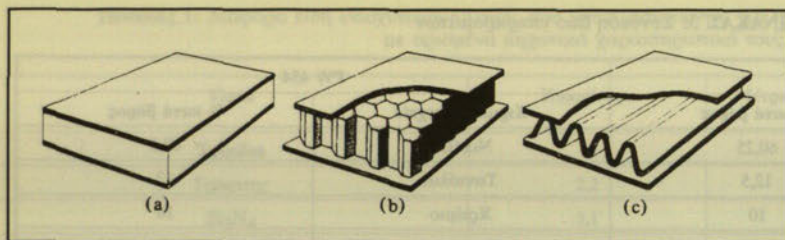
Μια άλλη κατηγορία σύνθετων υλικών είναι οι κατασκευές σάντουιτς. Πρόκειται για φύλλα ή σύρματα ενός βασικού υλικού (ψυχή ή καρδιά), που περιβάλλονται από στρώματα κατάλληλου υλικού, όταν θέλουμε να ενισχυθούν οι ιδιότητες της επιφάνειας του βασικού υλικού. Τα υλικά σάντουιτς έχουν συνήθως τις μορφές που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.

Έτσι στην κατηγορία αυτή, όπως ειπώθηκε (2.1), υπάγονται τα επιμεταλλωμένα μέταλλα και το ανοδικά οξειδωμένο αλουμίνιο, προκειμένου να βελτιωθούν οι επιφανειακές ιδιότητες ως προς τη διάβρωση ή για λόγους αισθητικούς. Υπάγονται επίσης σύρματα με ψυχή ανθεκτική στη μηχανική καταπόνηση (ανοξειδωτος χάλυβας) και επιστρώματα αγωγίμο (χαλκός) ή ανθεκτικό στη θερμότητα. Υπάγονται τέλος σύνθετα υλικά, που έχουν σκοπό την ενίσχυση της μηχανικής αντοχής της επιφάνειας, που καταπονείται περισσότερο σε κάμψη.

2.6. Εφαρμογές

2.6.1. Γενικότητες

Σύμφωνα με αυτά που ειπώθηκαν, τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται, όταν θέλουμε η μάζα του ενός υλικού ή η επιφάνειά του να αποκτήσει κατάλ-



Σχ.4: (α) Συμπαγής ψυχή, (β) Κυψελοειδής ψυχή, (γ) Κυματοειδής ψυχή.

ληδες ιδιότητες. Έτσι, η εφαρμογή τους εξαρτάται από το συνδυασμό ιδιοτήτων, που απέκτησαν. Οι ιδιότητες αυτών των υλικών καθορίζονται από τις ανάγκες της πράξης και προσχεδιάζονται με βάση τη μοριακή, κρυσταλλική και μικροδομή των υλικών και το συνδυασμό τους.

2.6.2. Προστασία από τη διάβρωση

Ένα πλήθος αντικειμένων, όπως λαμαρίνες (σάντουιτς), σωλήνες κ.λπ. επιψευδαργυρώνεται* για προστασία από τη διάβρωση.

Ευρεία εφαρμογή για την προστασία από τη διάβρωση αποτελεί η επιχρωμώση αντικειμένων από χάλυβα: προηγείται επιχάλκωση-επινικέλωση-επιχρωμώση-επινικέλωση (σάντουιτς).

Σύνθετα υλικά είναι και τα βαμμένα με αντιδιαβρωτικά χρώματα (πολυμερή + πιγμέντα) αντικείμενα από χάλυβα ή άλλα μέταλλα.

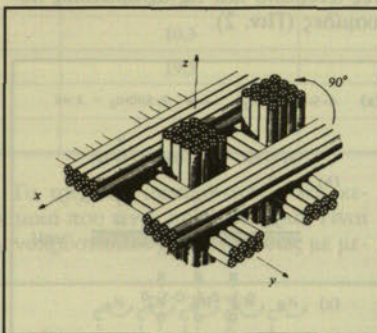
Σύνθετα υλικά $Al-Al_2O_3$ είναι κατασκευές και αντικείμενα (κουφώματα, αμαξώματα αυτοκινήτων, τρένων, πλοιαρίων, αντικειμένων πολυτελείας) από ανοδικά οξειδωμένο αλουμίνιο για προστασία από τη διάβρωση και ως ενδιάμεσο στάδιο για τη βαφή τους.

2.6.3. Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, προϋποθέτει σύρματα ανθεκτικά, ελαφρά και αγωγιμα. Κανένα υλικό μόνο του δεν έχει αυτές τις ιδιότητες. Αυτές αποκτώνται με χρησιμοποίηση σύνθετων συρμάτων, που η ψυχή τους είναι από χάλυβα και περιβάλλονται από χαλκό ή αλουμίνιο. Αν γίνει φτηνότερη η παρασκευή σύνθετου υλικού άνθρακα/ίνες άνθρακα (2.4) θα είναι το ιδανικό υλικό για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.

2.6.4. Χρησιμοποίηση στην αεροναυτική, ναυπηγική και αεροδιαστημική

Τα σύνθετα υλικά που έχουν μικρό βάρος και αντοχή χάλυβα (Πιν. 2) έχουν ευρεία εφαρμογή στην αεροναυτική, ναυπηγική και αεροδιαστημική. Έτσι λ.χ. τμήματα αεροπλάνων και ελικοπτέρων χρησιμοποιούν σύνθετα υλικά από πολυμερή και ίνες γυαλιού ή άνθρακα ή με κυψελοειδή ψυχή αλουμινίου και ενισχυμένα επιστρώματα (σάντουιτς).



Σχ.5: Ταξινόμηση των ινών άνθρακα σε σύνθετο υλικό άνθρακα-ίνες άνθρακα.

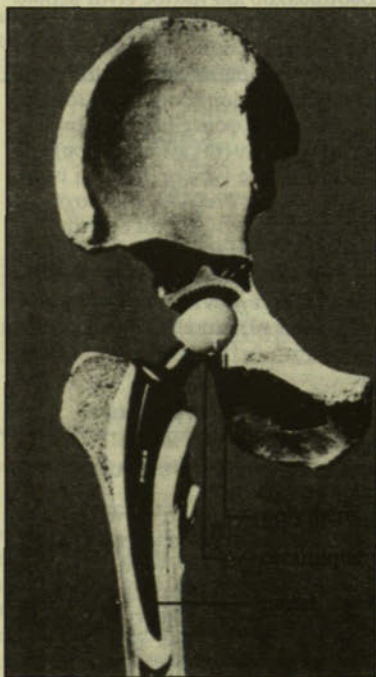
Η κατεύθυνση της εφαρμογής στην αεροναυτική όλο και περισσότερων σύνθετων υλικών, κύρια πολυμερών με ίνες άνθρακα-όπου ο λόγος πυκνότητας/μέτρο ελαστικότητας είναι μικρός, άρα υλικού ελαφρού με μεγάλη αντοχή-φαίνεται από τα ακόλουθα. Το 1977 το αεροπλάνο Gossamer Condor, πέταξε 800 μέτρα με τη δύναμη ενός ανθρώπου, που κινούσε την έλικα με πετάλια. Το αεροπλάνο είχε βάρος 32 κιλά και ήταν φτιαγμένο από σωλήνες αλουμινίου και ξύλο. Το 1979 με βελτιωμένη μορφή το Gossamer Albatros διέσχισε τη Μάγλη, πετώντας 3 ώρες σε απόσταση 32 χιλιομέτρων. Το βάρος του ήταν 25 κιλά, γιατί εκτός από ορισμένα εξαρτήματά του, ήταν φτιαγμένο από πολυμερή και ενισχυμένα πο-

λυμερή: εποξυδική ρητίνη με ίνες γραφίτη, διογκωμένο πολυστερένιο με ίνες γραφίτη, αρωματικές πολυαμίνες και πολυ (τερεφθαλικό αιθυλένιο). Σήμερα κατασκευάζονται μικρότερου βάρους εξαρτήματα.

Ήδη ορισμένα τμήματα των συνηθισμένων αεροπλάνων κατασκευάζονται από ενισχυμένα πολυμερή. Μόνο το κράμα αλουμινίου-λίθιου έχει κατάλληλη αντοχή και μικρό βάρος, και μελετάται η χρησιμοποίησή του για τον ίδιο σκοπό. Το σύνθετο υλικό άνθρακα-ίνες άνθρακα, χρησιμεύει για την κατασκευή τμημάτων κινητήρων των πυραύλων (Σχ. 5). Ενισχυμένο πολυμερές με ίνες γυαλιού, χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλοιαρίων.

2.6.5. Ορθοπεδικές προσθήκες

Τα τελευταία χρόνια στην ορθοπεδική χειρουργική χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά για την αντικατάσταση ζωτικών τμημάτων του ανθρώπινου σκελετού. Οι μεταμοσχεύσεις αυτές απαιτούν εξαιρετικά αυστηρές ιδιότητες υλικών. Πρέπει να είναι βιοσυμβατά, δηλ. όχι τοξικά, όχι καρκινογενή και να μην δημιουργούν αντιδράσεις αποβολής τους. Θα πρέπει ακόμη να έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή, αντοχή στην κόπωση και στη διάβρωση.



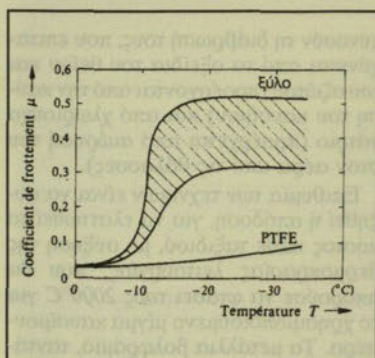
Σχ.6: Τεχνητή άρθρωση γοφού.

(*) Λόγω της απολαθητικοποίησης του ψευδάργυρου από τους ρυπάντες SO_2 και NO_x η μέθοδος αυτή ήδη περιορίζεται.

Το πρόβλημα αυτό λύθηκε με τη συνδυασμένη χρησιμοποίηση ειδικού κράματος, Co, Ni, Cr, Mo, Ti, πολυμερούς (πολυακετάλη) και κεραμικού υλικού με βάση φρυγμένη σε μεγάλη πίεση αλουμίνα (Σχ. 6). Ευρεία χρήση έχει και το τιτάνιο.

2.6.6. Πέδιλα σκι

Τα πέδιλα του σκι, πρέπει να γλυστράνε πάνω στο χιόνι, να αντέχουν σε ανύψωση της θερμοκρασίας, που προκαλείται από την τριβή, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα στρώμα νερού μεταξύ σκι και χιονιού. Αυτό μέχρι -10°C , κάτω απ' αυτούς δεν λιώνει το χιόνι και η τριβή αυξάνει και για το ξύλο (παλιότερες κατασκευές) και για το μέταλλο. Εξ αιτίας μικρής τριβής δεν παρατηρείται τέτοια ανύψωση της θερμοκρασίας για το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE) (Σχ. 7) και για το πολυαιθυλένιο (PE).



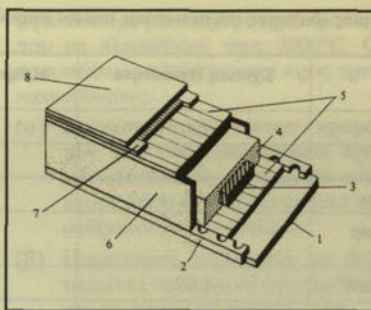
Σχ. 7: Μεταβολή των συντελεστών τριβής (μ) ξύλου και PTFE ως προς τη θερμοκρασία του πάγου (T).

Επίσης τα πέδιλα του σκι πρέπει να αντέχουν σε κάμψη, στρέψη και ψαλιδισμό. Τέτοιες ιδιότητες έχει μόνο ένα φυσικό υλικό, το ξύλο. Ο συνδυασμός όλων αυτών των ιδιοτήτων εξασφαλίζεται με σύνθετα υλικά σάντουιτς (Σχ. 8)

3. Μονοκρύσταλλοι πυριτίου

3.1. Παρασκευή

Το πυρίτιο είναι ένας αποθημαγωγός και παρασκευάζεται με αναγωγή του οξειδίου του πυριτίου (πυριτίας) με άνθρακα ή ανθρακασβέστιο. Για πολύ καθαρό πυρίτιο χρησιμοποιείται χλωριούχο πυρίτιο, που παρασκευάζεται από πυρίτιο, το οποίο προέρχεται από την προηγούμενη μέθοδο, και συνάγεται με υδρογόνο. Μετά, το πυρίτιο καθαρίζεται με τη μέθοδο της «τηγμένης ζώνης». Με τον τρόπο αυτό παρασκευάζεται πυρίτιο καθαρότητας 99,99999%. Το πυρίτιο αυτό τήκεται με



Σχ. 8: Τομή του σκι. (1) Πολυαιθυλένιο, (2) Χάλυβας, (3) Ρητίνη φορμοφαινόλης με ίνες άνθρακα, (4) Αφρός πολυαιθυλενίου, (5) Εποξυδινική ρητίνη με ίνες γυαλιού, (6) Εποξυδινική ρητίνη ή ακρυλονιτριλιο-βουταδιένο-στυρένιο ή ρητίνη φορμοφαινόλης ή κράμα αλουμινίου, (7) Κράμα αλουμινίου, (8) Ακρυλονιτριλιο-βουταδιένο-στυρένιο.

ηλεκτρική αντίσταση σε αδρανή ατμόσφαιρα σε ένα δοχείο από χαλαζία και διατηρείται στους 1420°C , αφού προστεθεί 10ppm φώσφορος ή αλουμίνιο για να του αυξήσει την ημιαγωγιμότητά του. Στο κάτω μέρος μιας κατακόρυφης ράβδου, προσκολλάται ένας μικρός μονοκρύσταλλος πυριτίου. Ο μονοκρύσταλλος έρχεται σε επαφή με το τήγμα, και η ράβδος μαζί με τον μονοκρύσταλλο αρχίζει να ανεβαίνει αργά προς τα πάνω. Τήγμα πυριτίου παρασύρεται έξω από το δοχείο και πηζει με τη μορφή μονοκρύσταλλου και ίδιου προσανατολισμού με τον μικρό μονοκρύσταλλο. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, η ράβδος με το πυρίτιο και το δοχείο με το τήγμα περιστρέφονται κατά αντίστροφη φορά. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να παρασκευαστεί σήμερα υπερκαθαρός μονοκρύσταλλος πυριτίου διαμέτρου 20 εκατοστών και μήκους 2 μέτρων. Από τον μονοκρύσταλλο αυτό κόβονται, κάθετα στον άξονά του φέτες πάχους 1 χιλιοστού. Οι επιφάνειες κάθε φέτας λειαίνονται μέχρις ότου αποκτήσουν μορφή καθρέφτη.

3.2. Εφαρμογές

Μονοκρύσταλλοι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την έρευνα των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των στερεών. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη μικροηλεκτρονική για την παρασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, στη ρομποτική και στον αυτοματισμό μηχανών, και στα ρολόγια και τα χρονόμετρα ακριβείας. Χρησιμοποιούνται τέλος για ανόρθωση εναλλασσομένου ρεύματος.

4. Μεταλλικά γυαλιά

4.1. Παρασκευή

Το γυαλί είναι άμορφο, μη κρυσταλλικό. Σε άμορφη μορφή παίρνονται ορισμένες ουσίες με ψύξη αργή από το τήγμα τους, όπως είναι το γυαλί, η πυριτιά, το πολυστυρένιο. Όλες οι άλλες ουσίες μπορεί να παρθούν σε άμορφη μορφή, ακόμη και οι πιο κρυσταλλικές, που είναι τα μέταλλα, με απότομη ψύξη. Η ταχύτητα αυτή ψύξης είναι 10^5 μέχρι 10^9 βαθμοί το δευτερόλεπτο. Με τέτοιες απότομες ψύξεις παίρνονται σε άμορφη μορφή κράματα μετάλλων, πράγμα που είναι ευκολότερο παρά από τα καθαρά μέταλλα. Με συνεχή μέθοδο, όπου τήγμα κράματος μετάλλου σε λεπτή δέση ψύχεται απότομα πάνω σε περιστρεφόμενο με ταχύτητα 30 μέτρα το δευτερόλεπτο και ψυχόμενο τύμπανο χαλκού, παρασκευάζονται ταινίες άμορφου κράματος, μεταλλικού γυαλιού, πλάτους 5 έως 20 εκατοστών και πάχους 50 μικρομέτρων.

Τα μεταλλικά γυαλιά έχουν μεγάλη μηχανική αντίσταση, λ.χ. το $\text{Fe}_{80}\text{Cr}_6\text{Mo}_6\text{B}_{28}$ έχει όριο ελαστικότητας 4500 MPa, αντί 2500 MPa του χάλυβα.

Τα μεταλλικά γυαλιά έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση απ' ό,τι οι αντίστοιχοι μεταλλικοί κρύσταλλοι, γιατί στερούνται ενεργών κέντρων.

4.2. Εφαρμογές

Τα μεταλλικά γυαλιά εφαρμόζονται ήδη ως ράβδοι για συγκολλήσεις στην αεροναυπηγική. Προβλέπονται επίσης εφαρμογές στους ηλεκτρικούς μετασχηματιστές, όπου περιμετρικά κενείς σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας εξαιτίας της ελάττωσης απωλειών από ρεύματα Foucault.

5. Υλικά για κεραμικούς κινητήρες

5.1. Νέα κεραμικά υλικά.

Εκτός από τα γνωστά κεραμικά υλικά λ.χ. πορσελάνη, πηλός κ.λ.π. αναπτύχθηκαν κατά τα τελευταία χρόνια νέα υλικά με βάση το νιτρίδιο του βορίου και το νιτρίδιο ή ανθρακούχο πυρίτιο. Αναπτύχθηκαν επίσης νέες τεχνικές σχηματοουργίας με φρύξη των ουσιών αυτών σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

5.2. Εφαρμογές

Τα αντικείμενα, που παράγονται με τα υλικά αυτά, έχουν εξαιρετικές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, δεν είναι πορώδη, αντέχουν σε θερμοκρα-

Πίνακας 2: Μηχανικές ιδιότητες σύνθετων και απλών παραδοσιακών υλικών

Σύνθετα υλικά	Σχετική Πυκνότητα	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Αντοχή σε εφελκυσμό (GPa)
PEEK* +60% ίνες άνθρακα	1,61	120	1,7
Εποξυδική ρητίνη + 65% ίνες άνθρακα	1,6	124-135	1,4-1,8
Ακόρεστος πολυεστέρας +70% ίνες άνθρακα	1,6	220	1,4
Ακόρεστος πολυεστέρας +60% ίνες αρωματικής πολυαμιδής	1,4	70	1,3
Ακόρεστος πολυεστέρας +50%-80% ίνες γυαλιού	1,6-2	20-70	0,65-0,75
Εποξυδική ρητίνη + ίνες βορίου	2	200	1,4
Αλουμίνιο + ίνες βορίου καλυμμένες με B ₄ C ₃	2,65	200	1,4
Άνθρακας + ίνες άνθρακα	1,3-1,6	150-200	1,2-1,5
Αλουμίνιο	2,8	80	0,4
Χάλυβας	7,8	210	0,5-2
Ακόρεστος πολυεστέρας	1,1-1,3	2-5	0,02-0,07
Εποξυδική ρητίνη	1,1-1,5	2,5	0,015-0,07
PEEK*		2,8	0,105

*Πολυ(αίθερο-αίθερο-κετόνη)

σιές, όπου τα μεταλλικά κράματα τήκονται, είναι σκληρά και ελαφρά, αλλά ακριβότερα από τα αντίστοιχα κατασκευασμένα με παραδοσιακά υλικά.

Είναι φανερό ότι ένας κινητήρας, κατασκευασμένος από τα νέα κεραμικά, θα έχει μεγαλύτερο θερμοκό απόδομα, γιατί θα μπορεί να λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1000° C. Επίσης, εξ αιτίας της μεγάλης θερμομόνωσης των υλικών αυτών, ο κινητήρας δεν θα χρειάζεται όλο το σύστημα ψύξης, που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα. Έχει ήδη κατασκευαστεί στην Ιαπωνία ένας κεραμικός κινητήρας αυτοκινήτου από νιτρίδιο του πυριτίου, όμοιος με κινητήρα diesel τριών κυλίνδρων (2800 κυβικών εκατοστών), που είναι 30% ελαφρύτερος από τον κλασικό. Από πειράματα πάνω σ' αυτόν τον κινητήρα, προέκυψαν αποτελέσματα, που οδήγησαν σε μια αμερικανοϊαπωνική συνεργασία κατασκευής κεραμικού αδιαβατικού κινητήρα diesel από οξείδιο του ζιρκονίου σταθεροποιημένου με ύτριο, αερόψυκτο, με θερμικό απόδομα 48% αντί 30% συμβατικού κινητήρα diesel. Αυτό σημαίνει ότι, αν ο τελευταίος χρειαζόταν 8 λίτρα καυσίμου για 100 χιλιόμετρα, ο νέος κινητήρας χρειάζεται 5 λίτρα.

Υπάρχουν μεγάλες προοπτικές διεύρυνσης της χρησιμοποίησης αυτής.

6. Υπερπλαστικοί χάλυβες

6.1. Παρασκευή

Έρευνες, που άρχισαν το 1977, για την παρασκευή ενός υπερπλαστικού

χάλυβα, οδήγησαν στην παρασκευή του με τις ακόλουθες προϋποθέσεις: θα πρέπει ο χάλυβας να έχει μία μικροδομή πολυκρυσταλλική, έτσι που οι κόκκοι του να έχουν διαστάσεις μεγέθους μικρού, δηλ. εκατό φορές μικρότεροι από ένα συνηθισμένο κράμα χάλυβα. Αυτό πετυχαίνεται, όταν κατά την ψύξη του χάλυβα ασκούνται πάνω του παραμορφωτικές δυνάμεις. Έτσι, κατά την ψύξη χάλυβα με 1,6% άνθρακα μεταξύ 900 και 600 βαθμών, μπορεί να πραγματοποιηθεί παραμόρφωση μέχρι 1100%. Οι ιδιότητες που αποκτώνται με τον τρόπο αυτό, μένουν περίπου οι ίδιες μετά τη βαφή του χάλυβα (απότομη ψύξη). Το όριο ελαστικότητας του χάλυβα αυτού είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερο από εκείνο ενός κοινού χάλυβα, διατηρώντας δυνατότητα πλαστικής παραμόρφωσης 10-20% και εξαιρετική σκληρότητα.

6.2. Εφαρμογές

Ο χάλυβας αυτός χρησιμοποιείται προς το παρόν για να κατασκευαστούν σπαθιά, μαχαίρια, ψαλίδια, ξυράφια, ξυραφάκια.

7. Υλικά αεροστροβίλων: Υπερκράματα

Απαιτούνται ειδικές ιδιότητες για να κατασκευαστούν οι αεροστροβίλοι των αεροπλάνων και ιδιαίτερα των πτερυγίων των αεροστροβίλων. Αυτά καταπονούνται μηχανικά και θερμικά, ακόμη, επειδή λειτουργούν σε μία ατμόσφαιρα αερίου-αέρα σε υψηλή θερμοκρασία βρίσκονται σε συνθήκες που

ευνοούν τη διάβρωσή τους, που επιταχύνεται από τα οξείδια του θείου και του αζώτου (προέρχονται από την καύση του καυσίμου) και από χλωριούχο νάτριο (προέρχεται από αιώρησή του στον αέρα από τις θάλασσες).

Επιθυμία των τεχνικών είναι να αυξηθεί η απόδοση, για να ελαττωθεί το κόστος κάθε ταξιδιού, με αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας, που θα μπορούσε να φτάσει τους 2000° C για το χρησιμοποιούμενο μίγμα καυσίμου-αέρα. Τα μέταλλα βολφράμιο, ταντάλιο, νιόβιο, μολυβδένιο έχουν υψηλά σημεία τήξης, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των πτερυγίων των αεροστροβίλων, γιατί σχηματίζουν πτηνικά οξείδια και συνεχίζεται έντονη διάβρωσή τους. Ένας αριθμός από κεραμικά έχει πολύ υψηλά σημεία τήξης, αλλά αυτά δεν έχουν αρκετή μηχανική αντοχή.

Έτσι, τελικά μετά από σαράντα χρόνια έρευνας η διεθνής επιστήμη παρασκεύασε τα υπερκράματα. Η σύνθεση δύο τέτοιων κραμάτων φαίνεται στον πίνακα 3.

Κάθε χημικό στοιχείο προσδίδει και ειδικές ιδιότητες στα κράματα αυτά. Η βάση των κραμάτων, το νικέλιο, είναι ένας κρύσταλλος συμπαγής με μικρό συντελεστή διάχυσης. Τα στοιχεία βολφράμιο, κοβάλτιο, νιόβιο, προκαλούν τη σκληρότητα του νικελίου, σχηματίζοντας μ' αυτό στερεά διαλύματα. Τα στοιχεία χρώμιο και αλουμίνιο αυξάνουν την αντοχή του κράματος στη διάβρωση. Τα στοιχεία αλουμίνιο, τιτάνιο, ταντάλιο, που σχηματίζουν κατακρημνίσεις του τύπου Ni(Al,Ti,Ta),

προκαλούν δομική σκλήρυνση. Ο άνθρακας σχηματίζει ενώσεις με τα βολφράμιο, νιόβιο, τιτάνιο, και χρώμιο.

Το κράμα MAR M 200 έχει σημείο τήξης 1250°C και το κράμα PW454, με λιγότερα στοιχεία, 1300°C.

Δεν φτάνει όμως η σύνθεση των κραμάτων για να εξασφαλίσουν στα περσόνια των αεροστροβίλων των αεροπλάνων μηχανική και θερμική αντοχή, αντοχή στη διάβρωση, στη μηχανική και θερμική κόπωση· πρέπει αυτά να αποτελούνται από όσο γίνεται λιγότερους κρυστάλλους, να είναι δηλ. μονοκρυσταλλοί. Αυτό πετυχαίνεται με κατάλληλη πήξη του κράματος σε κενό και ανόπτηση με προσανατολισμένο πεδίο θερμοκρασίας, πράγμα που οδηγεί τελικά στην εξάλειψη των πολυλών κρυστάλλων και την ανάπτυξη ενός.

Οι 1300°C αποτελούν το όριο εφαρμογής των υπερκράματων, αλλά η πρά-

ξη απαιτεί μεγαλύτερες θερμοκρασίες, που να πλησιάζουν τους 2000°C. Οι προσπάθειες εξελίσσονται προς τρεις κατευθύνσεις:

- (α) Παρασκευή δύστηκτων κραμάτων, που στερεοποιήθηκαν προς μία κατεύθυνση· τα κράματα αυτά έχουν βάση το νικέλιο με ίνες λ.χ. ανθρακούχου τανταλίου.
- (β) Παρασκευή κεραμικών με βελτιωμένες τη θερμική αγωγιμότητα και τη μηχανική αντοχή τους.
- (γ) Χρησιμοποίηση, μετά από βελτίωση των ιδιοτήτων του, του σύνθετου υλικού άνθρακας-ίνες άνθρακα.

Βιβλιογραφία

- Γενικά βιβλία Φυσικοχημείας, Θερμοδυναμικής, Κρυσταλλογραφίας, Μεταλλογνωσίας, Διάβρω-

- G. Murch: Materials Science Forum, Ολλανδία 1986
- K. Wilfried, J. Mercier, G. Zambelli: «Traité des Matériaux» τόμος 1, Λωζάνη, 1987.
- 1st Intern. RILEM Congr.: Combining Materials; 1st Vol.: Design, Production and Properties, Versailles, France, 1987.
- Ibid: 2nd Vol., Durability of Construction Materials.
- Συνέδριο: «Νέα Υλικά προηγμένης Τεχνολογίας», Αθήνα, 1989.
- K. Easterling: «Tomorrow's Material», London, 1990.
- R. Cahn, P. Haasen, E. Kramer: «Materials Science and Technology», N.Y., 1992.

Ταμεινός κτίσις στη λειτουργία του Πανεπιστημίου
Το Πανεπιστήμιον είναι ένα θεσμός με μακρά ιστορία διαρκούσας. Χαρακτηριστικόν παράδειγμα τούτου είναι η φιλοσοφία και η μελέτη των πραγμάτων, η οποία αποτελεί τον πυρήνα της παιδείας. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της σκέψης, η τέχνη της αναζήτησης της αλήθειας. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της ζωής, η τέχνη της αντιστάσεως στην αδικία, η τέχνη της αγάπης. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της ελευθερίας, η τέχνη της αυτονομίας. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της αρετής, η τέχνη της αντιστάσεως στην κακότητα. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της σοφίας, η τέχνη της αντιστάσεως στην ανοησία. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της ομορφιάς, η τέχνη της αντιστάσεως στην κτηνη φύση. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της αθανασίας, η τέχνη της αντιστάσεως στην θνητότητα. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της ευτυχίας, η τέχνη της αντιστάσεως στην δυστυχία. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της αρετής, η τέχνη της αντιστάσεως στην κακότητα. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της σοφίας, η τέχνη της αντιστάσεως στην ανοησία. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της ομορφιάς, η τέχνη της αντιστάσεως στην κτηνη φύση. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της αθανασίας, η τέχνη της αντιστάσεως στην θνητότητα. Η φιλοσοφία είναι η τέχνη της ευτυχίας, η τέχνη της αντιστάσεως στην δυστυχία.