



Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο – ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ

Σχολή Μηχανικών

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Πτυχιακή Εργασία

Θέμα:

**ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΚΕΛΕΤΩΝ
ΟΠΤΙΚΩΝ ΟΡΑΣΕΩΣ**

του:

ΓΑΣΤΟΥΝΙΩΤΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

(Α.Μ. : TM6544)

Επιβλέπων Καθηγητής: Παπαδάκης Νικόλαος

Ηράκλειο, 2023



Hellenic Mediterranean University – HMU
Faculty of Engineering
Department of Mechanical Engineering

Thesis

**SELECTION AND COMPARISON OF
MATERIALS FOR THE CONSTRUCTION
OF OPTICAL FRAMES**

GASTOUNIOTIS GEORGIOS

Supervisor: Papadakis Nikolaos

Heraklion, 2023

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση την μεταπτυχιακής μου εργασίας που αφορά την επιλογή και σύγκριση υλικών για την κατασκευή γυαλιών οράσεως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή μου κ. Παπαδάκη Νικόλαο για την βοήθεια και καθοδήγησή του, αλλά και την ψυχολογική του στήριξη. Επίσης, είναι εύλογο να ευχαριστήσω και όλο το εκπαιδευτικό προσωπικό της σχολής για τις γνώσεις που πρόσφεραν.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ την οικογένειά μου, που με στήριξε καθόλα την πορεία μου, οικονομικά και ψυχικά, παρόλες τις δυσχέρειες που εμφανίστηκαν κατά την διάρκεια της φοίτησής μου.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους που κατανοούσαν τις ανάγκες μου αλλά και τους συμφοιτητές μου, με τους οποίους ανταλλάξαμε ιδέες και εμπειρίες.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ABSTRACT	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΓΥΑΛΙΩΝ ΟΡΑΣΕΩΝ.....	11
Ορισμός γυαλιών οράσεως.....	11
1.2.Ιστορική ανασκόπηση.....	11
1.3. Χαρακτηριστικά των γυαλιών οράσεων	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΓΥΑΛΙΩΝ ΟΡΑΣΕΩΣ	22
2.1. Εισαγωγή.....	22
2.2. Μέρη και εξαρτήματα σκελετών γυαλιών οράσεως	22
2.2.1. Οφθαλμικό Σύρμα.....	22
2.2.2.Γέφυρα και Τελικό Προϊόν	23
2.2.3.Κροταφικό Τμήμα	24
2.2.4.Λοιπά Μέρη Σκελετού.....	24
2.2.Φακοί, κάτοπτρα Κοίλων & Κυρτών Επιφανειών	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΓΥΑΛΙΩΝ ΟΡΑΣΕΩΣ	27
Εισαγωγή.....	27
3.1. Γενικά για τα Υλικά.....	27
3.1. Υλικά κατασκευής σκελετού	29
3.2.Υλικά κατασκευής φακών	31
3.2.1.Κρύσταλλο.....	31
3.2.2.Οργανικό- Πλαστικό.....	32
3.2.3.Γυαλί.....	32
3.2.4.Πολυανθρακικοί.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ	33
4.1. Γενικά Υλικά βάση χαρτών Ashby	33
4.1.1.Μέτρο Ελαστικότητας / Πυκνότητα.....	33
4.1.2. Αντοχή /Πυκνότητα.....	35
4.1.3.Κόπωση / Πυκνότητα	36
4.1.4. Διάβρωση λόγω καταπόνησης.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΓΥΑΛΙΩΝ ΟΡΑΣΕΩΝ	39
5.1.Εμβάθυνση στα υλικά σκελετών	39
5.2. Επιλογή υλικών και σύγκριση για σκελετό γυαλιών οράσεως.....	48

5.3. Διαδικασία σύγκρισης	51
5.4. Σύγκριση υλικών	55
5.5. Διάβρωση	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
6.1. Συμπεράσματα σύγκρισης υλικών	64
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66
Ελληνική	66
Ξενόγλωσση	66
Ιστότοποι	70

Πίνακας περιεχομένων εικόνων

Εικόνα 1.Κυρτός λίθος (Πηγή: Κάβο, Σ. & Μάγιογλου, Τ,2015).....	12
Εικόνα 2.Γυαλιά κατασκευασμένα από ξύλινο σκελετό	12
Εικόνα 3. Γυαλιά οράσεως με γέφυρα.....	13
Εικόνα 4: Σκελετοί γυαλιών κοντά.....	14
Εικόνα 5. Γυαλιά από κέλυφος χελώνας	14
Εικόνα 6. Γυαλιά μονόκλ.....	15
Εικόνα 7. Με κέλυφος χελώνας.....	15
Εικόνα 8. Φασαμέν	16
Εικόνα 9. Γυαλιά με σπαστό βραχίονα.....	16
Εικόνα 10. Γυαλιά αρχές 19 ^{ου} αιώνα.....	17
Εικόνα 11. Η εξέλιξη των γυαλιών οράσεως.....	18
Εικόνα 12. Διόρθωση μυωπικού οφθαλμού	19
Εικόνα 13. Μέρη γυαλιών οράσεως	22
Εικόνα 14. Σχήμα διατομής δύο τύπων οφθαλμικού σύρματος: (Α) τύπου πλήρους οφθαλμικού σύρματος και (Β) τύπου ημι-χωρίς στέλεχος.....	23
Εικόνα 15.Γέφυρα γυαλιών οράσεως	24
Εικόνα 16. Κροταφικό τμήμα.....	24
Εικόνα 17.Διάφορα μαξιλάρια.....	25
Εικόνα 18. Βραχίονες	25
Εικόνα 19. Καμπυλότητα φακών.....	26
Εικόνα 20. Γενικές κατηγορίες υλικών	27
Εικόνα 21. Μεταλλικά Υλικά	28
Εικόνα 22. Μη Μεταλλικά Υλικά	29
Εικόνα 23. Αριθμός Abbe σε σχηματική απεικόνιση.....	31
Εικόνα 24. Χάρτα ιδιοτήτων υλικών Ashby.....	33
Εικόνα 25. Χάρτης Ashby – Young’s modulus E/ Density.....	34
Εικόνα 26. Παράδειγμα διαστάσεων γυαλιών οράσεως.....	49
Εικόνα 27. Τα υλικά στις διάφορες κατηγορίες του κατά Ashby. (Πηγή: “Chart created using CES EduPack 2019, ANSYS Granta © 2020 Granta Design”)	51

Εικόνα 28. Σχήματα υλικών	51
Εικόνα 29. Δοκός σε άρθρωση υπόκειται δύναμη κάμψης	54
Εικόνα 30. Beta-Titanium(Πηγή: https://www.matweb.com/).....	55
Εικόνα 31. Ni-Ti(Πηγή: https://www.matweb.com/)	55
Εικόνα 32. Αλουμίνιο (Πηγή: https://www.matweb.com/)	56
Εικόνα 33. Ανοξειδωτος χάλυβας (Πηγή: https://www.matweb.com/)	57
Εικόνα 34. Μαγνήσιο (Πηγή: https://www.matweb.com/)	57
Εικόνα 35. Βηρύλλιο (Πηγή: https://www.matweb.com/)	57

Πίνακας περιεχόμενων πινάκων

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά μεγέθη των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στις μετρήσεις	58
Πίνακας 2. Υπολογισμοί Material Performance Index $M = \sigma_f \rho$	59
Πίνακας 3. Πίνακας υλικών $\log \rho$	59
Πίνακας 4. Υπολογισμοί Material Index $M = E/\rho$	61
Πίνακας 5. Υπολογισμοί Material Index $M = E^{1/2}/\rho$	61
Πίνακας 6. Συνολική σύγκριση υλικών	65

Πίνακας περιεχομένων διαγραμμάτων

Figure 1. Εύρος συντελεστή υλικών Ashby	35
Figure 2. Αντοχή σ_f σε διάγραμμα ως προς την πυκνότητα ρ	36
Figure 3. Χάρτης Ashby Level 2 No2 - Fatigue Strength / Density	37
Figure 4. Χάρτης Ashby Level 2 No2 - Fatigue Strength / Density w/ Limit.....	37
Figure 5. Χάρτης Fracture toughness K_{1c} – Young’s modulus E	38
Figure 6. Κατηγορίες υλικών σε φυσαλίδες,	50
Figure 7. Απόδοση τετραγωνικής δοκού έναντι ύψους ή πλάτους (Johnson, 2020).....	54
Figure 8. Διάγραμμα σ_f - ρ , επιλογή υλικών από το διάγραμμα Ashby.....	60
Figure 9. Διάγραμμα E - ρ	62
Figure 12. Γράφημα διάβρωσης	63
Figure 13 Διάγραμμα συνολικής σύγκρισης υλικών.	65

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην σημερινή εποχή της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας και της επιστήμης, η εμφάνιση νέων τρόπων κατασκευής προϊόντων οδήγησε τους μελετητές στην εύρεση νέων μεθόδων σχεδίασης και κατασκευής τους. Με το πέρασμα των ετών τα υλικά εξελίχθηκαν, δημιουργήθηκαν νέα κράματα και η επιλογή και σύγκρισή τους ήταν δύσκολη. Οι καταπονήσεις, η μάζα, οι μηχανικές τους ιδιότητες είχαν τεράστιες αποκλίσεις.

Αρχικά, γίνεται μια ιστορική αναδρομή, για να παρουσιαστεί η εξέλιξη των υλικών που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή των σκελετών. Στο κύριο μέρος της εργασίας, αναλύονται και αξιολογούνται οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών και συγκρίνονται μεταξύ τους ως προς την αντοχή τους σε κάμψη και ευκαμπτότητα. Τέλος, προκύπτουν τα συμπεράσματα και η μεταπτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με τον επίλογο.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αξιολογήσει και να συγκρίνει υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σκελετών οπτικών οράσεως. Επίσης, παρουσιάζεται μία νέα σχετικά μέθοδος σύγκρισης και επιλογής υλικών.

Λέξεις κλειδιά: γυαλιά οράσεως, σκελετοί, υλικά, *Beta-titanium*, *Ni-Ti*, *Monel*, *Αλουμίνιο*, *Ανοξείδωτος χάλυβας*, *Μαγνήσιο*, *Βηρύλλιο*, *μηχανικές ιδιότητες*, *πυκνότητα*, *μέτρο ελαστικότητας*, *τάση*, *εφελκυσμός*, *κάμψη*.

ABSTRACT

In today's era of rapid development of technology and science, the emergence of new ways of manufacturing products has led scholars to find new methods of designing and manufacturing them. Over the years the materials evolved, new states were created and their selection and comparison was difficult. Their stresses, mass, mechanics had huge discrepancies.

First, a historical review is made, to present the evolution of the materials used for the construction of the skeletons. In the main part of the work, the mechanical properties of the materials are analyzed and evaluated and compared with each other in terms of their bending strength and flexibility. Finally, conclusions are drawn and the master's thesis concludes with the epilogue.

The purpose of this paper is to evaluate and compare materials used in the manufacture of optical frames. Also, a relatively new method of comparison and selection of materials is presented.

Key words: spectacles, frames, materials, Beta-titanium, Ni-Ti, Monel, Aluminium, Stainless steel, Magnesium, Beryllium, mechanical properties, density, modulus of elasticity, stress, tensile, bending.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΓΥΑΛΙΩΝ ΟΡΑΣΕΩΝ

Ορισμός γυαλιών οράσεως

«Η ονομασία γυαλιά (πληθυντικός του γυαλί), η οποία προέρχεται από την αρχαιότητα, ορίζει το σύστημα που είτε βελτιώνει την όραση όταν υπάρχουν διαθλαστικές ανωμαλίες στα μάτια, είτε προστατεύει τους οφθαλμούς από έντονο φως ή από ξένα σώματα, όπως π.χ. σκόνη» .

Ουσιαστικά τα γυαλιά οράσεως αποτελούν ένα σύστημα από δύο κομμάτια γυαλί, ένα για κάθε μάτι, τα οποία συγκρατούνται από ένα πλαίσιο, που καταλήγει να στερεώνεται στα αυτιά. Καθένα από τα δύο αυτά κομμάτια κατασκευάζεται με τέτοια χαρακτηριστικά ώστε να διορθώνονται οι διαθλαστικές ανωμαλίες του κάθε ματιού και να βελτιώνεται η όραση του ανθρώπου (Κασιμάτη, 2015). Από αρχαιοτάτων χρόνων, ο άνθρωπος προσπαθεί να βελτιώσει τις διαθλαστικές ανωμαλίες του οπτικού συστήματος, εφευρίσκοντας νέους τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος.

1.2.Ιστορική ανασκόπηση

Ιστορικά, η εφεύρεση των γυαλιών οράσεως αποτελεί ανθρώπινη κατάκτηση, αφού η επίδραση που άσκησε σε ατομικό και κοινωνικό επίπεδο θα πρέπει να θεωρείται αδιαμφισβήτητη.

Ήδη από την αρχαιότητα, επιφανείς Αιγύπτιοι, Ρωμαίοι και Έλληνες επιστήμονες είχαν διατυπώσει τις θεωρίες τους σχετικά με την οπτική και, συνακόλουθα, σε σχέση με τα βοηθήματα της όρασης. Ο Σενέκας (1ος αι. μ.Χ.) παρατήρησε ότι ένα γυάλινο σκεύος πλήρες ύδατος είναι ικανό να βελτιώσει την καθαρότητα των αντικειμένων εφόσον αυτά τα κοιτά κανείς μέσα από αυτό, με συνέχεια τον Πτολεμαίο (2ος αι. μ.Χ.) να υπολογίζει το δείκτη διάθλασης του νερού και του γυαλιού, καθώς και τη γωνία διάθλασης των ακτινών του φωτός.

Το έργο «Θησαυρός της Οπτικής» (1250), έδωσε τη δυνατότητα σε Άγγλους και Γερμανούς μοναχούς, προχωρημένης ηλικίας να οδηγηθούν στη δημιουργία ενός κυρτού λίθου από ορυκτό κρύσταλλο, η οποία αξιοποιήθηκε για να τους διευκολύνει στην ανάγνωση. Η πέτρα, η οποία τοποθετούνταν πάνω από το προς ανάγνωση κείμενο, γνώρισε στο διάβα των επόμενων δεκαετιών πολλές μεταβολές και βελτιώσεις, με πιο ενδεικτική την επίπεδη εκδοχή της, τη δημιουργία δηλαδή ενός

φακού, ο οποίος ενσωματωνόταν σε ειδικό πλαίσιο με χερούλι, αντικείμενο που έφεραν κοντά στο μάτι για να διαβάσουν με μεγαλύτερη ευκολία (Εικόνα 1).



Εικόνα 1.Κυρτός λίθος (Πηγή: Κάβο, Σ. & Μάγιογλου, T,2015)

Κατά τη διάρκεια των επόμενων τεσσάρων σχεδόν αιώνων χαρακτηρίστηκε από μικρά βήματα προόδου, γεγονός το οποίο θα πρέπει να αποδοθεί στο υψηλότατο ποσοστό αναλφαβητισμού που παρατηρούνταν ανάμεσα στο γενικό πληθυσμό. Παρ' όλα αυτά, για την ιστορική αυτή περίοδο έχουμε αρκετά στοιχεία λόγω των ελαττωμάτων που εμφάνιζε ο σκελετός. Κατασκευασμένος από κέρατο ζώων ή ξύλο, διέθετε δύο μέρη καθένα από τα οποία είχε μια σχισμή για να υποδέχεται το φακό. Η ένωση των δύο σχισμών πραγματοποιούνταν με σύρμα ή σκοινί, ενώ τα δύο μέρη ενώνονταν μεταξύ τους με τη χρήση ενός γόμφου, γεγονός που παρότι αποτελούσε οπωσδήποτε μια εξέλιξη, δεν μπορούσε να εξασφαλίσει την σωστή εφαρμογή των γυαλιών στη μύτη των χρηστών (Εικόνα 2).



Εικόνα 2.Γυαλιά κατασκευασμένα από ξύλινο σκελετό

(Πηγή: Κάβο, Σ. & Μάγιογλου, T,2015)

Το 15ο αιώνα, αναδύθηκε το μοντέλο των γυαλιών με αψιδωτή γέφυρα, με σκελετό κατασκευασμένο από μια πληθώρα επιλογών, συμπεριλαμβανομένων του δέρματος, του ξύλου, του κέρατου, του κόκαλου, αλλά και μεταλλικών επιλογών όπως ο

μπρούτζος και το ασήμι. Σύντομα το δέρμα εγκαταλείφθηκε ως υλικό επιλογής, καθώς η εφαρμογή στη μύτη δεν ήταν όσο σφικτή όσο θα επιθυμούσαν οι χρήστες. Καθοριστικό σημείο στην εξέλιξη της κατασκευής γυαλιών οράσεως αποτέλεσε η ανακάλυψη της τυπογραφίας, καθώς πλέον η ανάγνωση δεν αποτελεί αποκλειστικό αντικείμενο των προνομιούχων, αλλά αρχίζει να αφορά και ένα περισσότερο ευρύ κοινό. Σε περιοχές, όπως η Νυρεμβέργη και η Βενετία, αλλά και σε χώρες που αποτελούσαν κατά την εποχή εκείνη σπουδαία εμπορικά κέντρα (Αγγλία, Γερμανία, Γαλλία) διαμορφώθηκαν συντεχνίες κατασκευαστών γυαλιών, ώστε να αποσαφηνιστεί το πλαίσιο λειτουργίας τους, ενώ πλέον στα παραγόμενα προϊόντα τους ενσωματώθηκε και η παραγωγή γυαλιών για τη βελτίωση της μακρινής όρασης.



Εικόνα 3. Γυαλιά οράσεως με γέφυρα

(Πηγή: Κάβο, Σ. & Μάγιογλου, Τ,2015)

Τον 17ο αιώνα, αναπτύχθηκαν σκελετοί γυαλιών στους οποίους ο κρότος εκτεινόταν από την πλευρά του φακού προς τα αυτιά. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, αυτό το προϊόν είναι κοντά στο σχέδιο των σημερινών πλαισίων γυαλιών. Χρησιμοποιούνταν κατά προτίμηση ακριβά και πολύτιμα υλικά όπως ελεφαντόδοντο, κέλυφος χελώνας, χρυσό και ασήμι. Το υλικό του σκελετού των γυαλιών ήταν διαμορφωμένο με λεπτό μοτίβο με την τεχνική της χαρακτηριστικής, που δεν ήταν εργαλείο της καθημερινότητας αλλά έργο τέχνης.



Εικόνα 4: Σκελετοί γυαλιών κοντά

σε σύγχρονα προϊόντα (Πηγή:Κασσιμάτη Σ., 2015)

Σταδιακά παρουσιάστηκαν νέες προτάσεις: τα γυαλιά στη γέφυρα των οποίων είχε προσαρμοστεί μια καμπυλωτή μπάρα και ένα ακόμη σχέδιο με δέσιμο πίσω από τα αυτιά των σκοινιών που ξεκινούσαν εκατέρωθεν από τις δυο άκρες του σκελετού, βρήκαν τη θέση τους ανάμεσα στους διοπτροφόρους κυρίως της Ισπανίας, αλλά και σε περιοχές που ήδη είχε διαδοθεί η χρήση της περούκας.

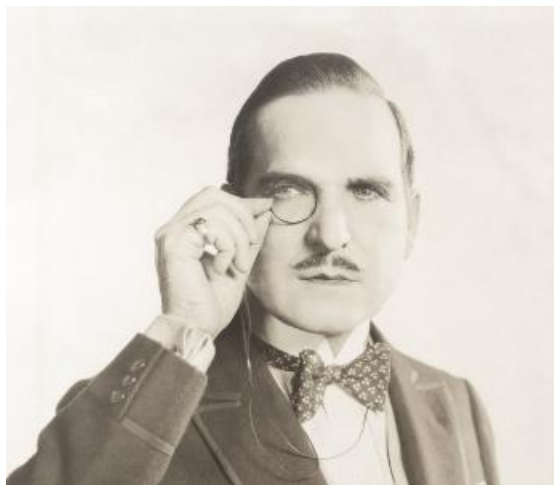


Εικόνα 5. Γυαλιά από κέλυφος χελώνας

(Πηγή: Κασσιμάτη Σ., 2015)

Το 1720 εμφανίστηκε μεγάλη ποικιλία στις φόρμες των οπτικών σκελετών. Έτσι, ο 18ος αιώνας αποδείχτηκε πολύ δημιουργικός, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα γυαλιά τα οποία χρησιμοποιούνταν 19 στην όπερα, και είχαν σχήμα ψαλιδιού (Εικόνα 6).

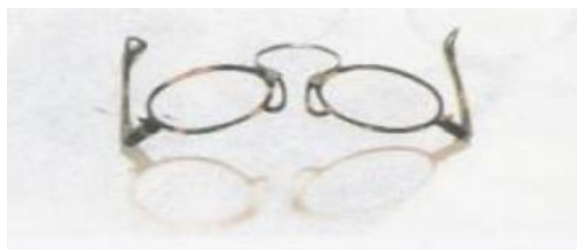
Ακόμα, εκείνη την περίοδο εμφανίζονται οι πρώτοι σκελετοί που αγκαλιάζουν τα αυτιά και προς το τέλος αυτού του αιώνα, κατασκευάζονται 18 μονόφθαλμοι σκελετοί (μονόκλ), οι οποίοι στην άκρη τους έχουν είτε κορδόνι είτε μεταλλική λαβή.



Εικόνα 6. Γυαλιά μονόκλ

(Πηγή: Κάβο Σ. & Μάγιογλου Τ., 2015)

Επιπρόσθετα, κατά τον 17ο-18ο αιώνα εμφανίζονται γυαλιά, όπου το πλήρες πλαίσιο αποτελείται από ενιαία λουρίδα μπαλένας και οι φακοί στερεώνονται με χάλκινο σύρμα. Η μπαλένα εξαιτίας της ελαστικότητας θεωρούνταν καλή επιλογή για την κατασκευή γυαλιών οράσεως με γέφυρα σχήματος ασπίδας. Τα συγκεκριμένα πλαίσια στερεώνονταν πάνω στη μύτη και δεν συμπιέζαν τη μύτη.



Εικόνα 7. Με κέλυφος χελώνας

(Πηγή: Κάβο Σ. & Μάγιογλου Τ., 2015)

Στη Γερμανία στο δεύτερο μισό του 18ου αιώνα, κατασκευάζονται γυαλιά με συγκεκριμένο σχέδιο. Δύο μακριές λαβές κατασκευασμένες από ξύλο, κόκαλο και περισσότερο πολυτελή υλικά όπως το ασήμι, ο χρυσός και το μαργαριτάρι, ενώνονταν

μεταξύ τους μέσω ενός γόμφου που προσομοιάζε σε ψαλίδι. Οι διόπτρες με λαβή που έμειναν γνωστές με την ονομασία *φασαμέν* (εκ του γαλλικού *face à main*) σχεδιάστηκαν από τον Adams κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών του 18ου αιώνα. Στο συγκεκριμένο σχέδιο επιχειρήθηκαν πολλές παραλλαγές, άλλοτε με έναν ή με δύο φακούς, διαθέτοντας μηχανισμό και λαβή ή χωρίς, σύντομα όμως απέκτησαν μάλλον χαρακτήρα κοσμήματος παρά χρηστική αξία.



Εικόνα 8. Φασαμέν

(Πηγή: Κάβο Σ. & Μάγιογλου Τ., 2015)

Ο κατεξοχήν πρόδρομος των σημερινών γυαλιών οράσεως μπορεί να εντοπιστεί στο έργο του Άγγλου, James Ayscough, ο οποίος το 1752 κατασκεύασε ένα μοντέλο εφοδιασμένο με βραχιόνες που είχαν τη δυνατότητα να σπάνε και να διπλώνουν στη μέση, ενώ μετέπειτα προχώρησε στη σχεδίαση ενός άλλου μοντέλου, το οποίο έδινε τη δυνατότητα, λόγω των λυγισμένων ακροβραχιονίων του να στηρίζεται πίσω από το αυτί του χρήστη.



Εικόνα 9. Γυαλιά με σπαστό βραχίονα

(Πηγή: Κάβο Σ. & Μάγιογλου Τ., 2015)

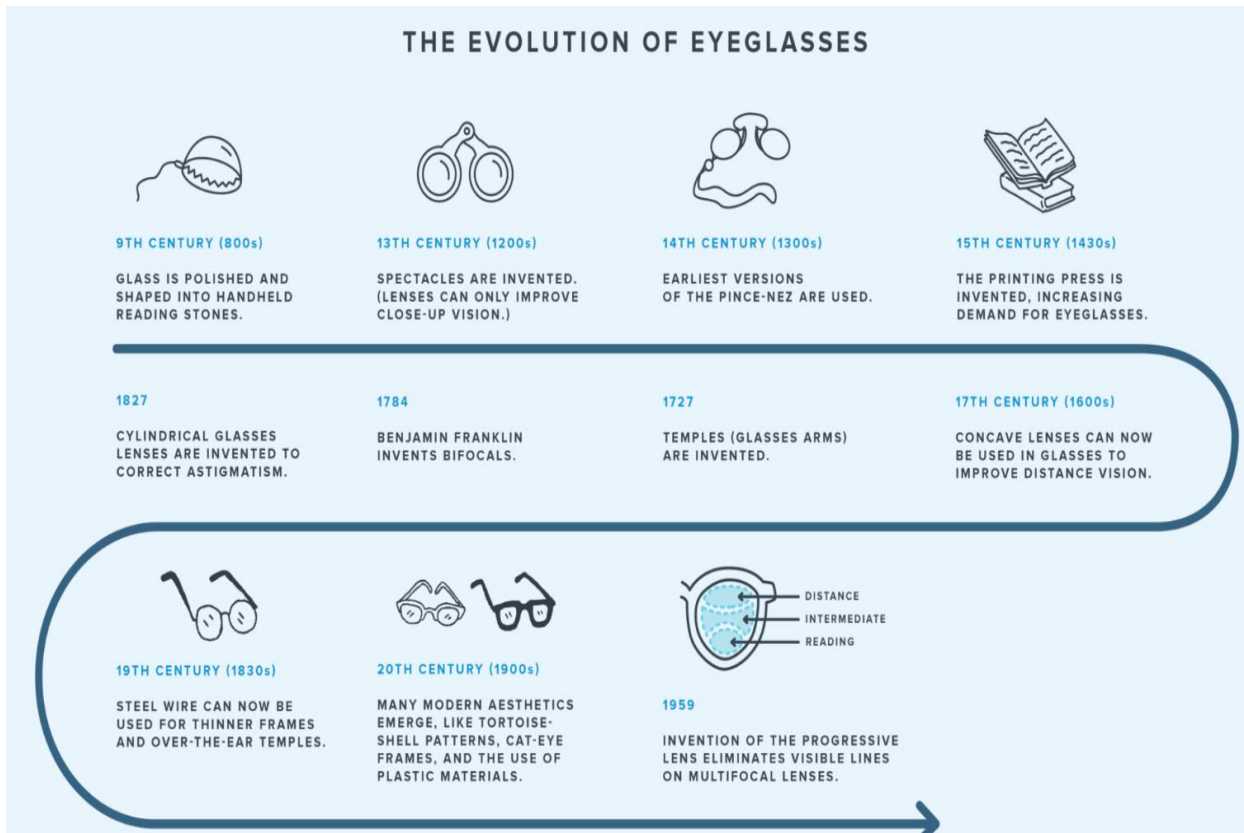
Στις αρχές του 19ου αιώνα εμφανίζονται τα πρώτα γυαλιά με βραχίονες. Οι πρώτοι βραχίονες δεν στερέωναν ουσιαστικά τα γυαλιά στα αυτιά και οι δυνάμεις δεν ασκούσαν ομοιόμορφα, εφόσον ήταν κοντοί με άκρες επίπεδες και στρογγυλές (Durant, 1969). Τον ίδιο αιώνα, οι σκελετοί γυαλιών εξελίσσονται και εμφανίζονται σχέδια τα οποία δεν απέχουν πολύ από τα σημερινά πλαίσια (οβάλ και στρογγυλά).



Εικόνα 10. Γυαλιά αρχές 19^{ου} αιώνα

(Πηγή: Κάβο Σ. & Μάγιολου Τ., 2015)

Τέλος, ο 20ος αιώνας χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό άνεσης και αισθητικής, με τους σκελετούς να έχουν διαφορετικά σχήματα. Οι σκελετοί γυαλιών είναι πλέον πιο ελαφρύς, πιο εύκαμπτοι, πιο ανθεκτικοί και η φόρμα τους στοχεύει στον τονισμό των φυσιογνωμικών χαρακτηριστικών του ατόμου κατέχοντας σημαντική θέση στην έκφραση του προσώπου. Τη δεκαετία του '40 και του '50 καθιερώνεται το πλαστικό στους σκελετούς γυαλιών (Νάκου, 2016). Την δεκαετία του '60 οι κατασκευαστές έδωσαν ιδιαίτερη σημασία στην αισθητική παρουσίαση και έτσι μεγάλοι οίκοι μόδας δημιούργησαν σκελετούς γυαλιών. Οι σκελετοί γίνονται πιο θεατρικοί, εκκεντρικοί και υπηρετώντας το ασυνήθιστο, αποκτούν κοροϊδευτική διάθεση. Κατά τη δεκαετία του '90 η μόδα αλλάζει πρόσωπο προτείνοντας καθαρές φόρμες και επαγγελματικό προφίλ. Έτσι, το προϊόν αρχίζει και παράγεται μαζικά. Σήμερα, καθιερωμένα υλικά θεωρούνται το μέταλλο και το πλαστικό ή ο συνδυασμός αυτών σε ομοιόμορφους χρωματισμούς (πχ: μαύρο, καφέ και διάφορες αποχρώσεις ταρταρούγας). (Χανδρινός, 2010).

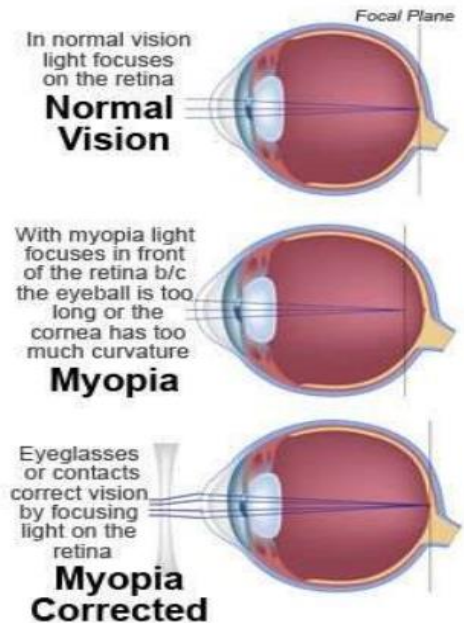


Εικόνα 11. Η εξέλιξη των γυαλιών οράσεως

(Πηγή: <https://www.warbyparker.com/learn/when-were-glasses-invented>)

1.3. Χαρακτηριστικά των γυαλιών οράσεως

Τα γυαλιά οράσεως βοηθούν στην καταπολέμηση διάφορων οφθαλμικών παθήσεων, αξιοποιώντας τους κατάλληλους διορθωτικούς φακούς. Οι διορθωτικοί φακοί χρησιμοποιούνται για να διορθώσουν το σφάλμα διάθλασης του ματιού τροποποιώντας το μήκος εστίασης του φακού έτσι ώστε να αμβλύνουν τα αποτελέσματα διαφόρων παθήσεων, όπως είναι η μυωπία, η υπερμετρωπία και ο αστιγματισμός (Εικόνα 12).



Εικόνα 12. Διόρθωση μυωπικού οφθαλμού

(Πηγή: <https://www.howtorelief.com/myopia-nearsightedness-symptoms-causes->)

Μια άλλη συχνή πάθηση των ματιών σε μεγαλύτερη όμως ηλικία είναι η πρεσβυωπία, η οποία δημιουργείται διότι οι φακοί του ματιού χάνουν την ελαστικότητα τους και προοδευτικά μειώνουν την ικανότητα του φακού να εστιάσει σε αντικείμενα που βρίσκονται κοντά στο μάτι (Κασιμάτη, 2020). Τα γυαλιά οράσεως αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τρόπο αντιμετώπισης για το σύνολο των αμετρωπιών (Κατσούλος & Ασημέλλης, 2008).

Τα γυαλιά οράσεως ποικίλουν σύμφωνα με την χρήση τους, διότι αυτά που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της μυωπίας έχουν αρνητικό βαθμό δίοπτρας¹, ενώ τα γυαλιά οράσεως που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας έχουν θετικό βαθμό δίοπτρας. Τα γυαλιά που χρησιμοποιούνται για την διόρθωση του αστιγματισμού απαιτούν δύο διαφορετικής δύναμης δίοπτρες τοποθετημένες σε κατάλληλες γωνίες στον ίδιο φακό (Κασιμάτη, 2020).

Η επιλογή των γυαλιών οράσεως βασίζεται σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αφορούν τους φακούς αλλά και τον σκελετό των γυαλιών, και σχετίζονται με την προστατευτική λειτουργία των γυαλιών, τη χρήση τους και την αισθητική τους (Κασιμάτη, 2020). Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

¹ Δίοπτρα: μονάδα μέτρησης δύναμης του φακού γυαλιών.

- **Το υλικό κατασκευής**

Το υλικό χαρακτηρίζει την ποιότητα γυαλιών στο σύνολό της. Όσο αφορά τους φακούς οι περισσότεροι είναι κρυστάλλινοι και πολυανθρακικοί, ενώ υπάρχουν και πλαστικοί φακοί. Οι φακοί από κρύσταλλο φθείρονται ελάχιστα επιφανειακά, ενώ οι πολυανθρακικοί φακοί είναι άθραυστοι. Οι πλαστικοί φακοί είναι φτιαγμένοι από ελαφρύ άθραυστο nylon, οπότε χρησιμοποιούνται κυρίως στα παιδικά γυαλιά. Οι σκελετοί στα γυναικεία γυαλιά ηλίου είναι συνήθως μεταλλικοί ή κοκάλινοι. Οι κοκάλινοι είναι πιο βαριοί και δεν προσαρμόζονται πολύ εύκολα στο επιρρίνιο, όμως από την άλλη είναι πολύ ανθεκτικοί. Οι μεταλλικοί σκελετοί είναι πολύ πιο ελαφριοί και αυξομειώνονται σε μέγεθος, όμως δεν είναι κατάλληλοι για αθλήματα, επειδή μπορεί να σπάσουν και να τραυματίσουν τον χρήστη. Στα ανδρικά γυαλιά ηλίου υπάρχει η τάση τα τελευταία χρόνια για χρήση ξύλου σκελετοί που θεωρούνται απόλυτα της μόδας. Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται η αγορά απομιμήσεων γυαλιών ηλίου με αμφισβητούμενη ποιότητα υλικών και κατασκευής, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον χρήστη, από την εφαρμογή και την αξιοπιστία τους, μέχρι και αλλεργική δερματίτιδα λόγω αντίδρασης στο υλικό (Κασιμάτη, 2020).

- **Προστασία από την Ακτινοβολία UVA / UVB**

Η προστατευτική λειτουργία των γυαλιών ηλίου τα καθιστά ένα απαραίτητο αξεσουάρ στην καθημερινότητα των ανθρώπων όλων των ηλικιών. Όλα τα γυαλιά ηλίου πρέπει να διαθέτουν προστασία τουλάχιστον 95% από την υπεριώδη ακτινοβολία UVA και UVB, διαφορετικά όχι μόνο δεν συμβάλλουν στην προστασία των ματιών, αλλά τους κάνουν και κακό. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να δίνεται προσοχή στην αναγραφή πάνω στα γυαλιά ηλίου για το ποσοστό προστασίας από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Συνοπτικά, πάντως, οι πολωτικοί φακοί παρέχουν πολύ υψηλή προστασία από τις ακτίνες του ήλιου, ενώ οι blue-blockers εκτός από την υπεριώδη ακτινοβολία αντανακλούν και το μπλε-ιώδες φως (κυρίως εκπέμπεται από οθόνες υπολογιστών) που “κουράζει” το μάτι.

- **Διαπερατότητα**

Ένα ακόμα βασικό χαρακτηριστικό των γυαλιών ηλίου είναι η διαπερατότητα τους, η οποία έχει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα τη χώρα, στην οποία πωλούνται τα γυαλιά.

Άλλα γυαλιά χρειάζονται σε μια συννεφιασμένη χώρα της βόρειας Ευρώπης, στην οποία εκτός της σπάνιας ηλιοφάνειας είναι και οι ακτίνες του ήλιου λιγότερο κάθετες, και άλλα σε μια ηλιόλουστη χώρα, όπως η Ελλάδα, στην οποία ο βαθμός διαπερατότητας πρέπει να είναι πολύ υψηλός, δηλαδή να αντανακλά στον ύψιστο βαθμό την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε αυτή να μην απορροφάται από το μάτι. Ο βαθμός διαπερατότητας αναγράφεται πάνω στα γυαλιά και στην Ελλάδα πωλούνται συνήθως γυαλιά είτε για υψηλά υψόμετρα είτε για τη μέγιστη ηλιοφάνεια. Υπάρχουν, βέβαια, και φωτοχρωμικοί φακοί που αυξομειώνουν το βαθμό σκουρότητας, και συνεπώς διαπερατότητας, ανάλογα με την ποσότητα ακτινοβολίας που δέχονται.

▪ Χρώμα Φακού

Το χρώμα του φακού είναι αυτό που επηρεάζει καθοριστικά τη χρήση που μπορεί να γίνει στα γυαλιά ηλίου, οπότε η επιλογή αυτή δεν εξαρτάται από την αισθητική αντιμετώπισή τους, αλλά από λειτουργικά κριτήρια. Οι γκρι φακοί είναι ιδανικοί για την οδήγηση ακόμα και το βράδυ, όπως και οι κίτρινοι φακοί, γιατί μειώνουν την ένταση του φωτός και αμβλύνουν τις αντανακλάσεις. Οι καφέ φακοί ενισχύουν τις αντιθέσεις, οπότε είναι κατάλληλοι για χειμερινά σπορ, ώστε ο αθλητής να μπορεί να διακρίνει διαφορές στο χιόνι. Για τον ίδιο λόγο χρησιμοποιούνται και οι κόκκινοι ή οι πορτοκαλί φακοί. Το γκρι, θεωρείται ότι αλλοιώνει στο λιγότερο δυνατό βαθμό τα χρώματα του περιβάλλοντος.

▪ Βαθμός στα Γυαλιά Οράσεως

Ο βαθμός που πρέπει να έχουν οι οφθαλμικοί φακοί στα γυαλιά οράσεως πρέπει να καθορίζεται από τον οφθαλμίατρο, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη και οι ελάχιστες παρεκκλίσεις και ανάγκες κάθε ματιού ανάλογα με το συγκεκριμένο πρόβλημα όρασης.

▪ Αντι-Ανακλαστική Επίστρωση

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των γυαλιών οράσεως είναι η αντανακλαστική επίστρωση που ορισμένα διαθέτουν. Τόσο στα γυναικεία όσο και στα ανδρικά γυαλιά οράσεως, υπάρχει ο κίνδυνος, μετά από παρατεταμένη χρήση τους, ειδικά όταν η επιφάνεια του φακού είναι πολύ λεπτή, να δημιουργούνται έντονες αντανακλάσεις που “κουράζουν” το μάτι. Έτσι, η επίστρωση με συγκεκριμένα οξειδία μετάλλων που

μειώνουν τις αντανακλάσεις είναι απαραίτητη για μέτριες και μεγάλες διορθώσεις αλλά και στον υψηλό δείκτη διάθλασης.

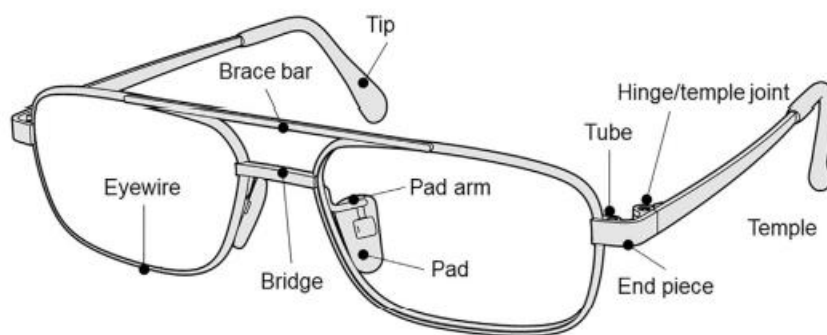
▪ Προστασία από το Μπλε Φως των Συσκευών

Τέλος, ένα ακόμα χαρακτηριστικό που μπορεί να έχουν τα γυαλιά οράσεως είναι η προστασία από το μπλε φως υψηλής ενέργειας που εκπέμπεται από διάφορες οθόνες ψηφιακών συσκευών, όπως η τηλεόραση και ο υπολογιστής. Αυτή η εκπομπή μπορεί να βλάψει το μάτι, εκτός αν τα γυαλιά διαθέτουν φίλτρο που παρέχει προστασία από 95% και πάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΓΥΑΛΙΩΝ ΟΡΑΣΕΩΣ

2.1. Εισαγωγή

Ήδη από την ιστορική αναδρομή έχουν αναφερθεί κάποια από τα μέρη και τα εξαρτήματα που αφορούν τα γυαλιά οράσεως. Παρακάτω θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα μέρη και τα εξαρτήματά τους (Εικόνα 13). ώστε να γίνουν κατανοητά τα τμήματα.



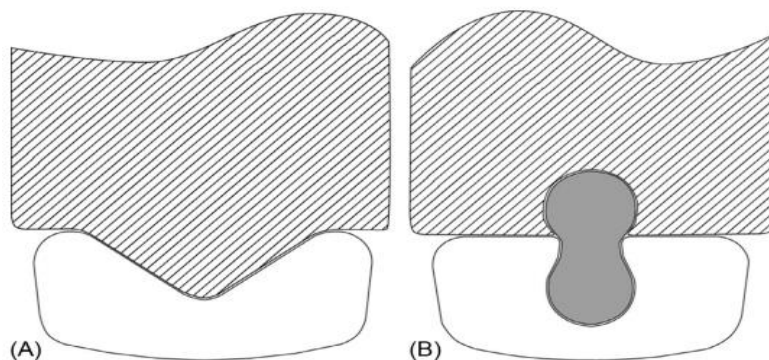
Εικόνα 13. Μέρη γυαλιών οράσεως

2.2. Μέρη και εξαρτήματα σκελετών γυαλιών οράσεως

2.2.1. Οφθαλμικό Σύρμα

Τα μέρη που καλύπτουν τον φακό - που ονομάζονται eyewire - έχουν χρησιμοποιηθεί για αιώνες στην ιστορία των σκελετών γυαλιών. Για να τοποθετηθούν οι σκελετοί των γυαλιών σταθερά στο κέντρο του προσώπου, το σύρμα ματιών θα πρέπει να ακολουθεί τον φακό όσο το δυνατόν περισσότερο (Corson, 1967). Η Εικόνα 3 δείχνει τα σχήματα

διατομής του ματιού. Το οφθαλμικό σύρμα που χρησιμοποιείται συνήθως φαίνεται στην Εικόνα 3Α, ενώ το συρμάτινο σύρμα για ένα σκελετό γυαλιών σε στυλ ημιστεφάνης φαίνεται στην Εικόνα 3Β.



Εικόνα 14. Σχήμα διατομής δύο τύπων οφθαλμικού σύρματος: (Α) τύπου πλήρους οφθαλμικού σύρματος και (Β) τύπου ημι-χωρίς στέλεχος.

Περιβάλλει τη μισή περιφέρεια του φακού, ενώ οι φακοί συγκρατούνται με άλλο σύρμα. Στον σκελετό γυαλιών σε στυλ ημι-πλαισίου, ένα χαντάκι ξύνεται στους φακούς για να στερεωθεί ο φακός μέσω ενός σύρματος που έχει σχήμα διατομής, όπως ένας συνδυασμός δύο κύκλων. Το μοναδικό σχήμα διατομής του τμήματος του σύρματος κατασκευάζεται από τετράγωνη ράβδο, βοηθώντας τον φακό να μην πέφτει από το σκελετό των γυαλιών.

2.2.2.Γέφυρα και Τελικό Προϊόν

Η γέφυρα (Εικόνα 15) είναι υπεύθυνη για τη σύνδεση των δύο φακών. Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο να συγκρατεί τους φακούς σε κατάλληλη θέση για τον χρήστη, διατηρώντας σταθερή την απόσταση μεταξύ των φακών. Το ακραίο κομμάτι συνδέει το οφθαλμικό σύρμα στην απέναντι πλευρά της γέφυρας με τον κρόταφο και είναι αποτελεσματικό για τη διατήρηση της σωστής σχέσης θέσης μεταξύ του φακού και των ματιών. Αυτά τα μέρη συνήθως σχηματίζονται από κουλουριασμένο ή ραβδοειδές υλικό.

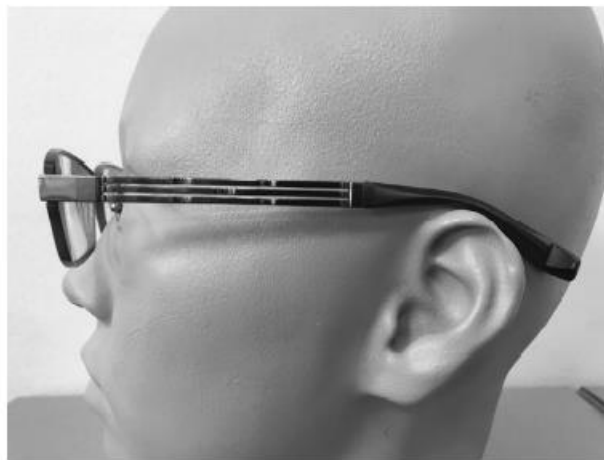


Εικόνα 15.Γέφυρα γυαλιών οράσεως

(Πηγή: Κάβο Σ. & Μάγιογλου Τ., 2015)

2.2.3.Κροταφικό Τμήμα

Ένα ασταθές οπτικό πεδίο που προκύπτει από το σκελετό των γυαλιών και την κακή ευθυγράμμιση του προσώπου αυξάνει την καταπόνηση των ματιών. Για να διατηρηθεί μια καλή θέα όρασης, είναι επιθυμητό οι θέσεις του φακού και του βολβού του ματιού να διατηρούνται πάντα σταθερές. Το τμήμα κροτάφου απαιτείται για αυτή τη λειτουργία. Αυτό στερεώνεται πάνω από το αυτί του χρήστη τοποθετώντας τον φακό μπροστά από το πρόσωπο μέσω της κροταφικής περιοχής (Εικόνα 16).



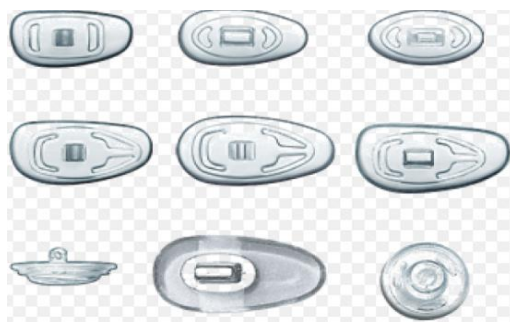
Εικόνα 16. Κροταφικό τμήμα

2.2.4.Λοιπά Μέρη Σκελετού

Εάν ο φακός τοποθετηθεί απευθείας στη μύτη, ο βολβός του ματιού και ο φακός είναι πολύ κοντά ο ένας στον άλλο και οι βλεφαρίδες έρχονται σε επαφή με τον φακό. Αυτό δεν είναι μόνο δυσάρεστο, αλλά και δυσκολεύει τη διατήρηση του φακού στη σωστή θέση. Η σχέση θέσης μεταξύ των ματιών και της μύτης ή το σχήμα της μύτης είναι

διαφορετική για κάθε άτομο και οι σκελετοί των γυαλιών απαιτείται να έχουν λειτουργίες που αντιστοιχούν σε αυτές τις παραλλαγές.

Τα μέρη που ονομάζονται μαξιλαράκια και βραχίονες αναπτύχθηκαν για να κάνουν τους σκελετούς των γυαλιών να έχουν λειτουργία προσαρμογής, δηλαδή να είναι δυνατός ο έλεγχος της απόστασης μεταξύ του βολβού του ματιού και του φακού και της κατακόρυφης θέσης παραμορφώνοντας τον βραχίονα του μαξιλαριού (Εικόνα 17).



Εικόνα 17. Διάφορα μαξιλάκια

(<https://www.allforoptical.gr/el/alla/antallaktika.html>)

Αυτό το εξάρτημα καθιστά δυνατή την εφαρμογή σκελετών γυαλιών σε πολλούς ανθρώπους. Τα επιθέματα έρχονται σε επαφή απευθείας με το δέρμα και μεταφέρουν πάντα το φορτίο του φακού στο πρόσωπο, επομένως απαιτείται η λειτουργία διασποράς του φορτίου και μείωσης του πόνου. Εν τω μεταξύ, απαιτείται για έναν βραχίονα (Εικόνα 18) να προστατεύει το πρόσωπο από ζημιά ακόμα και αν υπάρχει πρόσκρουση λόγω ατυχήματος. Το τμήμα που καλύπτει το άκρο του κροτάφου ονομάζεται άκρο, το οποίο μειώνει τον πόνο που προκαλείται από τη χρήση σκελετών γυαλιών για μεγάλο χρονικό διάστημα.



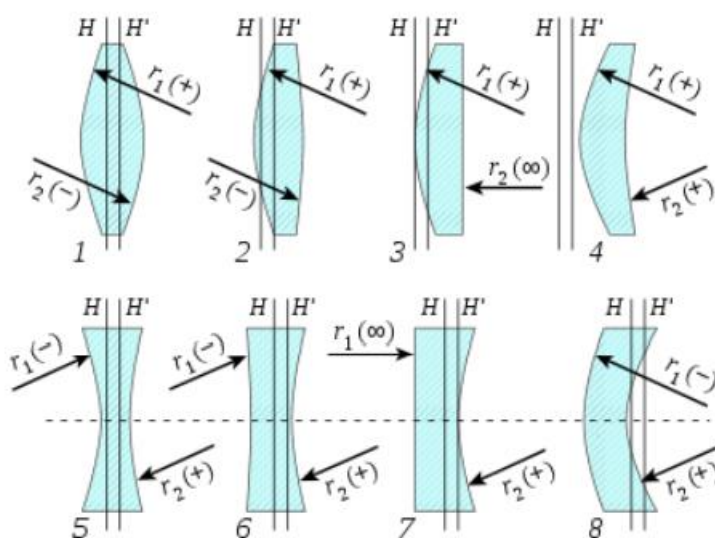
Εικόνα 18. Βραχίονες

(Πηγή: <https://www.allforoptical.gr/el/alla/antallaktika.html>)

2.2.Φακοί, κάτοπτρα Κοίλων & Κυρτών Επιφανειών

Ο φακός είναι ένα διαφανές σώμα που περιορίζεται από τουλάχιστον δύο διαθλαστικές επιφάνειες (δίοπτρα), με συνέπεια να αποτελεί οπτικό σύστημα που βασίζεται στο φυσικό φαινόμενο της διάθλασης. Η χρονολογία που επινοήθηκαν οι φακοί δεν είναι γνωστή, ωστόσο ήταν γνωστοί στους αρχαίους Έλληνες που τους χρησιμοποιούσαν για το άναμμα της φωτιάς με συγκέντρωση των ηλιακών ακτινών, όπως συνάγεται καταφανώς από τους στίχους του Αριστοφάνη στις Νεφέλες: «...την λίθον την καλήν, την διαφανή, αφής το πυρ άπτουσιν» κ.λ.π.(Κασιμάτη,2020).

Οι φακοί είναι στερεά σώματα από γυαλί, πλαστικό ή άλλο υλικό διαφανές, τα οποία αποτελούνται από δυο αντικριστές διαθλαστικές επιφάνειες (δίοπτρα), κοίλου, κυρτού ή επίπεδου σχήματος. Η συνδυαστική διαθλαστική ισχύς των δύο αυτών επιφανειών δημιουργεί ένα φακό.



Εικόνα 19. Καμπυλότητα φακών

(Πηγή: Κασιμάτη, 2020)

Οι δυνατοί συνδυασμοί δύο τέτοιων επιφανειών μπορούν να δημιουργήσουν τους τελικούς φακούς των γυαλιών οράσεως (Εικόνα 19) και διακρίνονται σε έξι κατά σχήμα βασικά είδη:

- Αμφίκυρτοι

- Επιπεδόκυρτοι
- Κοιλόκυρτοι ή συγκλίνοντες μηνίσκοι (παχείς στο μέσον)
- Αμφίκουλοι
- Επιπεδόκοιλοι και
- Κοιλόκυρτοι ή αποκλίνοντες μηνίσκοι (λεπτοί στο μέσον)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΓΥΑΛΙΩΝ ΟΡΑΣΕΩΣ

Εισαγωγή

Στο παρόν Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γυαλιών οράσεως. Αρχικά, θα γίνει μία αναφορά στα υλικά και έπειτα θα χωριστούν σε δύο κατηγορίες, όπου η μία θα αφορά τα υλικά των σκελετών και η άλλη των φακών.

3.1. Γενικά για τα Υλικά

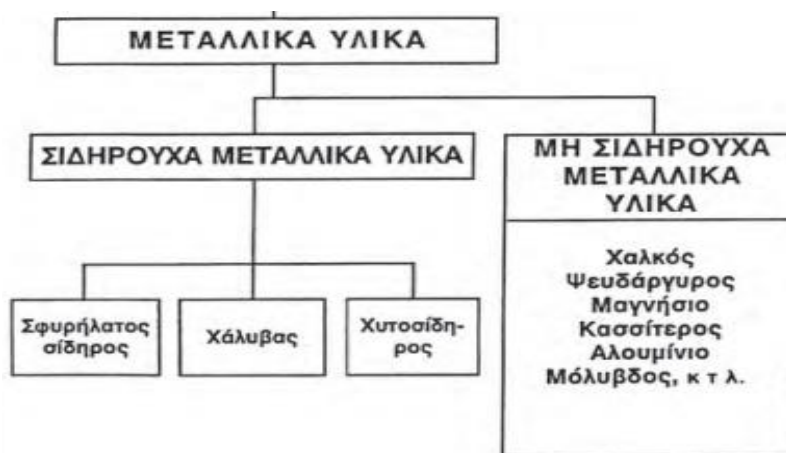
Γενικά, τα υλικά χωρίζονται σε μέταλλα, κεραμικά, πολυμερή, σύνθετα υλικά και ημιαγωγούς.



Εικόνα 20. Γενικές κατηγορίες υλικών

(Πηγή: Χανδρινός Αρ., *Οπτικά Υλικά*)

Αυτά προκύπτουν από ορυκτά, πετρώματα και ορυκτά καύσιμα. Τα ορυκτά είναι υλικά που βγαίνουν από την γη με εξόρυξη ή σκάψιμο ή γεώτρηση. Είναι ανόργανα υλικά, κρυσταλλικά και καθορισμένης σύστασης. Τα πετρώματα αποτελούν την μάζα στον φλοιό της γης. Είναι μίγματα δύο ή και περισσότερων ορυκτών και δεν είναι απαραίτητα κρυσταλλικά ή καθορισμένης χημικής σύστασης. Τα ορυκτά καύσιμα είναι οι άνθρακες, το πετρέλαιο, ή φυσικό αέριο που προέρχονται από την αποσύνθεση οργανικής ύλης. Από αυτά προκύπτουν οι δύο μεγάλες κατηγορίες υλικών, τα μεταλλικά και μη μεταλλικά υλικά.



Εικόνα 21. Μεταλλικά Υλικά

Τα μεταλλικά υλικά (Εικόνα 21) αποτελούνται από σιδηρούχα μεταλλικά υλικά (σφυρήλατος σίδηρος, χάλυβας και χυτοσίδηρος) και στα μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά (χαλκός, ψευδάργυρος, μαγνήσιο, αλουμίνιο, νικέλιο, κ.ά. Στα μη μεταλλικά υλικά(Εικόνα 22) ανήκουν τα συνθετικά υλικά (θερμοσκληρυνόμενα και θερμοπλαστικά) και τα φυσικά υλικά (ξύλο, γυαλί, δέρμα, καουτσούκ, κεραμικά κ.τ.λ.)



Εικόνα 22. Μη Μεταλλικά Υλικά

3.1. Υλικά κατασκευής σκελετού

Η ιστορική εξέλιξη των γυαλιών οράσεως, δείχνει ότι ανά αιώνες έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά υλικά, τα οποία αντικαθιστώνται με σύγχρονα. Στην σημερινή εποχή τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τους σκελετούς είναι τα παρακάτω.

Μέταλλα

Οι περισσότερες εταιρείες κατασκευής σκελετών επιλέγουν μέταλλα υψηλής ποιότητας για σκελετούς που αντέχουν στον χρόνο, και ταυτόχρονα μπορούν να επεξεργαστούν εύκολα και να χρωματιστούν σε matte ή gloss φινιρίσματα, ανάλογα με την μόδα. Όσον αφορά την εφαρμογή των μεταλλικών σκελετών στο πρόσωπο, η άμεση επαφή με το δέρμα ενδέχεται να προκαλέσει δερματικούς ερεθισμούς², συνήθως αν το κράμα περιέχει νικέλιο, ενώ παράλληλα αυξάνεται και η πιθανότητα οξείδωσης του μετάλλου. Για αυτό, όλοι οι μεταλλικοί σκελετοί διαθέτουν επιρρίνια για την επαφή με την μύτη και περιβραχιόνια για τους κροτάφους και τα αυτιά, συνήθως από γόμες σιλικόνης.

Τα πιο χαρακτηριστικά μέταλλα που χρησιμοποιούνται για τους σκελετούς είναι το τιτάνιο και το αλουμίνιο, αφού συνδυάζουν υψηλή αντοχή και χαμηλό βάρος και χρησιμοποιούνται συνήθως σε πολύ λεπτούς σκελετούς και σε ιδιαίτερες κατασκευές τύπου griff ή nylon.

Πάστες / Κόκαλο

Το κοκάλο (Tusq) κυριαρχεί στην κατασκευή σκελετών, αφού προσφέρει ικανοποιητική αντοχή, ευκαμψία και επιτρέπει την δημιουργία διαφόρων σχημάτων ανάλογα με τις τάσεις της μόδας. Οι σκελετοί από κόκαλο / πάστες περιορίζουν ως έναν βαθμό το ενδεχόμενο αλλεργικής αντίδρασης στο δέρμα, ενώ ταυτόχρονα διατίθενται σε μεγαλύτερη ποικιλία χρωμάτων και σχημάτων. Ορισμένοι μάλιστα έχουν υψηλή αντοχή στα χτυπήματα κατά την άθληση. Ωστόσο, δεν είναι ρυθμιζόμενοι και δεν προσαρμόζονται στο σχήμα του πρόσωπο, παρά μόνο στην περίπτωση που διαθέτουν στο εσωτερικό τους ειδικό σύρμα. Σε κάθε περίπτωση πάντως ο σκελετός που θα επιλεγεί- ιδιαίτερα αν είναι μεταλλικός- θα πρέπει να διαθέτει μαλακά «μαξιλαράκια» (pads) στο σημείο όπου ο σκελετός εφάπτεται με τη μύτη, ώστε να μην ενοχλεί, όπως επίσης και να μην κολλάει πάνω στο δέρμα.

Σύμμικτος σκελετός

Ο συνδυαστικός τύπος σκελετών που κατασκευάζονται από πάστα και μέταλλο, ή μέταλλο και ξύλο, ή και νέα υλικά που επιλέγονται και ως προς την ανθεκτικότητά τους αλλά και ως προς τις επιταγές της μόδας (πχ plexiglass, βελούδο κτλ).

Ξύλινος σκελετός

Αν και το ξύλο είναι άκαμπτο μπορεί να είναι κατάλληλο για γυαλιά ηλίου. Το μυστικό βρίσκεται στην επεξεργασία του. Η κατασκευή των γυαλιών έχει 15-16 στάδια και διαρκεί 4 ημέρες. Το αποτέλεσμα είναι γυαλιά πανάλαφρα με απίστευτη καμπυλότητα και απόλυτα φιλικά στο πρόσωπο. Κατά βάση χρησιμοποιούνται Έβενος, Ινδικός και Βραζιλιάνικος Παλίσανδρος³, αλλά και Κρητική Ελιά. Μάλιστα κάποια χειροποίητα ξύλινα γυαλιά είναι εξαιρετικά ανθεκτικά γιατί κατά την επεξεργασία τους δεν αλλάζουν την φυσική κατάσταση του ξύλου, δεν χρησιμοποιούν layers ξύλου, αλλά μασίφ ξύλο, το οποίο σκαλίζεται μέχρι να πάρει την μορφή που

³ Παλίσανδρος: Είδος ξύλου.

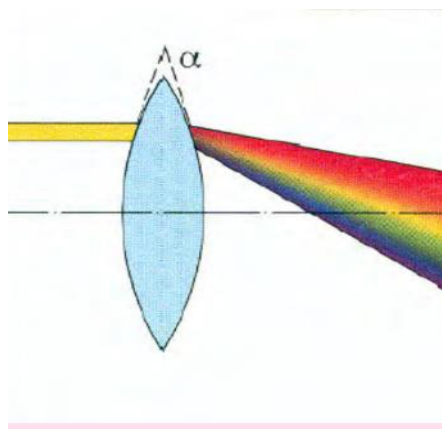
έχουν επιλέξει. Η καμπυλότητα επιτυγχάνεται με την γλυπτική του ξύλου και όχι με τη χρήση καλουπιών.

Συμπέρασμα υλικών

Τα πλέον διαδεδομένα υλικά κατασκευής των σκελετών, τα οποία του προσδίδουν κατά κύριο λόγο τα ιδιαίτερα τελικά χαρακτηριστικά του είναι τα μέταλλα, το αλουμίνιο και τα κράματά του, ο υποαλλεργικός ανοξείδωτος χάλυβας, και το τιτάνιο, συμπεριλαμβανομένου του Β-τιτανίου.

3.2.Υλικά κατασκευής φακών

Χαρακτηριστικό των οφθαλμικών φακών είναι ο δείκτης διάθλασης⁴, το ειδικό βάρος⁵ και ο αριθμός Abbe (Εικόνα 23). Ένας καλός φακός θα πρέπει να έχει μεγάλο αριθμό Abbe. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των γυαλιών είναι τα παρακάτω.



Εικόνα 23. Αριθμός Abbe σε σχηματική απεικόνιση

(Πηγή: Χανδρινός Αρ., Οπτικά Υλικά)

3.2.1.Κρύσταλλο

Είναι το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των φακών στα γυαλιά. Χαρίζουν ποιότητα όρασης, δεν χαράζονται εύκολα και μπορούν να φτάσουν

⁴ **Δείκτης διάθλασης:** Συμβολίζει τη ταχύτητα του φωτός στο κενό προς την ταχύτητα του φωτός μέσα στο υλικό. Όσο πιο υψηλός είναι ο δείκτης διάθλασης τόσο πιο λεπτός είναι ο φακός.

⁵ **Ειδικό βάρος:** Μικρότερο ειδικό βάρος σημαίνει ελαφρύτερος φακός. Παίζει ρόλο στις χρωματικές εκτροπές που δημιουργούνται από τους φακούς.

σε υψηλότερους δείκτες διάθλασης, ενώ είναι πιο φθηνοί σε σχέση με άλλους. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι σπάνε εύκολα και έχουν μεγαλύτερο βάρος από τα άλλα υλικά. Σήμερα, έχουν εξαλειφθεί.

3.2.2.Οργανικό- Πλαστικό

Οι οργανικοί φακοί δεν σπάνε εύκολα, είναι πιο ανθεκτικοί και πιο ελαφρύς από τους κρυστάλλινους. Δεν θαμπώνουν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ειδικές κατασκευές, προστατεύουν από τις υπεριώδης ακτινοβολίες και μειώνουν την μεγέθυνση του ματιού που δημιουργείται από τους φακούς. Μειονέκτημα είναι ότι χαράσσονται εύκολα. Οι απλούστεροι οργανικοί φακοί είναι κατασκευασμένοι σκληρή ρητίνη. Το ειδικό βάρος είναι μικρό και ο αριθμός Abbe είναι σταθερός.

3.2.3.Γυαλί

Υπάρχουν διαφόρων ειδών γυαλιά σύμφωνα με τον δείκτη διάθλασης, που πρέπει να τοποθετηθεί για την αποκατάσταση της όρασης, αλλά και σύμφωνα με την ποιότητα που παρουσιάζουν. Αυτά είναι:

Στεφανύαλος: Το πιο συνηθισμένο υλικό κατασκευής των φακών οράσεως. Έχει μικρό δείκτη διάθλασης και σε υψηλές αμετρωπίες έχουν περισσότερο βάρος και πάχος.

Με υψηλό δείκτη διάθλασης: Έλυσαν το πρόβλημα των χοντρών φακών. Είναι λεπτοί αλλά έχουν υψηλό βάρος. Είναι κατασκευασμένοι από οξείδιο του τιτανίου και δεν διαθέτουν μεγάλο Abbe. Εφαρμόζουν καλύτερα σε στρογγυλό σκελετό.

Flint: Έχει μεγάλο δείκτη διάθλασης και περιέχει οξείδια από μόλυβδο. Δεν παρουσιάζει ανεκτικότητα κατά το σπάσιμο και πλέον χρησιμοποιούνται σε γυαλιά προστασίας από τη ακτινοβολία X. (Διαμανάκης, 2011)

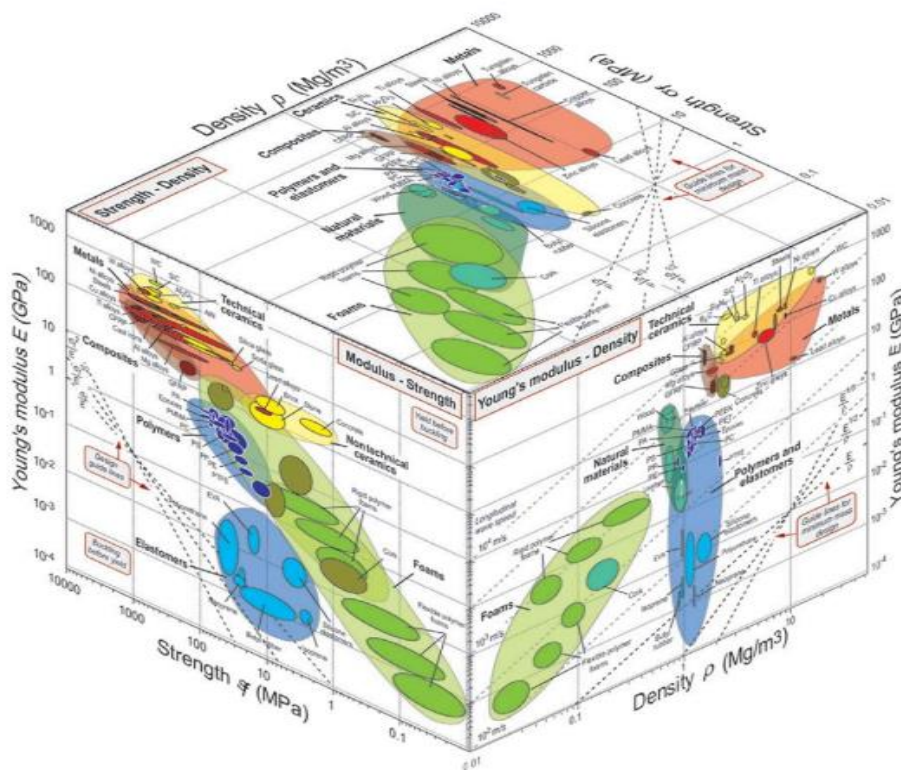
3.2.4.Πολυανθρακικοί

Είναι οι λεγόμενοι άνθραστοι φακοί, αφού παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στο σπάσιμο και στην κρούση. Είναι πιο ελαφρύς και πιο λεπτοί, χαρίζουν άνεση και προστατεύουν από την υπεριώδη ακτινοβολία. Μειονέκτημα είναι ότι δεν παρουσιάζουν καλή οπτική ποιότητα, έχουν μικρό Abbe και δεν έχουν ανθεκτικότητα στη χάραξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

4.1. Γενικά Υλικά βάση χαρτών Ashby

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα υλικά κατασκευής του σκελετού και των βραχιόνων με βάση πρότυπα κατασκευής, μέσω των χαρτών Ashby και λεπτομερείς πίνακες με ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά.



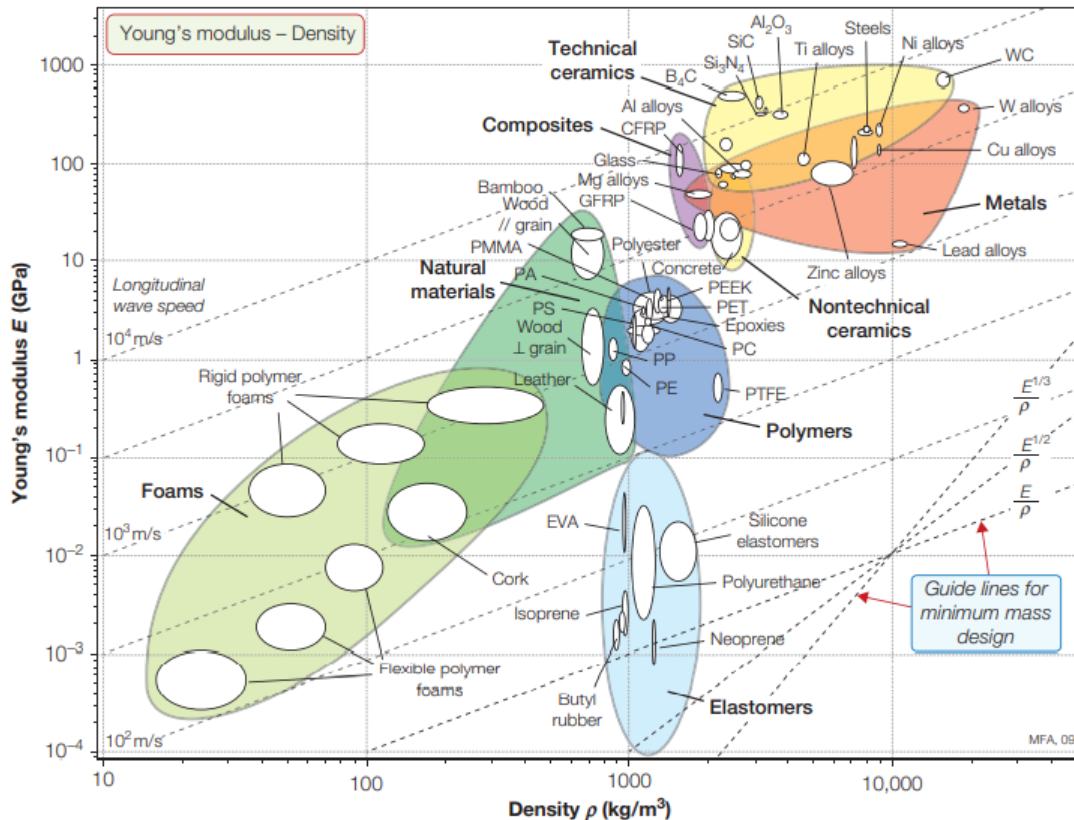
Εικόνα 24. Χάρτα ιδιοτήτων υλικών Ashby

(Πηγή: Ashby, 2002)

4.1.1. Μέτρο Ελαστικότητας / Πυκνότητα

Ένα από τα πιο καθοριστικά χαρακτηριστικά για την επιλογή υλικού για τον σκελετό γυαλιών είναι η ακαμψία του σε σχέση με την πυκνότητα του. Η πρώτη εικόνα παρουσιάζει το σύνολο των «οικογενειών» των υλικών σε ένα λογαριθμικό διάγραμμα, όπου στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται η πυκνότητα ρ του υλικού και στον κατακόρυφο άξονα το μέτρο του Young⁶.

⁶Μέτρο Young: Εκφράζει την παραμόρφωση ενός μονοδιάστατου σώματος, με μεγάλο μήκος και μικρή διατομή.



Εικόνα 25. Χάρτης Ashby – Young's modulus E / Density

(Πηγή: Ashby, 2002)

Οι βαρείς φάκελοι περικλείουν δεδομένα για μια δεδομένη κατηγορία υλικού. Η διαγώνιος τα περιγράμματα δείχνουν την ταχύτητα του διαμήκους κύματος. Οι κατευθυντήριες γραμμές της σταθεράς E/ρ , $E^{1/2}/\rho$ και $E^{1/3}/\rho$ επιτρέπουν την επιλογή υλικών για ελάχιστο βάρος, περιορισμένη παραμόρφωση, σχεδιασμό. Το παρακάτω διάγραμμα διάγραμμα ράβδων δείχνει τον συντελεστή για οικογένειες στερεών. Κάθε γραμμή δείχνει το εύρος του συντελεστή που προσφέρει ένα υλικό, μερικά από τα οποία φέρουν ετικέτα.

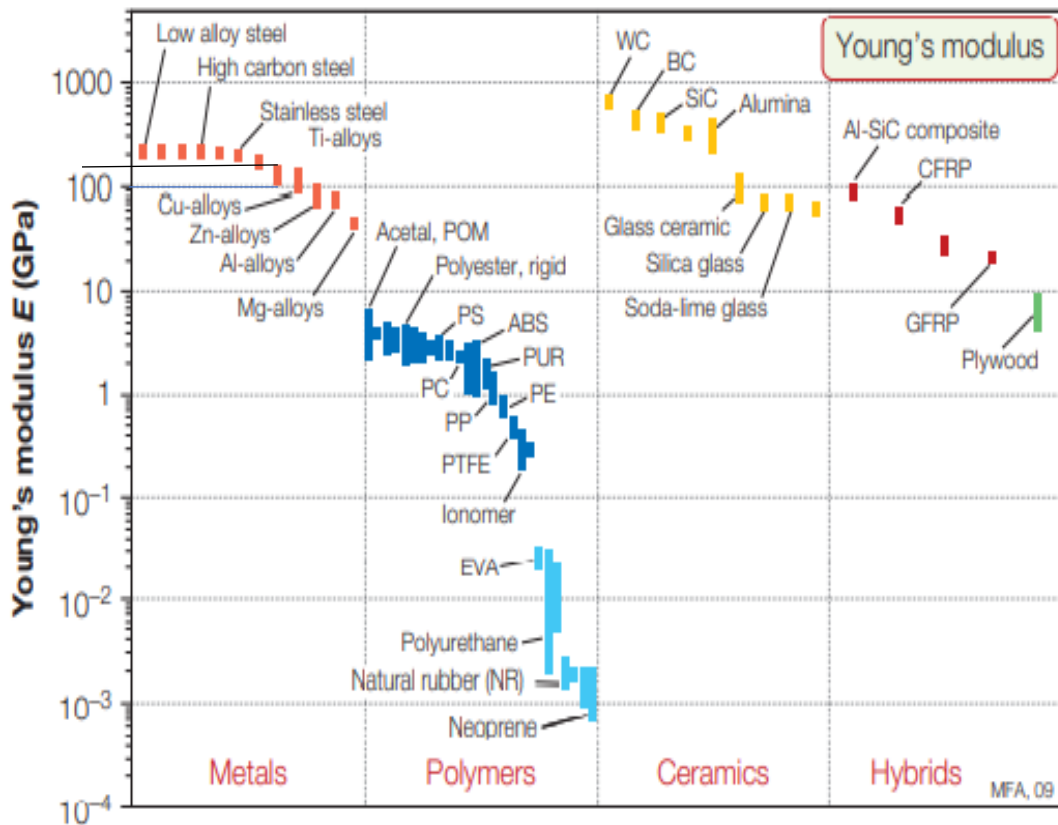


Figure 1. Εύρος συντελεστή υλικών Ashby
(Πηγή: Ashby, 2002)

4.1.2. Αντοχή /Πυκνότητα

Ο συντελεστής ενός στερεού είναι μια καλά καθορισμένη ποσότητα σε μια απότομη τιμή. Η αντοχή όμως δεν είναι. Εμφανίζεται, γραφικά σε σχέση με την πυκνότητα, ρ , στο Γράφημα 2. Για μέταλλα και πολυμερή, είναι η αντοχή διαρροής, αλλά δεδομένου ότι η γκάμα των υλικών περιλαμβάνει αυτά που έχουν δουλέψει ή σκληρυνθεί με κάποιο άλλο τρόπο καθώς και αυτά που έχουν μαλακώσει με ανόπτηση⁷, η γκάμα είναι μεγάλη. Για εύθραυστα κεραμικά, η αντοχή⁸ που παρουσιάζεται εδώ είναι ο συντελεστής θραύσης: η καμπτική δύναμη. Είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από την αντοχή εφελκυσμού, αλλά πολύ μικρότερη από την αντοχή σε συμπίεση, η οποία για

⁷ Ανόπτηση: Η ανόπτηση θεωρείται θερμική κατεργασία με μικρή ταχύτητα απόψυξης, σε αντιδιαστολή με τη βαφή που θεωρείται θερμική κατεργασία με μεγάλη ταχύτητα απόψυξης.

⁸ Αντοχή:

τα κεραμικά είναι 10 έως 15 φορές μεγαλύτερη από η δύναμη στην ένταση. Για τα ελαστομερή, αντοχή σημαίνει το «σχίσσιμο» σε εφελκυστική δύναμη. Για τα σύνθετα υλικά, είναι η αντοχή σε εφελκυσμό (η θλιπτική η αντοχή μπορεί να είναι μικρότερη έως και 30% λόγω του λογισμού των ινών).

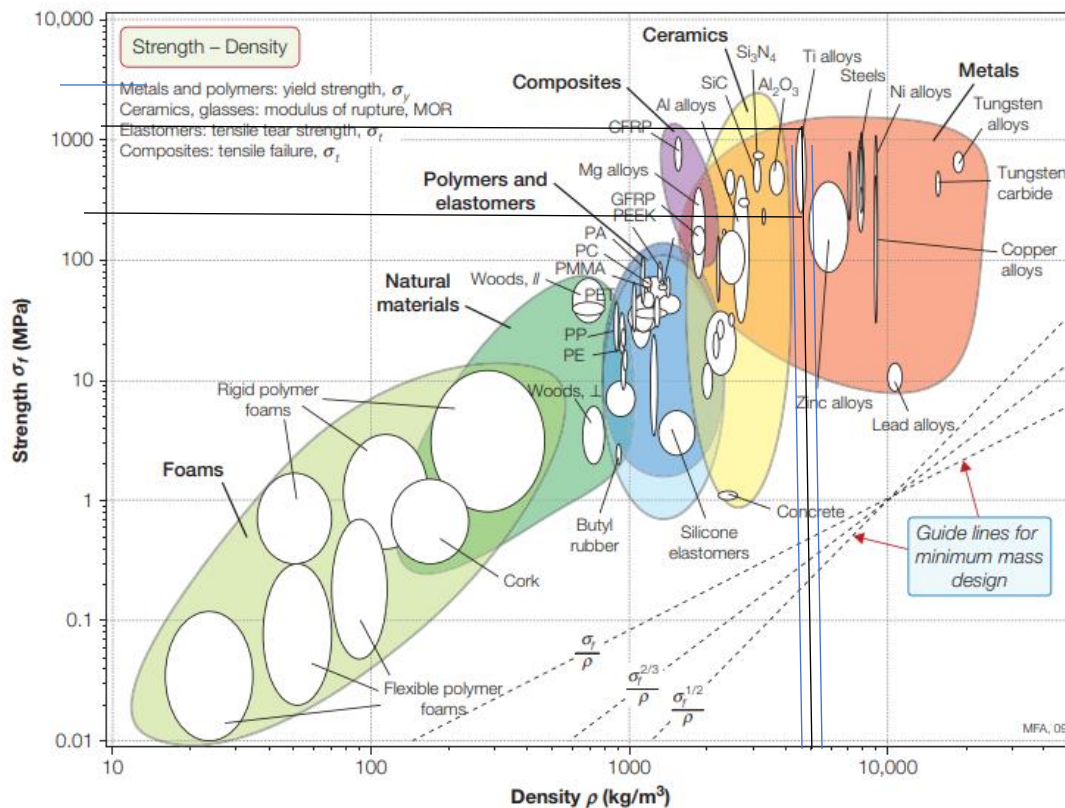


Figure 2. Αντοχή σ_f σε διάγραμμα ως προς την πυκνότητα ρ

(Πηγή: Ashby, 2002)

Από το παραπάνω διάγραμμα οι κατευθυντήριες γραμμές σταθερών σ_f/ρ , $\sigma_f^{2/3}/\rho$, και $\sigma_f^{1/2}/\rho$ χρησιμοποιούνται στο ελάχιστο βάρος, περιορισμένη απόδοση, σχεδιασμό.

4.1.3. Κόπωση / Πυκνότητα

Ανάλογα με τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να ελέγξουμε και να συγκρίνουμε υλικά σύμφωνα με την κόπωση/πυκνότητα. Και σε αυτή την περίπτωση, οι κατηγορίες υλικών όπως αφροί, μη-τεχνικά κεραμικά, βαρέα μέταλλα κλπ. αποκλείονται αμέσως από την επιλογή.

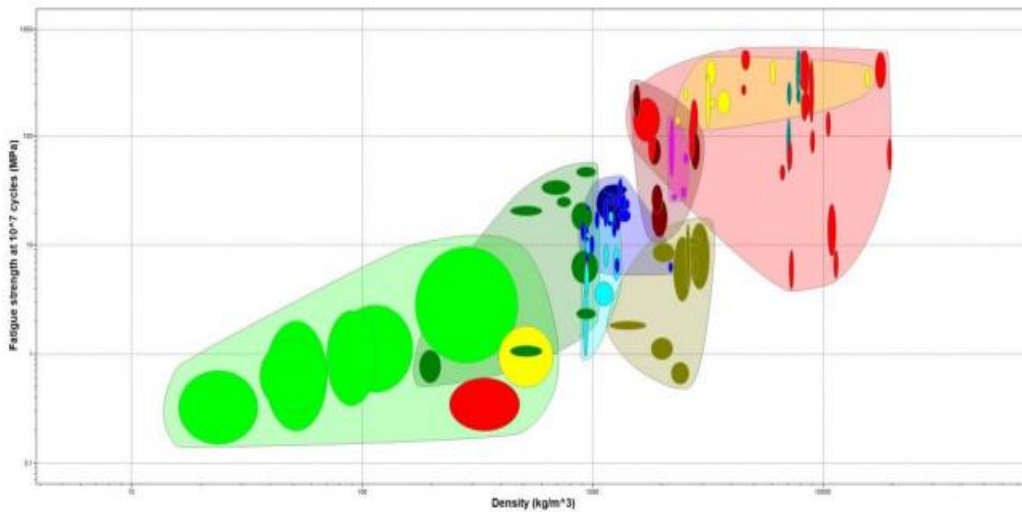


Figure 3. Χάρτης Ashby Level 2 No2 - Fatigue Strength / Density

(Πηγή: Κασιμάτη, 2015)

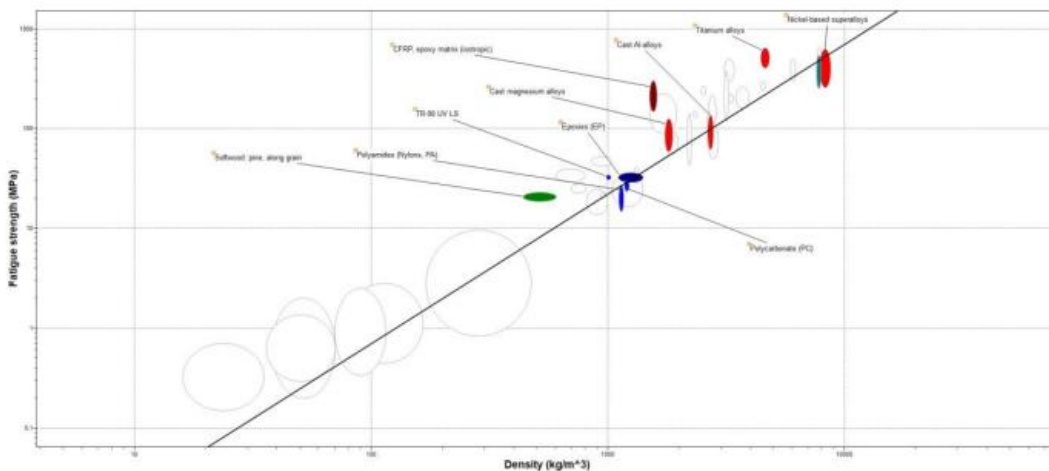


Figure 4. Χάρτης Ashby Level 2 No2 - Fatigue Strength / Density w/ Limit

(Πηγή: Κασιμάτη, 2015)

4.1.4. Διάβρωση λόγω καταπόνησης

Αυτό το κριτήριο απεικονίζεται στο γράφημα ως σκιασμένη, διαγώνια ζώνη κοντά στη κάτω σωστή γωνία. Ορίζει ένα κατώτερο όριο για το K_{Ic} . Η αντοχή σε θραύση δεν μπορεί να είναι λιγότερο από αυτό, εκτός εάν κάποια άλλη πηγή ενέργειας όπως μια χημική αντίδραση, ή την απελευθέρωση ελαστικής ενέργειας που αποθηκεύεται στις ειδικές δομές εξάρθρωσης που προκαλείται με φόρτωση κόπωσης, είναι διαθέσιμο,

όταν του δοθεί ένα νέο σύμβολο όπως $(K_{1c})_{sc}$ που σημαίνει «την κρίσιμη τιμή του K_{1c} για ρωγμές λόγω διάβρωσης από τάση» ή κατώφλι (ΔK_{1c}) που σημαίνει «το ελάχιστο εύρος K_{1c} για διάδοση ρωγμών κόπωσης». Σημειώνουμε ότι τα πιο εύθραυστα κεραμικά βρίσκονται κοντά στο κατώφλι. Όταν σπάσουν, η απορροφούμενη ενέργεια είναι μόνο ελαφρώς μεγαλύτερη από την επιφανειακή ενέργεια. Όταν τα μέταλλα, πολυμερή και σύνθετα υλικά θραύσης, η ενέργεια που απορροφάται είναι πολύ μεγαλύτερη, συνήθως λόγω της πλαστικότητας που σχετίζεται με τη διάδοση των ρωγμών.

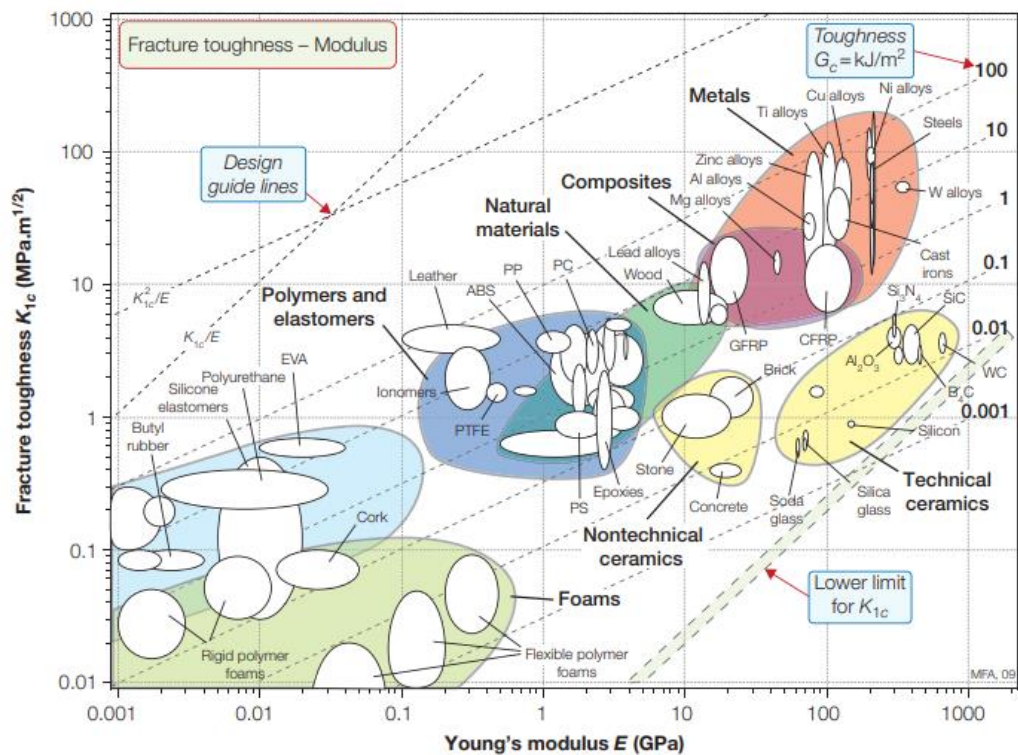


Figure 5. Χάρτης Fracture toughness K_{1c} – Young’s modulus E

(Πηγή: Ashby, 2002)

Στην διάγραμμα 5, απεικονίζονται η σκληρότητα, G_c , με το φαινόμενο επιφανειακής ενέργειας θραύσης (G_c K21γ/ΜΙ). Οι πραγματικές επιφανειακές ενέργειες, γ , των στερεών βρίσκονται μέσα στο εύρος 10^{-4} έως 10^{-3} kJ/m². Το διάγραμμα δείχνει ότι οι τιμές της σκληρότητας ξεκινάν από 10^{-3} kJ/m² και κυμαίνονται έως και πάνω από 100 kJ/m². Σε αυτήν την κλίμακα, τα κεραμικά (10^{-3} – 10^{-1} kJ/m²) είναι πολύ χαμηλότερα από τα πολυμερή (10^{-1} – 10 kJ/m²). Αυτό είναι μέρος του λόγου που τα

πολυμερή είναι περισσότερα και χρησιμοποιούνται ευρέως στη μηχανική παρά στην κεραμική (Ashby, 2002).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΓΥΑΛΙΩΝ ΟΡΑΣΕΩΝ

5.1.Εμβάθυνση στα υλικά σκελετών

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο τα γυαλιά οράσεως αποτελούνται από συγκεκριμένα τεμάχια εξαρτημάτων, τα οποία κατασκευάζονται το καθένα με διαφορετικά υλικά και προδιαγραφές. Συγκεκριμένα:

1. Ο σκελετός και οι βραχίονες θα πρέπει να είναι ανθεκτικοί στην κόπωση και στις φορτίσεις που δέχονται στα σημεία που έρχονται σε επαφή με το κεφάλι. Ταυτόχρονα, το υλικό κατασκευής τους θα πρέπει να διαθέτει μια σχετική ευκαμψία, για λόγους άνεσης στην χρήση.
2. Οι φακοί θα πρέπει να προσφέρουν την καλύτερη δυνατή και την μέγιστη δυνατή διαύγεια. Το βάρος τους επίσης παίζει καθοριστικό ρόλο στην σχεδίαση των γυαλιών οράσεως.
3. Για την αποφυγή αλλεργικών αντιδράσεων που προκύπτουν από την επαφή του δέρματος με μέταλλα ή πλαστικά, όλα τα μέρη του σκελετού που έρχονται σε επαφή με το δέρμα του κεφαλιού, π.χ. επιρρίνια, θα πρέπει να είναι υποαλλεργικά και ασφαλή για μακροχρόνια χρήση.

Τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των γυαλιών οράσεως στην σημερινή εποχή είναι τα παρακάτω:

Beta-titanium: Το τιτάνιο είναι το ένατο πιο άφθονο στοιχείο στη Γη. Υπάρχει σχεδόν πάντα σε πυριγενή πετρώματα και στα ιζήματα που προέρχονται από αυτά. Εμφανίζεται στα ορυκτά ιλμενίτη, ρουτίλιο και τιτανίτη και υπάρχει σε τιτανικά άλατα και πολλά μεταλλεύματα σιδήρου. Παράγεται εμπορικά με αναγωγή του χλωριούχου τιτανίου με μαγνήσιο ενώ το οξείδιο του τιτανίου παράγεται είτε με τη «διεργασία θεικού» είτε με τη «διεργασία χλωρίου» (και οι δύο χρησιμοποιούν το ορυκτό ιλμενίτη ως πρώτη ύλη). Το πρώτο ορυκτό τιτανίου, μια μαύρη άμμος που ονομάζεται

μεναχανίτης, ανακαλύφθηκε το 1791 στην Κορνουάλη από τον αιδεσιμότατο William Gregor.

Το Beta-titanium είναι ένα κράμα τιτανίου το οποίο περιέχει επίσης μικρές ποσότητες αλουμινίου και βαναδίου. Αυτά τα επιπλέον μέταλλα καθιστούν το Beta-titanium πιο εύκαμπτο σε σχέση με το καθαρό τιτάνιο, άρα και ευκολότερα προσαρμόσιμο. Τα άτομα του καθαρού τιτανίου ευθυγραμμίζονται στη στερεά κατάσταση είτε σε μια εξαγωνική κλειστή κρυσταλλική δομή, που ονομάζεται φάση άλφα, είτε σε μια κυβική δομή με κέντρο το σώμα, που ονομάζεται φάση βήτα. Τα κράματα βήτα είναι χρήσιμα όπου απαιτούνται πολύ υψηλές αντοχές εφελκυσμού. Η αντοχή του τιτανίου σε πολλά διαβρωτικά περιβάλλοντα, ιδιαίτερα οξειδωτικά και χλωριούχα ρεύματα διεργασίας, έχει οδηγήσει σε εκτεταμένες βιομηχανικές εφαρμογές. Το τιτάνιο είναι ανθεκτικό σε όλα τα φυσικά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών αποβλήτων, των σωματικών υγρών, του αλατιού και του υφάλμυρου νερού, αλλά και στα περισσότερα διαλύματα αλάτων, συμπεριλαμβανομένων των χλωριδίων, βρωμιούχων, ιωδιούχων και υδρόθειων. Ακόμα, είναι ανθεκτικό και στα περισσότερα οξειδωτικά οξέα, οργανικά οξέα και αλκαλικά διαλύματα.

Λόγω των ιδιοτήτων του μπορεί να μετατραπεί σε σύρματα και λεπτές πλάκες. Επιπρόσθετα, είναι πιο ελαφρύ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή σκελετών οράσεως έχοντας μία μεγάλη ποικιλία σε σχήματα και τύπους. Το τιτάνιο και τα κράματά του παρουσιάζουν σταθερές ιδιότητες σε διάφορα περιβάλλοντα και αποτελούν ελκυστικά υλικά για σκελετούς οράσεως. Τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει ενεργά η ανάπτυξη σκελετών οράσεως με νέες λειτουργίες και δομές. Για να επιτευχθούν όμως αυτές οι απαιτήσεις, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών επεξεργασίας. Όμως, λόγω του ότι το Beta-titanium απαιτεί υψηλότερη τεχνολογία επεξεργασίας συγκριτικά με το καθαρό τιτάνιο, παράγεται μόνο από μεγάλα εργοστάσια και επώνυμες μάρκες. Κατ' επέκταση, το κόστος των σκελετών που είναι κατασκευασμένοι από το εν λόγω υλικό, είναι αρκετά υψηλό.

Ni-Ti: Το νικέλιο-τιτάνιο (Nickel–titanium - NiTi) αναπτύχθηκε πριν από πολλά χρόνια από τους Buehler et al. (1963; 1968; 1969) στο Εργαστήριο Ναυτικών Μηχανισμών (Naval Ordnance Laboratory -NOL) στο Silver Springs, Maryland. Τα σύμβολα των μετάλλων συνδυάστηκαν με τον τόπο της εφεύρεσης, δημιουργώντας το ακρωνύμιο NiTiNOL, το οποίο χρησιμοποιείται παγκοσμίως για αυτόν τον ειδικό τύπο κράματος. Χρησιμοποιώντας περίπου 55% Ni και 45% Ti και αντικαθιστώντας λίγο Ni με λιγότερο από 2% Co, συνδυάζονται σχεδόν ο ίδιος αριθμός ατόμων Ni και Ti, που αντανακλάται στον όρο ισοατομικό (περιέχει δηλαδή ίσους αριθμούς δύο ή περισσότερων ατόμων). Σύμφωνα με την έρευνα του Stöckel (1989) και προκειμένου να συστηματοποιηθούν οι εφαρμογές των κραμάτων μνήμης σχήματος NiTi, μπορούν να οριστούν τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες:

- Ελεύθερη ανάκτηση
- Περιορισμένη ανάκτηση
- Παραγωγή εργασίας
- Ψευδοελαστικότητα

Η ελεύθερη ανάκτηση συνίσταται απλώς σε παραμόρφωση του μαρτενσίτη και στη συνέχεια σε θέρμανσή του για την ανάκτηση του αρχικού σχήματος. Ένα παράδειγμα είναι ο λυγισμός ενός σύρματος σε θερμοκρασία δωματίου, η απελευθέρωσή του και έπειτα, η θέρμανση αυτού προκειμένου να ανακτήσει το αρχικό σχήμα. Εάν ένα δείγμα μετά την παραμόρφωση στη μαρτενσιτική κατάσταση είναι περιορισμένο (δηλαδή εμποδίζεται με φυσικό τρόπο στο να επιστρέψει στο αρχικό του σχήμα), τότε μπορούν να δημιουργηθούν σημαντικές δυνάμεις κατά τη θέρμανση. Αυτό ονομάζεται "περιορισμένη ανάκτηση" και αποτελεί τη βάση για τις πιο επιτυχημένες εφαρμογές των κραμάτων μνήμης σχήματος NiTi μέχρι στιγμής. Καθώς η πίεση που δημιουργείται στην περιορισμένη ανάκτηση κατά τη θέρμανση μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την τάση διαρροής του μαρτενσίτη, τα στοιχεία μνήμης σχήματος μπορούν πραγματικά να λειτουργήσουν, π.χ. με την κίνηση αντικειμένων, την ανύψωση φορτίων κ.λπ.

Από την άλλη πλευρά, η ψευδοελαστικότητα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα φαινόμενο "μηχανικής μνήμης". Το ψευδοελαστικό κράμα χρησιμοποιείται κυρίως για ιατρικές

εφαρμογές ενώ μπορούν να παραμορφωθούν ελαστικά έως περίπου 8% σε σύγκριση με το μέγιστο 1% για τα συμβατικά μεταλλικά υλικά. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αυτά τα κράματα ονομάζονται επίσης "υπερελαστικά". Ο όρος "ψευδο" χρησιμοποιείται επειδή η σχέση τάσης-παραμόρφωσης είναι μη γραμμική (Duerig & Zadno, 1990).

Τα κράματα τιτανίου-νικελίου χρησιμοποιούνται ευρέως ως η πιο πρακτική μνήμη σχήματος ή ως υπερελαστικά κράματα λόγω της γενικότερης αντοχής, της εξαιρετικής ικανότητας ανάκτησης σχήματος και της αντοχής τους στη διάβρωση. Επιδεικνύουν επίσης εξαιρετική ευπλαστότητα σε σύγκριση με άλλα κράματα μνήμης σχήματος (shape memory alloys - SMAs), αν και η ψυχρή ευπλαστότητα τους είναι κακή σε σύγκριση με συμβατικά μεταλλικά υλικά όπως για παράδειγμα ο χάλυβας. Επιπλέον, είναι κατά 25% ελαφρύτερα σε σχέση με τα συμβατικά μέταλλα με αποτέλεσμα να μειώνεται η ανάγκη για χρήση ελατηρίων στους σκελετούς οράσεως, αυξάνοντας έτσι την άνεση και την ανθεκτικότητα ακόμα για τους πιο απαιτητικούς χρήστες (Nakahata, 2011).

Monel: Το Monel μπορεί αναμφισβήτητα να θεωρηθεί ως το πρώτο κράμα που αναπτύχθηκε με βάση το νικέλιο καθιστώντας το ανθεκτικό στη διάβρωση. Ουσιαστικά, όντας ένα δυαδικό κράμα νικελίου και χαλκού, η αναλογία νικελίου προς χαλκό είναι η ίδια με αυτή που βρίσκεται στο μετάλλευμα από το οποίο προέρχεται. Έτσι, μπορεί επίσης να θεωρηθεί «φυσικό» κράμα. Κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1906, το Monel έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές σε πολλές διαφορετικές βιομηχανίες τα τελευταία εκατό χρόνια, από τεράστια υπερωκεάνεια έως μικροσκοπικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα και από την επεξεργασία τροφίμων έως την παραγωγή βενζίνης και ηλεκτρικής ενέργειας. Τη σημερινή εποχή, το κράμα και οι απόγονοί του εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως και είναι πολύ πιθανό ότι αυτή η τάση θα συνεχιστεί για πολλά ακόμα χρόνια.

Το Monel βασίζεται κυρίως σε νικέλιο (65-70%) και χαλκό (20-29%) και περιέχει επίσης σίδηρο και μαγγάνιο (5%) καθώς και άλλες ενώσεις. Ανακαλύφθηκε από τον Robert Crooks Stanley, ο οποίος εργάστηκε για την International Nickel Company (INCO) το 1901. Συγκολλείται συχνά μέσω τόξου αερίου βολφραμίου, μεταλλικού

τόξου αερίου και συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται μερικές φορές το μέταλλο πλήρωσης Monel 60, το οποίο έχει την ίδια υψηλή αντοχή και αντοχή στη διάβρωση με το κράμα Monel. Καθώς υπάρχουν διαφορετικές συνθέσεις Monel, τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και η χρήση των πληρωτικών εξαρτώνται από το Monel που χρησιμοποιείται. Ο πιο συχνά περιζήτητος και απαιτούμενος βαθμός Monel είναι το Monel 400. Το κράμα Monel 400 εμφανίζει τις ίδιες αναλογίες νικελίου και χαλκού, τα οποία βρίσκονται με φυσικό τρόπο στο μέταλλευμα νικελίου από ορισμένα ορυχεία. Η χρήση του σε ορισμένες εφαρμογές αντικαταστάθηκε από τα τότε πρόσφατα κράματα νικελίου-χρωμίου και των ανοξειδωτων χάλυβων σιδήρου-χρωμίου-νικελίου. Ωστόσο, με τις έρευνες που διεξάγονται σήμερα σχετικά με τις καρκινογόνες επιδράσεις των αναθυμιάσεων χρωμίου στο ανθρώπινο σώμα και τις εκκλήσεις για περιορισμό και αυστηρό έλεγχο των κραμάτων που φέρουν χρώμιο κατά την παραγωγή και την κατασκευή (ειδικά κατά τη συγκόλληση και τη λειαντική κοπή), ενδέχεται σύντομα να υπάρξει μια αναζωπύρωση της χρήσης των προϊόντων Monel για εφαρμογές που τη σήμερα χρησιμοποιούν χάλυβες και κράματα που φέρουν χρώμιο.

Τέλος, είναι ευρέως γνωστό ως υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση και στη σκουριά και έχει τις ακόλουθες ιδιότητες: είναι ισχυρότερο από τον χάλυβα, είναι ελατό μέταλλο, έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στα αλκάλια και μπορεί επίσης να συγκολληθεί, να χαλκοκολληθεί και να κασσιτεροκολληθεί. Χρησιμοποιείται για θαλάσσια μηχανική, εξοπλισμό επεξεργασίας χημικών και υδρογονανθράκων, βαλβίδες, αντλίες, άξονες, εξαρτήματα, συνδετήρες και εναλλάκτες θερμότητας. Είναι λιγότερο ακριβό σε σχέση με άλλα μέταλλα, ανάλογα όμως και με την ποιότητα της επιμετάλλωσης που χρησιμοποιείται. Εκτός από τα παραπάνω και λόγω των ιδιοτήτων του, είθισται να χρησιμοποιείται και σαν υλικό κατασκευής σε σκελετούς οράσεως. Υπάρχουν ωστόσο περιπτώσεις κατά τις οποίες αποχρωματίζει ή προκαλεί δερματικές αντιδράσεις μετά από μακρά χρήση.

Αλουμίνιο: Το αλουμίνιο είναι ένα ασημί-λευκό μέταλλο και αποτελεί το δέκατο τρίτο στοιχείο του περιοδικού πίνακα. Είναι το πιο διαδεδομένο μέταλλο στη Γη, αποτελώντας περισσότερο από το 8% της μάζας του πυρήνα της, καθώς και το τρίτο πιο κοινό χημικό στοιχείο στον πλανήτη μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Επίσημα, το αλουμίνιο παρήχθη για πρώτη φορά το 1824 και χρειάστηκαν άλλα πενήντα χρόνια για να μάθουν να το παράγουν σε βιομηχανική κλίμακα. Η πιο κοινή μορφή αλουμινίου που βρίσκεται στη φύση είναι τα θειικά άλατα αλουμινίου. Πρόκειται για ορυκτά που συνδυάζουν δύο θειικά οξέα: ένα με βάση ένα αλκαλικό μέταλλο (λίθιο, νάτριο, κάλιο ρουβίδιο ή καίσιο) και ένα με βάση ένα μέταλλο από την τρίτη ομάδα του περιοδικού πίνακα, κυρίως το αλουμίνιο. Τα θειικά αλουμίνια χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα για τον καθαρισμό του νερού, για το μαγείρεμα, την ιατρική, την κοσμετολογία, τη χημική βιομηχανία και σε άλλους τομείς.

Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες των Lloyd (1994) και Rohatgi (1991), τα σύνθετα υλικά από κράμα αλουμινίου γίνονται ολοένα και περισσότερο υλικά μηχανικής προσφέροντας έναν εξαιρετικό συνδυασμό ιδιοτήτων όπως υψηλή ειδική αντοχή και ακαμψία, ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής και αντοχή στη φθορά. Λόγω του εξαιρετικού συνδυασμού ιδιοτήτων τους, τα υλικά που δημιουργούνται από το συγκεκριμένο κράμα χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία, την εξόρυξη και τα ορυκτά, την αεροδιαστημική, την άμυνα κ.α. Αν και το αλουμίνιο επιδεικνύει εξαιρετική αντοχή υλικού από μόνο του, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής, συχνά προστίθενται κράματα για να ενισχύσουν περαιτέρω την αντοχή του. Εκτός από την αντοχή του, το αλουμίνιο είναι επίσης γνωστό για την αντοχή του και τις ιδιότητες απορρόφησης ενέργειας κατά τις κρούσεις. Επιπλέον, σε σύγκριση με τον χάλυβα, παρουσιάζει καλύτερη αναλογία αντοχής προς βάρος που επιτρέπει την κατασκευή ισχυρών και ελαφρών εξαρτημάτων.

Το καθαρό αλουμίνιο αποτελεί το κύριο υλικό των γυαλιών αλουμινίου (οράσεως και ηλίου) και χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της αντοχής και της σκληρότητας. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως προσθέτοντας μια μικρή ποσότητα μαγνησίου ή άλλων ειδών μεταλλικών υλικών που προσδίδουν στο σκελετό καλή σκληρότητα και καλή αντοχή στη διάβρωση. Τα γυαλιά αλουμινίου έχουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά όπως καλή

σκληρότητα, χαμηλή πυκνότητα, καλή απαγωγή θερμότητας και ισχυρή αντοχή στη συμπίεση. Όλα αυτά μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις ελαφρότητας, αντισύγκρουσης και απαγωγής θερμότητας.

Ανοξείδωτος χάλυβας: Ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι ένα ευγενές μέταλλο με ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά , που λόγω της χημικής του σύστασης είναι κατάλληλο για ευρεία χρήση στη βιομηχανία, στις τέχνες, στην ιατρική και στην καθημερινή οικιακή χρήση. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά ως μη οξειδούμενος και έχοντας μεγάλη αντοχή σε ειδικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, οδήγησαν στην ευρεία εφαρμογή του όπως προαναφέρθηκε. Επιπλέον, είναι ένα κράμα χάλυβα που πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 10,5% χρώμιο και να περιέχει επίπεδα νικελίου, μολυβδαινίου και νιοβίου. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες παράγονται σε ηλεκτρικές καμίνους σε τήξη σιδήρου (πρωτογενούς ή scrap), σιδηροκραμάτων (π.χ. σιδηροχρώμιο, σιδηρονικέλιο) και άλλων μεταλλικών προσθηκών.

Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν αντοχή στη διάβρωση για οικονομικούς (βιομηχανία), αισθητικούς (αρχιτεκτονική) ή για λόγους υγιεινής (μαγειρικά σκεύη, ιατρική). Αν και υπάρχουν χιλιάδες διαφορετικά κράματα από ανοξείδωτο χάλυβα, μπορούν όλα να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες. Αυτοί είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι ανοξείδωτου χάλυβα. Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες τείνουν να έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο σε σύγκριση με άλλα κράματα χάλυβα, δίνοντάς τους μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση.
- Φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες. Η δεύτερη πιο κοινή μορφή ανοξείδωτου χάλυβα μετά τα ωστενιτικά κράματα. Όπως υποδηλώνει το όνομα, ο φερριτικός ανοξείδωτος χάλυβας ⁹είναι μαγνητικός. Αυτά τα κράματα μπορούν να σκληρυνθούν με ψυχρή επεξεργασία. Τείνουν επίσης να είναι λιγότερο ακριβά λόγω της μειωμένης περιεκτικότητάς τους σε νικέλιο.
- Μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες. Η λιγότερο κοινή κατηγορία κράματος ανοξείδωτου χάλυβα. Η αντοχή τους στη διάβρωση τείνει να

είναι χαμηλότερη από κράματα φερριτικού ή ωστενιτικού, αλλά έχουν υψηλή σκληρότητα. Τα κράματα μαρτενσιτικού ανοξειδωτού χάλυβα είναι συχνά ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετικά υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και αντοχή στην κρούση. Όταν οι εν λόγω εφαρμογές απαιτούν επίσης αντοχή στη διάβρωση, αυτά τα κράματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με προστατευτική επίστρωση πολυμερούς.

Ειδικότερα, ο ανοξειδωτός χάλυβας αποτελεί μια πιο προσιτή εναλλακτική του τιτανίου καθώς είναι ισχυρός, ελαφρύς και δεν σκουριάζει ή διαβρώνεται εύκολα. Για αυτούς τους λόγους, πολλοί κατασκευαστές γυαλιών χρησιμοποιούν ανοξειδωτο χάλυβα στο μεταλλικό τους σκελετό.

Μαγνήσιο: Το μαγνήσιο είναι το ελαφρύτερο από όλα τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται ως βάση για τα κατασκευαστικά κράματα. Τα κράματα μαγνησίου με πυκνότητα κάτω από 2 g/cm³ είναι τα ελαφρύτερα πρακτικά κράματα. Αυτά τα κράματα έχουν χρησιμοποιηθεί για διάφορα βιομηχανικά προϊόντα, όπως φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, εξαρτήματα αυτοκινήτου και εξαρτήματα αεροδιαστημικής. Ωστόσο, τα συμβατικά κράματα μαγνησίου παρουσιάζουν κακή πλαστική παραμόρφωση σε θερμοκρασία δωματίου λόγω της εξαγωνικής κλειστής δομής τους, η οποία εμφανίζει υψηλή πλαστική ανισοτροπία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να περιορίζεται η πρακτική εφαρμογή τους (Kulekci, 2008).

Στο παρελθόν, το μαγνήσιο χρησιμοποιήθηκε εκτενώς στον Α' και Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, αλλά εκτός από τη χρήση σε εξειδικευμένες εφαρμογές στην πυρηνική βιομηχανία, τα μέταλλα και τα στρατιωτικά αεροσκάφη, το ενδιαφέρον για αυτό άρχισε σταδιακά να μειώνεται. Ένας από τους λόγους για την περιορισμένη χρήση του μαγνησίου ήταν ορισμένες κακές ιδιότητες του, οι οποίες επιδεινώθηκαν από την έλλειψη εργασιών ανάπτυξης. Αυτές είναι ο χαμηλός συντελεστής ελαστικότητας, η περιορισμένη εργασιμότητα και σκληρότητα στο κρύο, ο υψηλός βαθμός συρρίκνωσης κατά τη στερεοποίηση, η υψηλή χημική αντιδραστικότητα, καθώς και η περιορισμένη αντοχή του στη διάβρωση σε ορισμένες εφαρμογές.

Παρόλα αυτά, η απαίτηση μείωσης του βάρους των εξαρτημάτων του αυτοκινήτου ως αποτέλεσμα της θέσπισης νομοθεσίας που περιορίζει τις εκπομπές ρύπων, προκάλεσε ξανά ενδιαφέρον για το μαγνήσιο. Μερικά από τα πλεονεκτήματα του μαγνησίου και των κραμάτων του είναι η χαμηλότερη πυκνότητα όλων των μεταλλικών δομικών υλικών, η υψηλή ειδική αντοχή, η καλή ικανότητα χύτευσης, η καταλληλότητα του για χύτευση υψηλής πίεσης, η καλή συγκολλησιμότητα του υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα και η πολύ βελτιωμένη αντοχή στη διάβρωση χρησιμοποιώντας μαγνήσιο υψηλής καθαρότητας. Όντας ελαφρύτερο από το τιτάνιο και το αλουμίνιο, το μαγνήσιο είτε εξάγεται από τον ωκεανό είτε ανακτάται από ορυκτά όπως ο δολομίτης ή ο μαγνήτης. Λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων και του υψηλού κόστους του, έχει χρησιμοποιηθεί επίσης στην αγορά σκελετών για γυαλιά υψηλής τεχνολογίας. Ωστόσο, παρά τα προτερήματα του ως ένα ισχυρό, ανθεκτικό και υποαλλεργικό υλικό, κοστίζει σχεδόν 50 % περισσότερο απ' ό τι το αλουμίνιο ή ο χάλυβας.

Βηρύλλιο: Το βηρύλλιο είναι ένα ατσαλο-γκρι μέταλλο που είναι αρκετά εύθραυστο σε θερμοκρασία δωματίου και οι χημικές του ιδιότητες μοιάζουν κάπως με αυτές του αλουμινίου. Δεν εμφανίζεται ελεύθερο στη φύση και εντοπίζεται στον βηρύλλιο και στο σμαράγδι, ορυκτά που ήταν γνωστά στους αρχαίους Αιγύπτιους. Αν και από καιρό υπήρχε η υποψία ότι τα δύο ορυκτά ήταν παρόμοια, η χημική επιβεβαίωση αυτού δεν έγινε μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα. Το βηρύλλιο ανακαλύφθηκε το 1798 από τον Γάλλο χημικό Nicolas-Louis Vauquelin και απομονώθηκε ανεξάρτητα ως μέταλλο το 1828 από τον Γερμανό χημικό Friedrich Wöhler και τον Γάλλο χημικό Antoine A.B. Το βηρύλλιο είναι ευρέως καταναμεμημένο στον φλοιό της Γης και εκτιμάται ότι εμφανίζεται στα πυριγενή πετρώματα της Γης σε ποσοστό 0,0002%. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν περίπου το 60% του βηρυλλίου στον κόσμο και είναι μακράν ο μεγαλύτερος παραγωγός βηρυλλίου. Άλλες μεγάλες χώρες παραγωγής είναι η Κίνα, η Μοζαμβίκη και η Βραζιλία.

Όντας τέταρτο στον περιοδικό πίνακα, το βηρύλλιο είναι το μικρότερο άτομο μετάλλου. Τυπικά προστατεύεται από ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του βηρυλλίου (beryllium oxide - BeO), το οποίο το καθιστά ανθεκτικό στα συμπτυκνωμένα οξειδωτικά οξέα (ωστόσο, διαλύεται από το αραιωμένο υδροχλωρικό οξύ, δημιουργώντας υδρογόνο). Ο συνδυασμός του υψηλού σημείου τήξεως (1.287 °C),

της καλής ελαστικότητας, της ικανότητας διασποράς νετρονίων υψηλής ενέργειας και άλλων φυσικών χαρακτηριστικών, έχει οδηγήσει σε πολλές πρακτικές εφαρμογές. Το βηρύλλιο μπορεί εύκολα να περιγραφεί ως «ειδικό» μέταλλο. Είναι ένα από τα ελαφρύτερα γνωστά δομικά μέταλλα και διαθέτει έναν μοναδικό συνδυασμό ιδιοτήτων. Μεταξύ των σημαντικών ζητημάτων από σχεδιαστική άποψη είναι ο εξαιρετικός συντελεστής, ο λόγος συντελεστή/πυκνότητας, ο λόγος αντοχής/πυκνότητας, η αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία και οι θερμικές ιδιότητες του. Χρησιμοποιείται σε κράματα με χαλκό ή νικέλιο για την κατασκευή γυροσκοπίων, ελατηρίων, ηλεκτρικών επαφών, ηλεκτροδίων συγκόλλησης με σημείο και εργαλείων που δεν σπινθηρίζουν. Η ανάμειξη του βηρυλλίου με αυτά τα μέταλλα αυξάνει την ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητά τους. Χρησιμοποιείται επίσης σε πυρηνικούς αντιδραστήρες ως ανακλαστήρας ή μετριαστής των νετρονίων. Το οξειδίο έχει πολύ υψηλό σημείο τήξης που το καθιστά χρήσιμο στην πυρηνική εργασία καθώς και σε κεραμικές εφαρμογές.

Επιπρόσθετα, το βηρύλλιο είναι προϊόν μεταλλουργίας σκόνης ενώ τόσο το μέγεθος, όσο και το σχήμα των σωματιδίων σκόνης εισόδου πριν από την αρχική ενοποίηση, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος. Είναι έξι φορές ισχυρότερο από τον χάλυβα και περισσότερο από 30% ελαφρύτερο από το αλουμίνιο. Λόγω της αντίστασής του στη διάβρωση και την αμαύρωση, θεωρείται ως μια εξαιρετική επιλογή για όσους έχουν υψηλή οξύτητα δέρματος. Είναι επίσης το μόνο μέταλλο μνήμης που δεν περιέχει νικέλιο και μπορεί να αντέξει πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Προτιμάται στη κατασκευή σκελετών λόγω του ότι είναι ελαφρύ, ανθεκτικό, ευέλικτο και διατίθεται σε μεγάλη γκάμα χρωμάτων αν και ένας πολύ μικρός αριθμός ατόμων είναι αλλεργικοί σε αυτό.

5.2. Επιλογή υλικών και σύγκριση για σκελετό γυαλιών οράσεως

Η επιλογή υλικού για την σχεδίαση και την δημιουργία ενός σκελετού οράσεως εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως οι διαστάσεις (γεωμετρικές διαστάσεις) του σκελετού, την καταπόνηση (δυνάμεις) που δέχονται τα διάφορα μέρη, καθώς και τις ιδιότητες που παρουσιάζει κάθε υλικό.

Σύμφωνα με την Κασσιμάτη Σ. (2020), όσον αφορά την διαστασιολόγηση, δεν υπάρχει κάποια τυποποίηση σύμφωνα με κάποιο μηχανολογικό πρότυπο, όπως, DIN,

ISO, κ.τ.λ., εκτός από το Ολικό Πλάτος (Width), το Μήκος Βραχίονα (Temple), τη Γέφυρα (Bridge – Οριζόντια Απόσταση Φακών), την Οριζόντια Απόσταση Μεταξύ Άκρης Φακού και Βραχίονα και τη Διάμετρο Φακού (Lens Diameter). (Εικόνα 26).



Εικόνα 26. Παράδειγμα διαστάσεων γυαλιών οράσεως

(Πηγή: <https://www.eye-shop.gr/eye-shop/gr/info.asp>)

Το ολικό πλάτος και η γέφυρα έχουν την μεγαλύτερη βαρύτητα, αφού αυτά έχουν άμεσο αντίκτυπο στην άνετη εφαρμογή των υπό σχεδίαση σκελετού γυαλιών. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μεγέθη παίζουν σημαντικό ρόλο καθώς υπόκεινται σε δυνάμεις εφελκυσμού και σε καμπτικά φορτία.

Η επιλογή και η σύγκριση των υλικών θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με την μέθοδο των διαγραμμάτων Ashby¹⁰. Τα υλικά¹¹ κατηγοριοποιούνται σε φυσαλίδες σύμφωνα με τις ιδιότητές τους (Γράφημα 6).

¹⁰ Βλέπε: Κεφάλαιο 4

¹¹ Υλικά: μέταλλα, κεραμικά, πολυμερή, ελαστομερή, αφροί, φυσικά υλικά και σύνθετα

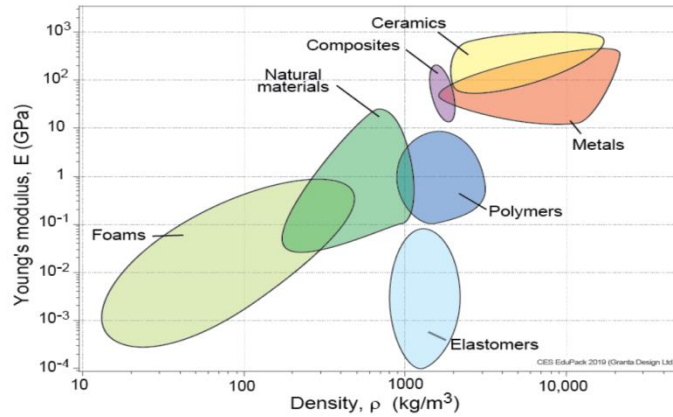
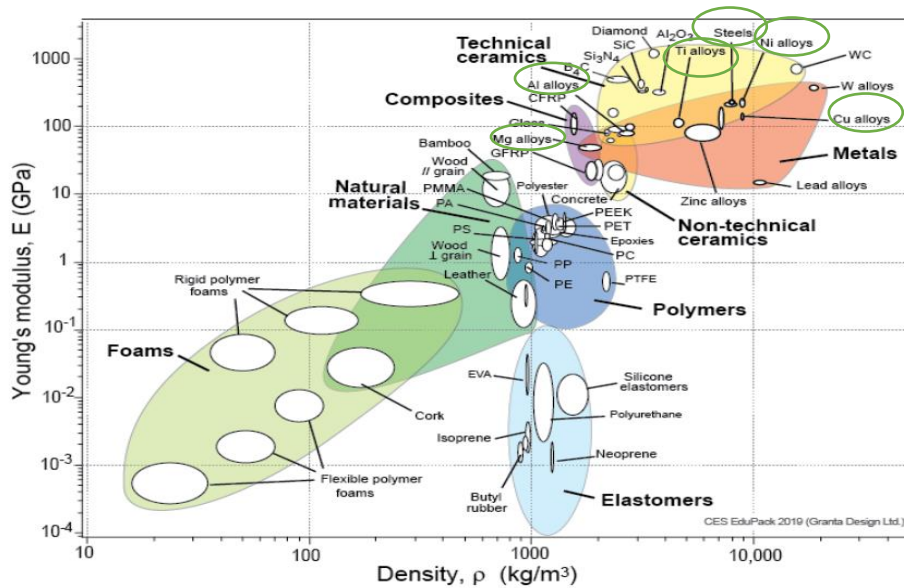


Figure 6. Κατηγορίες υλικών σε φυσαλίδες. (Πηγή: “Chart created using CES EduPack 2019, ANSYS Granta © 2020 Granta Design”)

Τα υλικά που θα συγκριθούν είναι αυτά που χρησιμοποιούνται ήδη για την κατασκευή των σκελετών¹², Beta- Titanium, NiTi, Monel, Aluminium, Ανοξείδωτος Χάλυβας, Μαγνήσιο και Βηρύλλιο. Από αυτά και σύμφωνα με τις μηχανικές τους ιδιότητες θα προκύψει το επικρατέστερο.

Από το παρακάτω διάγραμμα Ashby, παρατηρούμε ότι τα παραπάνω υλικά ανήκουν στην κατηγορία των μετάλλων. Άρα η τοποθεσία (φυσαλίδα) που μας ενδιαφέρει είναι η συγκεκριμένη.

¹² Βλέπε Κεφάλαιο 5.2.



Εικόνα 27. Τα υλικά στις διάφορες κατηγορίες του κατά Ashby. (Πηγή: “Chart created using CES EduPack 2019, ANSYS Granta © 2020 Granta Design”)

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να αντέχουν σε εφελκυστικές δυνάμεις αλλά και να είναι άκαμπτα σε σχήμα κυλίνδρου ή ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου (Εικόνα 28).



Εικόνα 28. Σχήματα υλικών

(Πηγή:Johnson, 2002)

5.3. Διαδικασία σύγκρισης

Για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του σκελετού όποια από τα δύο παραπάνω δοκίμια (κυλινδρικό, τετραγωνική διατομή) κι αν χρησιμοποιηθούν η παρακάτω μεθοδολογία παραμένει η ίδια.

Για τη χρήση υλικού με αντοχή σε καταπονήσεις κυλινδρικής διατομής.

Για να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα σχεδίασης και κατασκευής τα μεγέθη, F (δύναμη), L (μήκος), σ_f (επιτρεπόμενη τάση) πρέπει να είναι λειτουργικά δηλαδή:

- Το κυλινδρικό δοκίμιο θα πρέπει να αντέχει στην δύναμη του εφελκυσμού.
- Η τάση θα πρέπει να είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τάση (σ_f)
- Το μήκος (L) προσαρμόζεται κατά την διαδικασία σχεδιασμού, μπορεί να ποικίλει η επιφάνεια A
- Για να έχει αντοχή θα πρέπει και η μάζα του να είναι μικρή

Από τα παραπάνω θα πρέπει να ισχύει για τις τάσεις

$$\sigma \leq \sigma_f \text{ δηλδ. } \frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_f}{S}$$

και για την μάζα $m = \rho LA$

Συνδυάζοντας τους δύο παραπάνω τύπους προκύπτει ότι:

$$m \geq (FS)(L) \frac{\rho}{\sigma_f}$$

Τα μεγέθη (FS), (L) δεν επηρεάζουν την αντοχή του υλικού παρά μόνο το κλάσμα $\frac{\rho}{\sigma_f}$ (πυκνότητα /επιτρεπόμενη τάση). Για επιθυμητά αποτελέσματα η μάζα πρέπει να είναι μικρή, άρα το κλάσμα θα πρέπει να το ελαχιστοποιήσουμε. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες των υλικών να έχουν αυτά με την μικρότερη τιμή.

Υπάρχει και η αντίστοιχη περίπτωση που τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες τις έχουν αυτά με την μεγαλύτερη τιμή, χρησιμοποιώντας τον τύπο :

$$M = \frac{\sigma_f}{\rho} \quad (\text{D.D.Johnson,2004})$$

Για τη χρήση υλικού με αντοχή σε καταπονήσεις τετραγωνικής διατομής δοκίμιου.

Ασκώντας δύναμη (F) στο δοκίμιο χωρίς να επέλθει η θραύση, διατηρώντας σταθερό το μήκος (L)

Η σχέση που πρέπει να ισχύει για την αντοχή είναι:

$$\frac{\sigma_f}{s} = \frac{F}{c^2}, \text{ (όπου } c \text{ οι πλευρές της διατομής}^{13}\text{)}$$

Και για την μάζα του δοκιμίου : $M = \rho L c^2$

Από τον συνδυασμό των παραπάνω εξισώσεων και απαλείφοντας το μέγεθος c , προκύπτει:

$M = (FLS) \frac{\rho}{\sigma_f}$, όπου και πάλι τα μεγέθη F, L, S καθορίζονται από εφαρμογή, ενώ θα πρέπει πάλι να ελαχιστοποιήσουμε το κλάσμα για να μικρύνουμε την μάζα M .

Για να μεγιστοποιήσουμε τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού ισχύει:

$$M_{index} = \frac{\sigma_f}{\rho} \quad (\text{D.D.Johnson, 2004})$$

Για άκαμπτη δοκό σε εφελκυσμό (Stiff Beam in Tension)

Η δοκός δεν θα πρέπει να επιμηκύνεται παραπάνω από το δ , όταν καταπονείται από δύναμη F διότι το μήκος L θα πρέπει να μείνει σταθερό.

Η σχέση που ισχύει είναι: $\frac{F}{c^2} = \frac{\delta}{L} E$ ($\sigma = E\varepsilon$)

Για την μάζα ισχύει: $M = \rho L c^2$

Από τον συνδυασμό των άνω εξισώσεων ισχύει ότι η μάζα είναι:

$$m = \frac{FL^2 \rho}{\delta E}$$

Το κλάσμα που αφορά τις διαστάσεις καθορίζεται από την εφαρμογή ενώ ο λόγος $\frac{\rho}{E}$, θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, για ελαχιστοποίηση της μάζας.

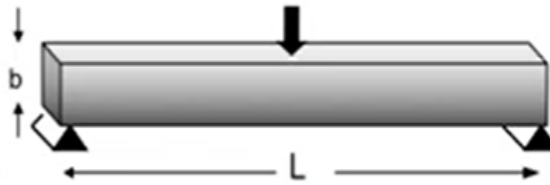
Για μεγιστοποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων θα πρέπει: $M = \frac{E}{\rho}$

(D.D.Johnson, 2004)

Για άκαμπτη δοκό σε κάμψη (Stiff Beam in Deflection)

¹³ Βλέπε εικόνα 28

Η δοκός με αρχικό μήκος L δεν θα πρέπει να παραμορφώνεται πάνω από το δ , όταν της ασκείται δύναμη F (Εικόνα 29)



Εικόνα 29. Δοκός σε άρθρωση υπόκειται δύναμη κάμψης

(Πηγή: www.grantadesign.com)

Το μήκος L είναι προκαθορισμένο και θα πρέπει η αντοχή σε κάμψη να είναι μεγαλύτερη από το S , με αυτό να ισούται με:

$$S = \frac{48EI}{L^3} = \frac{4EA^2}{L^3}$$

Για την μάζα ισχύει: $m = AL\rho$, με $A = b^2$

Συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι:

$$m = \left(\frac{F^5 S}{4}\right)^2 \left(\frac{\rho}{E^{1/2}}\right)$$

Από το παραπάνω τύπο επιλέγω το υλικό με το μικρότερο λόγο: $\frac{\rho}{E^{1/2}}$,

ή αυξάνουμε το $M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$

Performance of Square Beam vs. Fixed Height or Width

- Light, Stiff Plate E/ρ
- Light, Stiff Beam $E^{1/2}/\rho$
- Light, Stiff Panel $E^{1/3}/\rho$

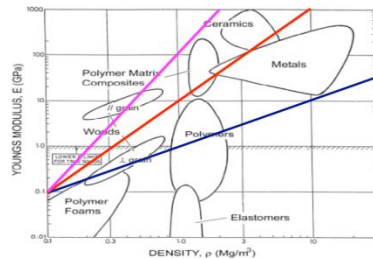


Figure 7. Απόδοση τετραγωνικής δοκού έναντι ύψους ή πλάτους (Johnson, 2020)

5.4. Σύγκριση υλικών

Τα υλικά που πρόκειται να συγκριθούν είναι τα Beta-Titanium, NiTi, Monel, Aluminium, Ανοξείδωτος χάλυβας, Μαγνήσιο και Βηρύλλιο. Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων, για τα χαρακτηριστικά μεγέθη έχουν χρησιμοποιηθεί τιμές από το <https://www.matweb.com/>, του μετρικού συστήματος, τα οποία αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες.

Μηχανικές Ιδιότητες Υλικών

Physical Properties	Metric
Density	4.24 - 5.06 g/cc
Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	290 - 485
Hardness, Knoop	315 - 535
Hardness, Rockwell C	30.0 - 50.0
Hardness, Vickers	240 - 511
Tensile Strength, Ultimate	700 - 1730 MPa
Tensile Strength, Yield	290 - 1520 MPa
Elongation at Break	0.000 - 29.0 %
Reduction of Area	6.00 - 83.2 %
Modulus of Elasticity	63.0 - 186 GPa
Compressive Yield Strength	800 - 1370 MPa
Compressive Modulus	97.2 - 112 GPa
Notched Tensile Strength	580 - 1600 MPa
Ultimate Bearing Strength	1300 - 2270 MPa
Bearing Yield Strength	1270 - 1910 MPa
Poissons Ratio	0.300 - 0.360
Fatigue Strength	120 - 1140 MPa
Fracture Toughness	31.0 - 160 MPa-m ^{1/2}
Shear Modulus	27.0 - 45.9 GPa
Shear Strength	538 - 793 MPa
Charpy Impact	8.00 - 30.0 J
Charpy Impact, Notched	25.0 - 59.0 J/cm ²
Bend Radius, Minimum	2.00 - 4.50 t

Εικόνα 30. Beta-Titanium (Πηγή: <https://www.matweb.com/>)

Physical Properties	Metric
Density	6.45 g/cc
Mechanical Properties	Metric
Tensile Strength, Ultimate	754 - 980 MPa
Tensile Strength, Yield	560 MPa
Elongation at Break	15.5 %
Modulus of Elasticity	75.0 GPa
Poissons Ratio	0.30
Shear Modulus	28.8 GPa
Electrical Properties	Metric
Electrical Resistivity	0.0000820 ohm-cm
Magnetic Susceptibility	0.0000038
Thermal Properties	Metric
Specific Heat Capacity	0.320 J/g-°C
Thermal Conductivity	10.0 W/m-K
Melting Point	1240 - 1310 °C
Solidus	1240 °C
Liquidus	1310 °C
Component Elements Properties	Metric
Nickel, Ni	55 %
Titanium, Ti	45 %

Εικόνα 31. Ni-Ti (Πηγή: <https://www.matweb.com/>)

Physical Properties	Metric
Density	8.91 g/cc

Mechanical Properties	Metric
Tensile Strength at Break	483 MPa
	655 MPa
	758 MPa
Tensile Strength, Yield	172 MPa
	517 MPa
	689 MPa
Modulus of Elasticity	169 GPa
Poissons Ratio	0.295
Shear Modulus	65.0 GPa

Εικόνα 32. Monel(Πηγή: <https://www.matweb.com/>)

Physical Properties	Metric
Density	3.96 g/cc
Water Absorption	0.00 %
a Lattice Constant	4.7591 Å
c Lattice Constant	12.9894 Å
Formula Units/Cell (Z)	6
Molecular Weight	101.961 g/mol
Weibull Modulus	>= 10

Chemical Properties	Metric
Molar Volume	25.575 cc/mol

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Knoop	1700 - 2200
Hardness, Vickers	1365
Vickers Microhardness	2085
Hardness, Mohs	9.0
Abrasive Hardness	1000
Drilling Hardness	189000
Tensile Strength, Ultimate	300 MPa
Modulus of Elasticity	370 GPa
Flexural Strength	400 MPa
Compressive Strength	3000 MPa
	1900 MPa
	@Temperature 1000 °C
Poissons Ratio	0.22
Fracture Toughness	4.00 MPa-m ^{1/2}
Shear Modulus	150 GPa

Εικόνα 32. Αλουμίνιο (Πηγή: <https://www.matweb.com/>)

Physical Properties	Metric
Density	7.80 g/cc

Mechanical Properties	Metric
Tensile Strength, Ultimate	965 MPa
	1370 MPa
Tensile Strength, Yield	795 MPa
	1070 MPa
Elongation at Break	16 %
	19 %
Reduction of Area	55 %
	57 %
Modulus of Elasticity	200 GPa

Εικόνα 33. Ανοξειδωτος χάλυβας (Πηγή: <https://www.matweb.com/>)

Physical Properties	Metric
Density	2.30 g/cc
Water Absorption	3.0 %

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Mohs	7.5
Tensile Strength, Ultimate	40.0 MPa
Modulus of Elasticity	125 GPa
Flexural Strength	90.0 MPa
Compressive Strength	300 MPa
Poissons Ratio	0.26
Shear Modulus	50.0 GPa

Εικόνα 34. Μαγνήσιο (Πηγή: <https://www.matweb.com/>)

Physical Properties	Metric
Density	2.85 g/cc
Water Absorption	0.00 %
Grain Size	15 μm

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Rockwell HR45N	60
Tensile Strength, Ultimate	152 MPa
Modulus of Elasticity	345 GPa
Flexural Strength	221 MPa
Compressive Strength	1550 MPa
Poissons Ratio	0.26
Fracture Toughness	4.00 MPa-m ^{1/2}
Shear Modulus	113 GPa

Εικόνα 35. Βηρύλλιο (Πηγή: <https://www.matweb.com/>)

ΥΛΙΚΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (ρ σε gr/cm^2)	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (E σε GPa)	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ (σ_f σε MPa)
Beta-Titanium	4,24	63	700
NiTi	6.45	75	754
Monel	8.8	169	550 ¹⁴
Aluminium	3.96	370	300
Ανοξείδωτος Χάλυβας	7,8	200	965
Μαγνήσιο	2,3	125	400
Βηρύλλιο	2.85	345	152

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά μεγέθη των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στις μετρήσεις

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διάφοροι υπολογισμοί των παραπάνω περιπτώσεων. Στις μετρήσεις θα χρησιμοποιηθεί ο Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά μεγέθη των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στις μετρήσεις. Όλοι οι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν, χρησιμοποιώντας το Κεφάλαιο 5.3.

- Για τη επιλογή υλικού με αντοχή σε καταπονήσεις κυλινδρικής και τετραγωνικής διατομής.

Για να επιλέξουμε το υλικό με τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες και να έχει αντοχή θα πρέπει να επιλέξουμε αυτό ή αυτά με την μέγιστη τιμή, χρησιμοποιώντας τον τύπο για τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών (Material Performance Index) $M = \frac{\sigma_f}{\rho}$, όπου σ_f η επιτρεπόμενη τάση και ρ η πυκνότητα.

Από τον τύπο προκύπτουν οι παρακάτω υπολογισμοί:

Beta-Titanium: $M = \frac{\sigma_f}{\rho} = 700/4,24 = 165,09$ ✓

NiTi: $M = \frac{\sigma_f}{\rho} = 754/6.45 = 116,89$ ✓

Monel: $M = \frac{\sigma_f}{\rho} = 550/8.8 = 62,5$

Aluminium: $M = \frac{\sigma_f}{\rho} = 300/3.96 = 75,75$

Ανοξείδωτος
Χάλυβας: $M = \frac{\sigma_f}{\rho} = 965/7.8 = 123,71$ ✓

¹⁴ Η τιμή υπάρχει στο <https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=NINC10>

Μαγνήσιο:	$M = \frac{\sigma_f}{\rho} = 400/2,3 = 173,91$ ✓
Βηρύλλιο	$M = \frac{\sigma_f}{\rho} = 152/2,85 = 53,33$

Πίνακας 2. Υπολογισμοί Material Performance Index $M = \frac{\sigma_f}{\rho}$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι το υλικό με τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες που θα δώσουν αντοχή στο σκελετό των γυαλιών είναι τα υλικά που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές. Πρώτο είναι το Μαγνήσιο (Mg), ακολουθεί το Beta-Titanium, ο Ανοξειδωτος Χάλυβας, Ni- Ti, το Αλουμίνιο, το Monel και τέλος το Βηρύλλιο.

Αποτύπωση αποτελεσμάτων στο διάγραμμα Ashby.

Για να αποτυπώσουμε τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών (Material Performance Index= M) στο διάγραμμα Ashby, θα πρέπει να σχεδιάσουμε την ευθεία M. Το διάγραμμα Ashby σ_f - ρ , αποτελείται από τον άξονα χ που εκφράζει τον λογάριθμο της πυκνότητας ($\log\rho$) και τον άξονα ψ , ο οποίος εκφράζει τον λογάριθμο της επιτρεπόμενης τάσης ($\log\sigma_f$). Η τοποθέτηση της ευθείας M πάνω στον άξονα ψ εκφράζεται λογαριθμικά από την σχέση:

$$\log M = \log \sigma_f - \log \rho = C$$

Για το M έχουμε: $\log \sigma_f = (1/1)\log \rho + C$

Η διακεκομμένη $\frac{\sigma_f}{\rho}$ ανεβαίνει ανά διάστημα κατά $\log \rho$.

Για τα υλικά μου και για $\log \rho$, ισχύουν οι παρακάτω τιμές.

ΥΛΙΚΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (ρ σε gr/cm^2)	$\log \rho$
Beta-Titanium	4,24	0,628
NiTi	6.45	0,809
Monel	8.8	0,94
Aluminium	3.96	0,59
Ανοξειδωτος Χάλυβας	7,8	0,89
Μαγνήσιο	2,3	0,36
Βηρύλλιο	2.85	0,45

Πίνακας 3. Πίνακας υλικών $\log \rho$

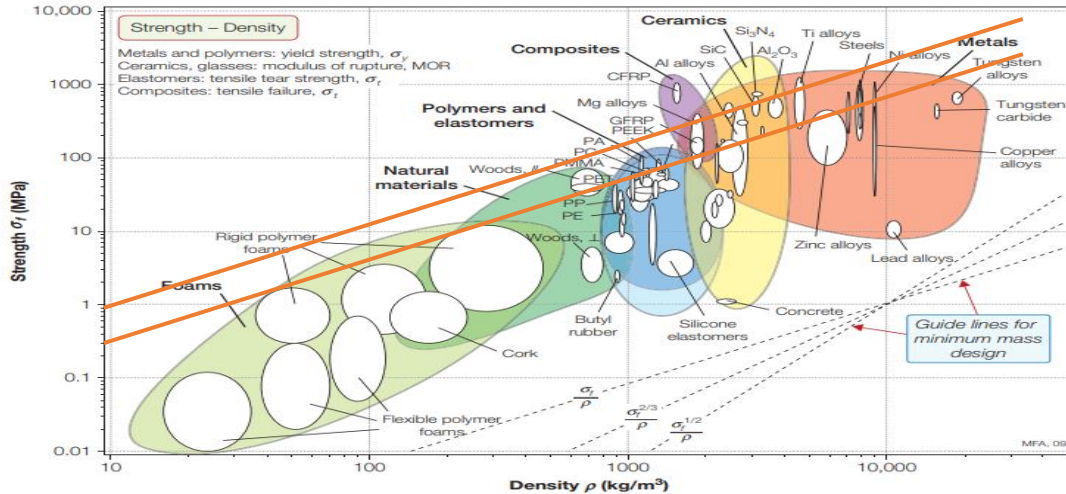


Figure 8. Διάγραμμα σ_f - ρ , επιλογή υλικών από το διάγραμμα Ashby

(Κατασκευή εμού του ίδιου, με κύριο διάγραμμα από “Chart created using CES EduPack 2019, ANSYS Granta © 2020 Granta Design”)

Από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι τα υλικά τα οποία βρίσκονται κοντά στην ευθεία M που εκφράζει της μηχανικές ιδιότητες βρίσκονται κοντά στο ζητούμενο υλικό. Από τα συγκρίσιμα υλικά το Μαγνήσιο και τα υλικά που βρίσκονται στο Titanium Alloys υπερτερούν, εφόσον βρίσκονται πάνω από την γραμμή M της γραφικής παράστασης.

➤ Για άκαμπτη δοκό σε εφελκυσμό (Stiff Beam in Tension)

Για την εύρεση άκαμπτου υλικού σε καταπόνηση εφελκυσμού, θα πρέπει να επιλέξουμε το υλικό που παρουσιάζει τον μεγαλύτερο λόγο E/ρ . Από τον πίνακα 1, προκύπτουν οι παρακάτω υπολογισμοί.

Beta-Titanium: $M = \frac{E}{\rho} = 63/4,24 = 14,85$

NiTi: $M = \frac{E}{\rho} = 75/6.45 = 11,62$

Monel: $M = \frac{E}{\rho} = 169/8.8 = 19,20$

Aluminium: $M = \frac{E}{\rho} = 370/3.96 = 93,43$ ✓

Ανοξείδωτος Χάλυβας: $M = \frac{E}{\rho} = 200/7.8 = 25,64$

Μαγνήσιο: $M = \frac{E}{\rho} = 125/2,3 = 54,34$ ✓

Βηρύλλιο $M = \frac{E}{\rho} = 345/2,85 = 121,05$ ✓

Πίνακας 4. Υπολογισμοί Material Index $M = \frac{E}{\rho}$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι τα υλικά που έχουν την μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό είναι το Βηρύλλιο, Αλουμίνιο και Μαγνήσιο.

➤ Για άκαμπτη δοκό σε κάμψη (Stiff Beam in Deflection)

Για την επιλογή υλικών με αντοχή σε κάμψη θα πρέπει να επιλέξουμε αυτό που έχει μεγαλύτερο λόγο $\frac{E^{1/2}}{\rho}$, δηλαδή τις μέγιστες μηχανικές ιδιότητες (Materials Index).

Από τον πίνακα 1 προκύπτουν οι παρακάτω υπολογισμοί:

Beta-Titanium:	$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} = 63^{1/2}/4,24 = 7,93/4,24 = 1.87$
NiTi:	$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} = 75^{1/2}/6.45 = 8.66/6.45 = 1.34$
Monel:	$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} = 169^{1/2}/8.8 = 13/8.8 = 1.47$
Aluminium:	$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} = 370^{1/2}/3.96 = 19.23/3.96 = 4.85$ ✓
Ανοξείδωτος Χάλυβας:	$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} = 200^{1/2}/7.8 = 14.14/7.8 = 1.81$
Μαγνήσιο:	$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} = 125^{1/2}/2,3 = 11.18/2.3 = 4.86$ ✓
Βηρύλλιο	$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} = 345^{1/2}/2,85 = 18.57/2.85 = 6.51$ ✓

Πίνακας 5. Υπολογισμοί Material Index $M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς φαίνεται ότι τα υλικά που παρουσιάζουν αντοχή σε κάμψη είναι το Βηρύλλιο, το Μαγνήσιο και το Αλουμίνιο, ενώ ακολουθούν το Beta- Titanium, ο Ανοξείδωτος Χάλυβας, το Monel και το NiTi, βέβαια το γεγονός ότι επιλέγουμε υλικά με μεγάλη αντοχή σε κάμψη θα αυξήσουν το κόστος.

Διάγραμμα Ashby- Καταπόνηση σε κάμψη και εφελκυσμό

Το παρακάτω διάγραμμα επιλογής υλικού είναι μια γραφική παράσταση του μέτρου ελαστικότητας E (συντελεστής Young) έναντι της πυκνότητας ρ. Χρησιμοποιούνται λογαριθμικές κλίμακες καταγραφής δεδομένου ότι και οι δύο ιδιότητες εκτείνονται σε αρκετές τάξεις μεγέθους.

Για να δημιουργήσουμε το διάγραμμα Ashby, θα πρέπει πάλι να πάρουμε τους λογάριθμους της γραφικής παράστασης, όπου σε αυτή την περίπτωση είναι $\log E$ για τον άξονα ψ και $\log \rho$ για τον άξονα χ.

Ισχύει η εξίσωση : $\text{Log}E = 2\log\rho + 2\log C$, όπου $C = \frac{E^{1/2}}{\rho}$ και σχηματίζει μία ευθεία γραμμή από το $2\log\rho$, ενώ το $2\log C$, δίνει το διάστημα πάνω στον άξονα ψ από το 0, όπου πρέπει να χαράξουμε την ευθεία.

Από τις παραπάνω τιμές, και χρησιμοποιώντας ως C την τιμή του Βηρυλλίου, $C = 6,51$, για το διάστημα από το μηδέν (0) μέχρι το σημείο πάνω στον άξονα ψ είναι:

$$2\log C = 2\log 6.51 = 2 \times 0.81 = 1.61$$

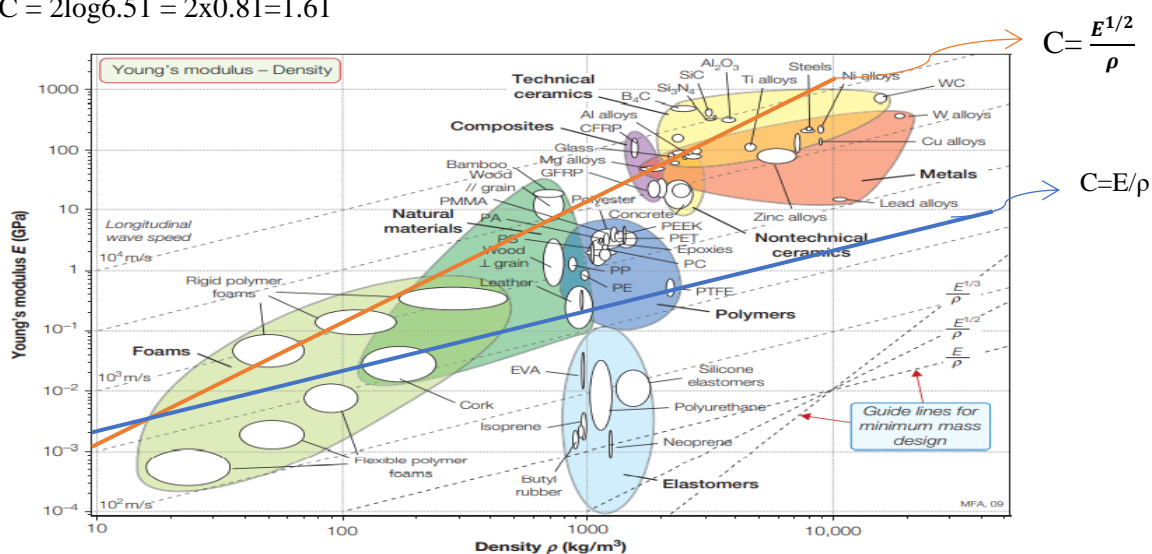


Figure 9. Διάγραμμα E-ρ (Κατασκευή εμού του ίδιου, με κύριο διάγραμμα από “Chart created using CES EduPack 2019, ANSYS Granta © 2020 Granta Design”)

Αντίστοιχα για καταπόνηση σε εφελκυσμό και για $C = E/\rho$ και σύμφωνα με τις μετρήσεις για άκαμπτη δοκό σε εφελκυσμό και χρησιμοποιώντας την τιμή του Βηρυλλίου που είναι και η μέγιστη τιμή έχουμε: $2\log E/\rho = 2 \times \log 121,05 = 2 \times 2,08 = 4,16$. Με τον ίδιο τρόπο, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω φέρω ευθεία γραμμή στο διάγραμμα σύμφωνα με την παραπάνω τιμή.

Από το διάγραμμα, συμπεραίνουμε ότι τα υλικά τα οποία είναι πάνω από την πορτοκαλί γραμμή όπως το Μαγνήσιο, το Βηρύλλιο, το Αλουμίνιο φέρουν αντοχή σε κάμψη. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να λάβουμε υπόψη και την πυκνότητα. Τα υλικά που βρίσκονται πάνω από την πορτοκαλί γραμμή και με μικρή πυκνότητα

προτιμούνται. Δηλαδή σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά το Μαγνήσιο είναι αυτό που έχει την μικρότερη πυκνότητα και βρίσκεται ένα μέρος του πάνω από την γραμμή.

5.5. Διάβρωση

Σημαντικός παράγοντας αποτελεί η διάβρωση κάθε φορά που διαφορετικά μέταλλα τοποθετούνται σε έναν ηλεκτρολύτη σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Η γαλβανική διάβρωση, που προκύπτει από την επαφή ενός μετάλλου με άλλο αγώγιμο υλικό σε ένα διαβρωτικό μέσο, είναι ένας από τους πιο συνηθισμένους τύπους διάβρωσης (Zhang, 2011).

Η γαλβανική διάβρωση τυπικά προσβάλλει περιοχές διασταύρωσης ανόμοιων μετάλλων και συμβαίνει όταν πληρούνται οι τρεις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Συνθήκη 1: Τα μέταλλα πρέπει να έχουν γαλβανική ασυμβατότητα που σημαίνει διαφορά τάσης.
- Συνθήκη 2: Πρέπει να υπάρχει ηλεκτρολύτης, όπως είναι για παράδειγμα το νερό.
- Συνθήκη 3: Πρέπει να υπάρχει μια ηλεκτρική αγώγιμη διαδρομή μεταξύ των μετάλλων.

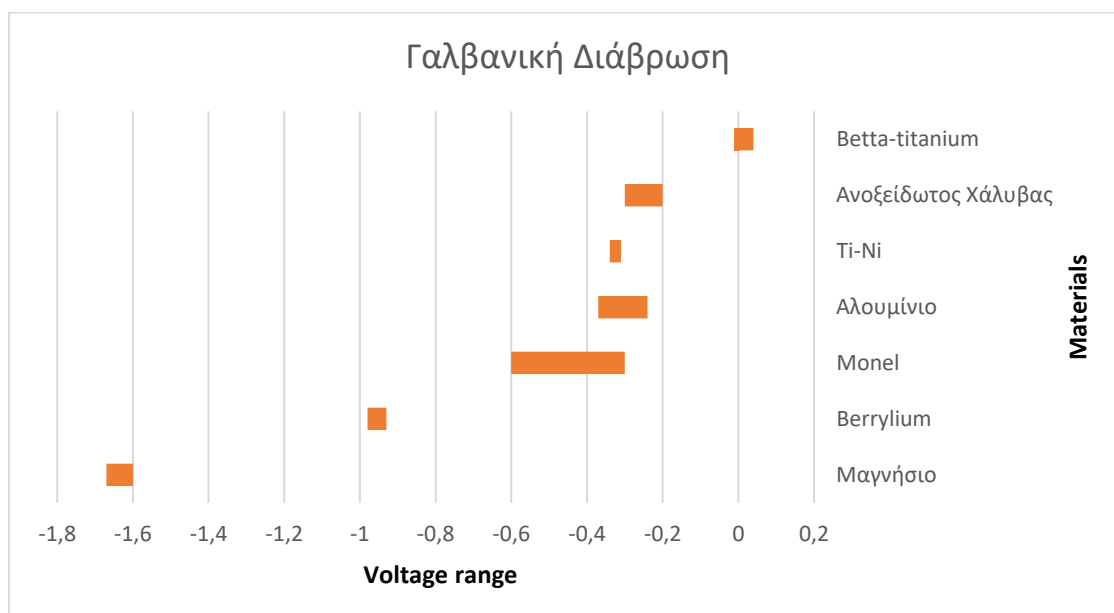


Figure 10. Γράφημα διάβρωσης

Η τάση (Voltage range) του κάθε υλικού είναι καλύτερη όταν η τιμή του πλησιάζει στο μηδέν. Άρα, σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 12) το Beta-

titanium είναι το καλύτερο υλικό ως προς τη διάβρωση και στην συνέχεια ακολουθούν κατά σειρά ο Ανοξειδωτος Χάλυβας, το Αλουμίνιο, το Ti-Ni, το Monel, το Beryllium και τέλος το Μαγνήσιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Συμπεράσματα σύγκρισης υλικών

Σύμφωνα με τα παρακάτω στοιχεία που υπάρχουν στον Πίνακα 5 και από το διάγραμμα συνολικής σύγκρισης των υλικών, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Το υλικό που έχει τις καλύτερες ιδιότητες ως προς την ευκαμπτότητα και την κάμψη είναι το Beryllium, του οποίου όμως η τιμή ως προς την διάβρωση είναι σε χαμηλότερα επίπεδα από τα άλλα υλικά, με εξαίρεση την τιμή της διάβρωσης του Μαγνησίου.
2. Η τιμή της διάβρωσης του Beta-Titanium είναι απόλυτα ικανοποιητική σε αντίθεση με τις τιμές του ως προς την ευκαμπτότητα και την κάμψη.
3. Σχετικά με τον Ανοξειδωτο Χάλυβα και το Αλουμίνιο, οι τιμές τους ως προς την διάβρωση είναι πολύ ικανοποιητικές. Αντίθετα, οι τιμές τους ως προς την αντοχή και την κάμψη δεν είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα.
4. Το Ni-Ti και το Monel έχουν αρκετά καλές τιμές ως προς την διάβρωση, όμως η ευκαμπτότητά τους είναι σε χαμηλά επίπεδα. Η τιμή της κάμψης του Ti-Ni είναι σε μέτρια επίπεδα, ενώ του Monel σε χαμηλά.
5. Οι τιμές της αντοχής του Μαγνησίου είναι άριστες ενώ σε κάμψη μέτριες και η τιμή της διάβρωσής του δεν είναι καθόλου ικανοποιητική.
6. Συγκρίνοντας συνολικά τα παραπάνω υλικά, το Beryllium έχει τις πιο ικανοποιητικές τιμές ως προς την ευκαμπτότητα και την κάμψη, ενώ το Beta-titanium έχει τις πιο ικανοποιητικές τιμές ως προς την διάβρωση.

Beta-	Ni-	Monel	Αλουμίνιο	Ανοξειδωτος	Μαγνήσιο	Beryllium
				Χάλυβας		

titanium Ti							
ΕΥΚΑΜΠΤΟΤΗΤΑ	35%	26%	27%	49%	29%	59%	100%
ΚΑΜΨΗ	22%	41%	19%	32%	35%	42%	100%
ΔΙΑΒΡΩΣΗ	100%	79%	72%	81%	96%	0%	41%
ΤΙΜΗ	100%	25%	44%	3%	4%	4%	17%

Πίνακας 6.Συνολική σύγκριση υλικών

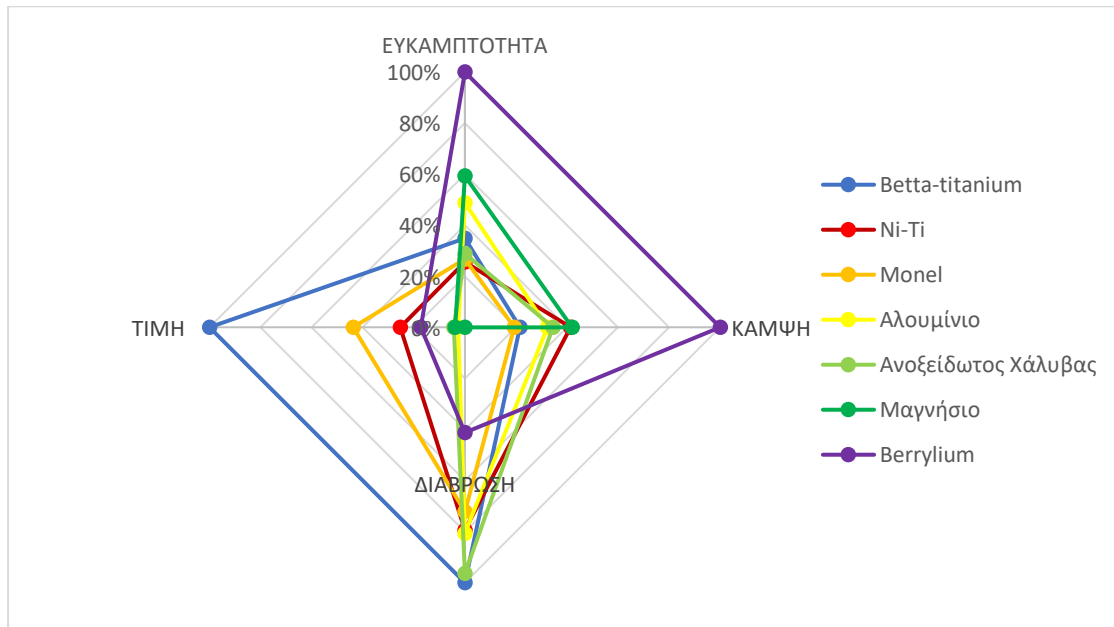


Figure 11 Διάγραμμα συνολικής σύγκρισης υλικών.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας την μεταπτυχιακή εργασία γίνεται κατανοητό ότι για την σύγκριση υλικών πρέπει να συμπεριλάβουμε πολλούς παράγοντες είτε των ίδιων των υλικών όπως οι μηχανικές τους ιδιότητες είτε των καταπονήσεων που δέχονται, είτε τις συνθήκες περιβάλλοντος. Επίσης, σημαντικό είναι η πυκνότητα του υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε αλλά και το αν θέλουμε να ελαχιστοποιηθούν οι μηχανικές τους ιδιότητες ή να μεγιστοποιηθούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Κασσιμάτη Σταματίνα (2020), *Σχεδίαση και ανάλυση πρωτότυπου σκελετού “γυαλιών ηλίου” για φθινοπωρινές / χειμερινές καιρικές συνθήκες*, Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Κάβο Σ. & Μάγιογλου Τ., (2015), *Νέες εξελίξεις στα υλικά οφθαλμικών φακών και σκελετών οράσεως και ηλίου*, Τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας, Αίγιο

Νάκου Κ. (2016), *Μαζική Παραμετροποίηση Παιδικών Γυαλιών Οράσεως*, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Πανεπιστημίου: Πειραιώς

Ξενόγλωσση

Ahmad, Z. (2006). CHAPTER 9 - SELECTION OF MATERIALS FOR CORROSIVE ENVIRONMENT, Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control, p.479-549.

Akahori, T., Niinomi, M., Toda, H., Yamauchi, K., Fukui, H., Ogawa, M. (2005). Mechanical properties and deformation behavior of β -type titanium alloy (TNTZ) drawn wires, J. Jpn. Inst. Metals 69, 530–537.

Ashby, M. F.,(1989). Overview No. 80: On the engineering properties of materials. *Acta metallurgica*, 37(5), 1273-1293.

Ashby, M. F.,(2011), *Materials Selection in Mechanical Design*, Elsevier

Braun, F., Verjus, C., Solà, J., Marienfeld, M., Funke-Chambour, M., Krauss, J., Guler, S. A., et al. (2020). Evaluation of a Novel Ear Pulse Oximeter: Towards Automated Oxygen Titration in Eyeglass Frames. *Sensors*, 20(11), 3301.

Buehler, W. J. (1969). 55-Nitinol unique wire alloy with a memory. *Wire Journal*, 2, 41-49.

Buehler, W. J., & Wang, F. E. (1968). A summary of recent research on the nitinol alloys and their potential application in ocean engineering. *Ocean Engineering*, 1(1), 105-120.

- Buehler, W. J., Gilfrich, J. V., & Wiley, R. C. (1963). Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *Journal of applied physics*, 34(5), 1475-1477.
- Corson, R. (1976). *Fashions in Eyeglasses*. Arranged With Peter Owen Ltd., UNI Agency Inc., Tokyo. ISBN 4-89694-431-3 C0039.
- Chotiprayanakul, P., Liu, D. K., & Dissanayake, G. (2012). Human–robot–environment interaction interface for robotic grit-blasting of complex steel bridges. *Automation in Construction*, 27, 11-23.
- Dickman Jr, A. (2007). The science of scratches—Polishing and buffing mechanical surface preparation. *Metal Finishing*, 105(10), 13-29.
- Duerig, T. W., & Zadno, R. (1990). An engineer's perspective of pseudoelasticity. *Engineering aspects of shape memory alloys*, 369-393.
- Furuta, T., Kuramoto, S., Morris Jr., J.W., Nagasako, N., Withey, E., Chrzan, D.C. (2013). The mechanism of strength and deformation in Gum Metal, *Scripta Mater*, 68: 767–772.
- Gordin, D. M., Ion, R., Vasilescu, C., Drob, S.I., Cimpean, A., Gloriant, T. (2014). Potentiality of the “Gum Metal” titanium-based alloy for biomedical applications, *Mater. Sci. Eng. C* 44: 362–370.
- Hong, J., Wang, D., & Guan, Y. (2019). Synergistic integrated design of an electrochemical mechanical polishing end-effector for robotic polishing applications. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 55: 65-75.
- Huang, T., Li, C., Wang, Z., Liu, Y., & Chen, G. (2016, July). A flexible system of complex surface polishing based on the analysis of the contact force and path research. In *2016 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)* (pp. 289-293). IEEE.
- Inoue A., *Advanced Technology and Application of Nanometals*, CMC Publishing CO., LTD, ISBN: 978-4-7813-0033-7, 2003. C3043.

- Khakpour, H., Birglenl, L., Tahan, A., & Paquet, F. (2014, March). Experimental study on abrasive waterjet polishing of hydraulic turbine blades. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 22, No. 5, p. 052016). IOP Publishing.
- Kulekci, M. K. (2008). Magnesium and its alloys applications in automotive industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(9-10), 851-865.
- Kuramoto, S., Furuta, T., Hwang, J., Nishino, K., Saito, T. (2006). Elastic properties of Gum Metal, *Mater. Sci. Eng. A* 442, 454–457.
- Kuroda, D., Niinomi, M., Fukui, H., Suzuki, A., Hasegawa, J. (2000). Heat treatment processes and mechanical properties of new beta-type biomedical Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr alloy, *ISIJ Tetsu-to-Hagane* 86: 610–616.
- Liao, L., & Xi, F. (2005, August). A linearized model for control of automated polishing process. In *Proceedings of 2005 IEEE Conference on Control Applications, 2005. CCA 2005.* (pp. 986-991). IEEE.
- Lloyd, D. J. (1994). Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites. *International materials reviews*, 39(1), 1-23.
- Mengelkoch, L. J., Martin, D., & Lawler, J. (1994). A review of the principles of pulse oximetry and accuracy of pulse oximeter estimates during exercise. *Physical therapy*, 74(1), 40-49.
- Mohsin, I., He, K., Wenliang, Z., & Li, Z. (2020, September). Robotic Polishing of the Thin Plate Eyeglasses frame Under Effective Path Planning and Stable Force. In *2020 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR)* (pp. 540-543). IEEE.
- Nakahata, T. (2011). Industrial processing of titanium–nickel (Ti–Ni) shape memory alloys (SMAs) to achieve key properties. In *Shape Memory and Superelastic Alloys* (pp. 53-62). Woodhead Publishing.
- Nakasuji, K., Okada, M. New high strength titanium alloy Ti10%Zr for spectacle frames, *Mater. Sci. Eng. A* 213 (1996) 162–165.

Rohatgi, P. (1991). Cast aluminum-matrix composites for automotive applications. *Jom*, 43(4), 10-15.

Schaeffer, M. R., Ryerson, C. J., Ramsook, A. H., Molgat-Seon, Y., Wilkie, S. S., Dhillon, S. S., ... & Guenette, J. A. (2017). Effects of hyperoxia on dyspnoea and exercise endurance in fibrotic interstitial lung disease. *European Respiratory Journal*, 49(5).

Shercliff, H.R., Ashby, M.F. (2016). Elastic Structures in Design. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.

Shop, M. M., (2015). Robotic Polishing of Turbine Engine Blades: Testing explores an airfoil finishing alternative to loose-abrasive polishing.

Singh, D., Agusti, A., Anzueto, A., Barnes, P. J., Bourbeau, J., Celli, B. R., ... & Vogelmeier, C. (2019). Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive lung disease: the GOLD science committee report 2019. *European Respiratory Journal*, 53(5).

Soylak, Mustafa. (2020). A novel mechatronic system development for robotic eyeglass frames polishing.

Stöckel, D. (1989). Industrial applications of nickel-titanium shape memory alloys. In *European Symposium on Martensitic Transformations* (pp. 223-230). EDP Sciences.

Tada, H., Yamamoto, T., Wang, X., Kato, H. (2013). Non-monotonic aging temperature dependence of superelasticity of Ti₇₂Nb₁₅Zr₁₀Al₃ quaternary alloys, *Mater. Trans.* 54: 1502–1509.

Tam, H. Y., Lui, O. C. H., & Mok, A. C. (1999). Robotic polishing of free-form surfaces using scanning paths. *Journal of Materials Processing Technology*, 95(1-3), 191-200.

Tobushi, H., Tanaka, K., Horikawa, H., Matsumoto, M. (2004). Shape Memory Materials and THEIR APPLICATIONS, CORONA Publishing CO., LTD, ISBN: 4-339-04572-1.

Tubielewicz-Michalczuk M. (2016). Application of titanium properties in civil engineering and architecture, *Eng. Mater*, 687: 220–227.

Zhang, X. G. (2011). Galvanic corrosion. *Uhlig's Corrosion Handbook*, 51, 123.

Ιστότοποι

<https://lenshop.gr/post/154-deite-7-symboyles-gia-to-pos-na-agorasete-gyalia>

https://issuu.com/daryl88/docs/spectacle_frame_materials_one_pdf

<https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=NINC10>

<https://www.youtube.com/watch?v=iNVmoSDoufk>

<https://www.grantadesign.com/education/students/charts/>

<https://www.weerg.com/guides/how-to-choose-the-right-material-for-your-product>

<https://www.warbyparker.com/learn/when-were-glasses-invented>

<https://www.eye-shop.gr/eye-shop/gr/info.asp>

www.grantadesign.com