

Χυτοσίδηροι(Cast Irons)

Κράματα Fe-C-Si [2-4%C , 0,5-3% Si,+Mn,S,P(μικρές ποσότητες)+κραματικά στοιχεία για τη βελτίωση της αντοχής στη φθορά)

Τήξη: 1000-1300 °C

Μορφοποίηση : Κυρίως με χύτευση λόγω των άριστων ιδιοτήτων χύτευσης που έχουν.

Άνθρακας: Βρίσκεται στο τήγμα υπό μορφή γραφίτη



[Σεμεντίτης μετασταθής φάση]

Si: Στοιχείο σταθεροποίησης του γραφίτη, μετατοπίζει το Ευτηκτικό σημείο σε μικρότερες περιεκτικότητες άνθρακα

$$IA = \%C + 1/3(\%Si)$$

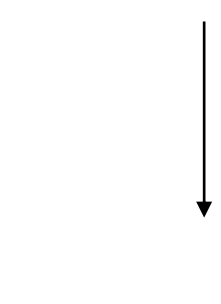
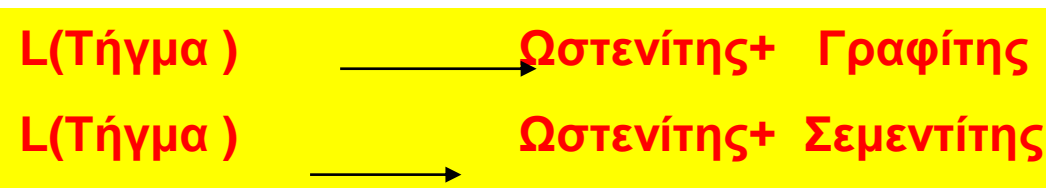
L(Τήγμα) → γ(ωστενίτης)+γραφίτης

**Μικρή ταχύτητα
ψύξης {Φαιός
χυτοσίδηρος}**

**Ενδιάμεση ταχύτητα
ψύξης [μίγμα λευκού
και φαιού
χυτοσιδήρου]**

**Μεγάλη ταχύτητα ψύξης
[Λευκός χυτοσίδηρος]**

Μικροκρυσταλλική δομή των χυτοσιδηρών



Πλήρης Ανόπτωση
Δομή φερριτική



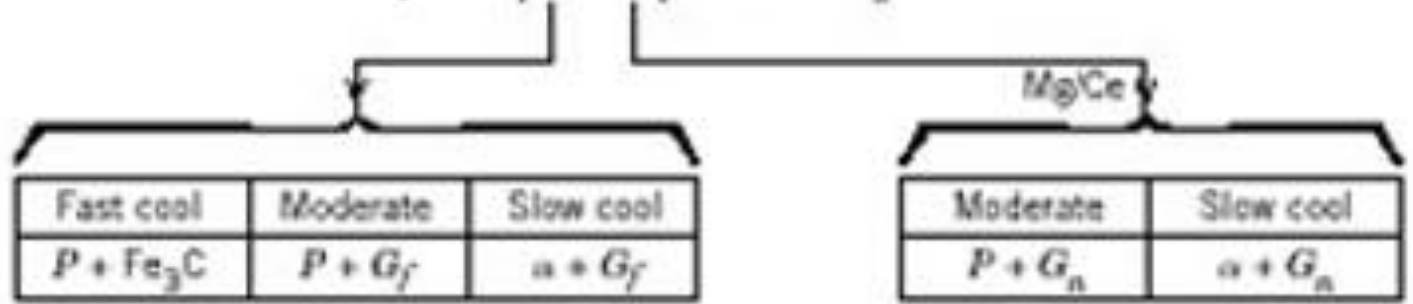
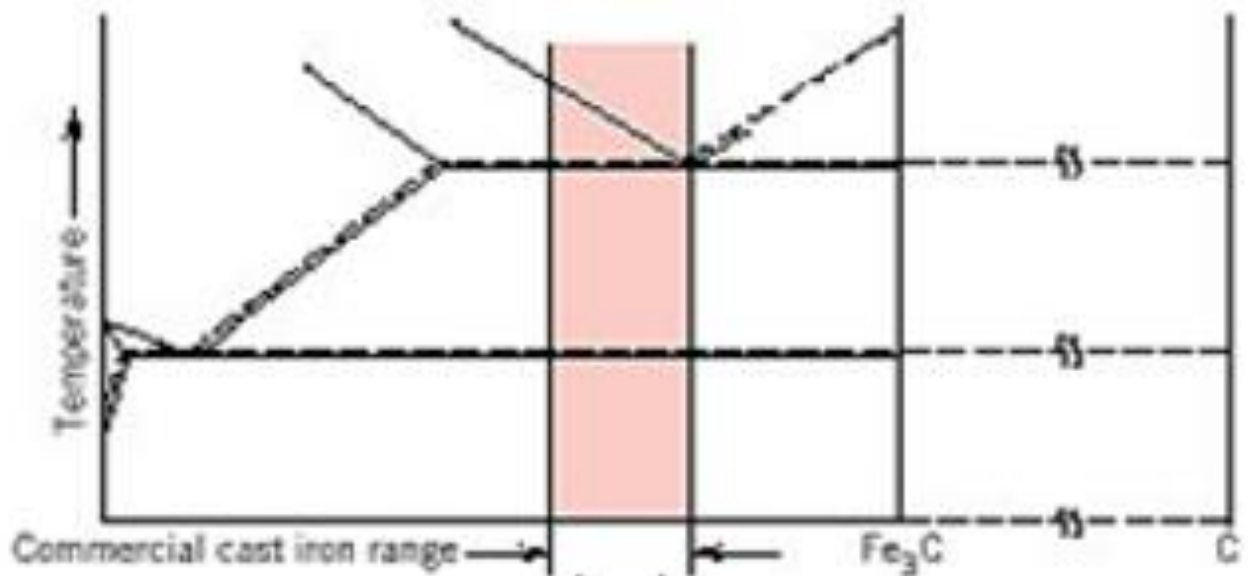
Εξομάλυνση
Δομή περλιτική



Βαφή μπαινιτική
Δομή μπαινιτική



Βαφή σε νερό
Δομή Μαρτενσιτική



White cast iron



Pearlitic gray cast iron



Ferritic gray cast iron



Pearlitic ductile cast iron

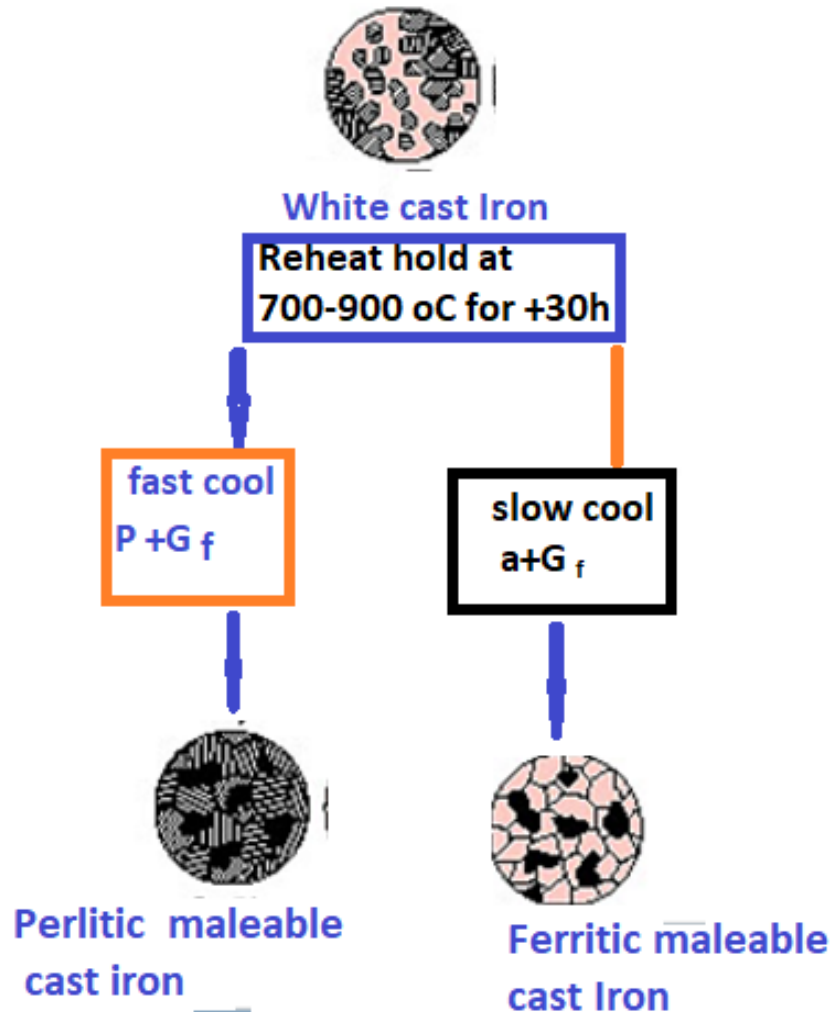


Ferritic ductile cast iron

Θερμική κατεργασία : Μαλακτοποίηση

✓ Παρατεταμένη θέρμανση 30hours στους 700-900 οC
απουσία αέρα

✓ Μετατρέπεται ο Λευκός χυτοσίδηρος σε Φαιό



Φαίος χυτοσίδηρος

C(2,5-4%) –Si(1-3%)

Δομή:Περλιτική ή φερριτική+

Νιφάδες γραφίτη(Flakes grafite)

Αντοχή Συμπίεσης υψηλή

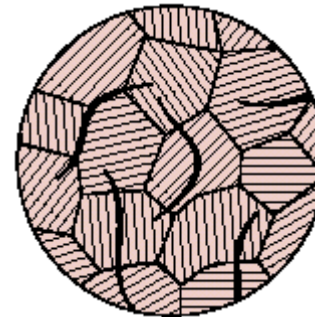
Ιδιότητες κοπής Εξαιρετικές

Απορρόφηση δονητικής
ενέργειας μεγάλη

Χαμηλή ολκιμότητα και αντοχή
εφελκυσμού

Εφαρμογές: βάσεις στήριξης
μηχανολογικών εργαλείων κ.α

Κόστος: πολύ χαμηλό



Όλκιμος ή κονδυλώδης χυτοσίδηρος

C(2,5-4%) –Si(1-3%) +προσθήκη ποσότητας Mg ή/και Ce

Δομή: Περλιτική ή φερριτική

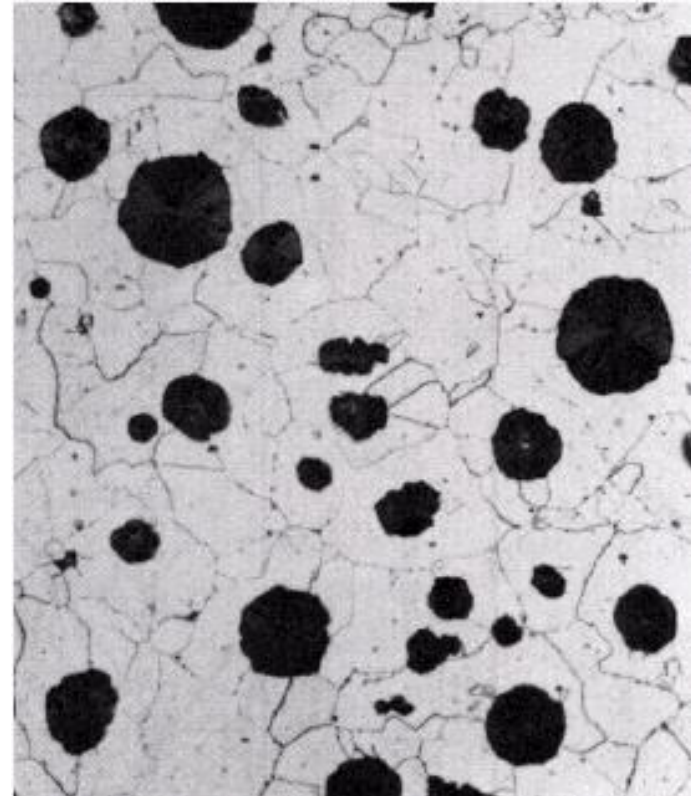
Γραφίτη υπό **μορφή σωματιδίων ή κονδυλωμάτων αντί νιφάδων**

Μηχανικές ιδιότητες ανάλογες των χαλύβων: $\sigma_{Ts}=380-480$ Mpa

Ολικιμότητα 10-20%

Απορρόφηση δονητικής ενέργειας μεγάλη

Εφαρμογές: βαλβίδες, σώματα αντλιών, στροφαλοφόροι άξονες, γκρανάζια και άλλα εξαρτήματα αυτοκινήτων και μηχανών. κ.α



Λευκός χυτοσίδηρος

2,5% C –Si(1,5%)

Δομή : Περλιτική ή
Μαρτενσιτική

+Σωματίδια σεμεντίτη

Επιφάνεια θραύσης : Λευκή
(λαμπερή)

Με προσθήκη: Cr,Ni,Mo

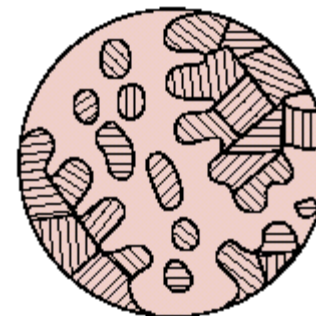
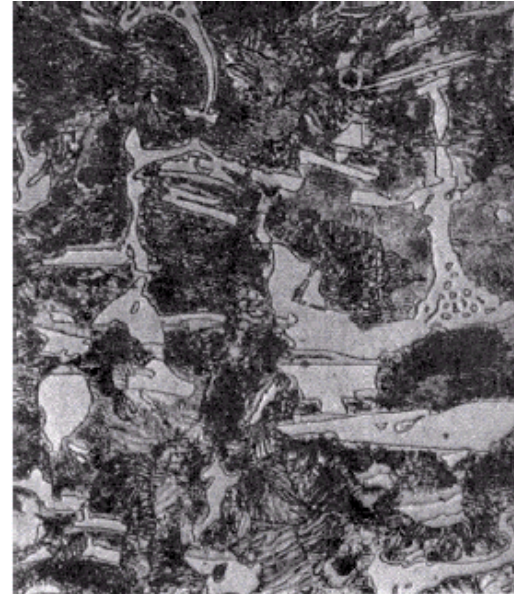
Αυξάνεται η σκληρότητα και η
αντοχή στην τριβή

Αντοχή: Υψηλή σκληρότητα

Και αντοχή στην επιφανειακή
φθορά.

Εφαρμογές: Επιφάνειες
ανθεκτικές στην φθορά π.χ

Μύλοι άλεσης κ.α



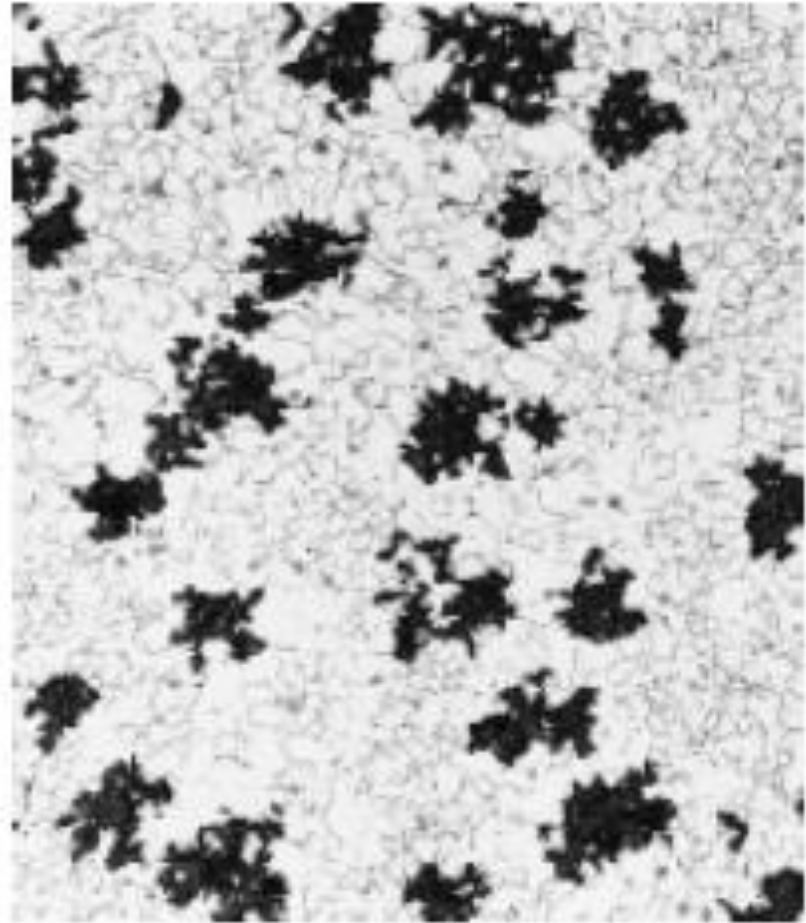
Μαλακτός Χυτοσίδηρος

Παρουσιάζει μεγαλύτερη πλαστικότητα από τον φαιό χυτοσίδηρο.

Δομή: ο γραφίτης με τη μορφή μικρών κόκκων σφαιρικού σχήματος που περιβάλλεται από φερρίτη ή περλίτη.

Μηχανικές ιδιότητες: Μεγαλύτερη αντοχή και πλαστικότητα από τον φαιό χυτοσίδηρο.

Εφαρμογές: βαλβίδες, σώματα αντλιών, άξονες, εργαλεία και άλλα εξαρτήματα



(d)

Μη σιδηρούχα κράματα

Ελαφρά μέταλλα

Μη Σιδηρούχα Μεταλλικά Υλικά

- Διάκριση των μεταλλικών υλικών σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα

- Χάλυβες-Χυτοσίδηροι = Υλικά γενικών και ειδικών εφαρμογών ->

- καλύπτουν >90% κβ των μεταλλικών υλικών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία

- Μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά -> Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου οι ιδιότητες των σιδηρούχων είναι ανεπαρκείς

- ✓ **Κυριότερα μειονεκτήματα των χαλύβων:**

- Χαμηλή αντοχή στη διάβρωση

- Υψηλή πυκνότητα

- Η αντοχή στην θερμοκρασία θα μπορούσε να είναι καλύτερη

- Χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα

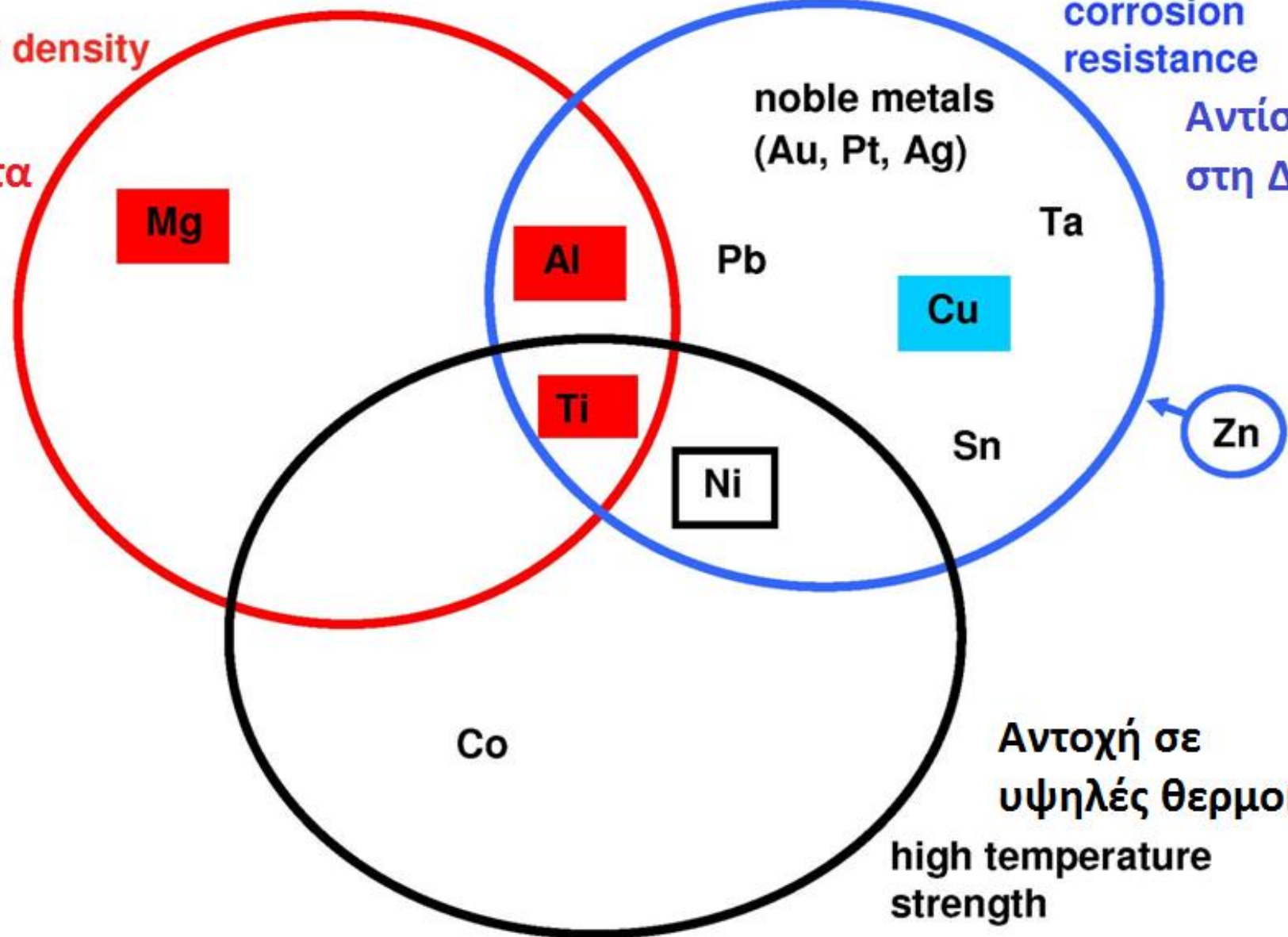
low density

Αή
ότητα

corrosion
resistance

Αντίσταση
στη Διάβρωση

noble metals
(Au, Pt, Ag)



Mg

Al

Pb

Cu

Ta

Ti

Ni

Sn

Zn

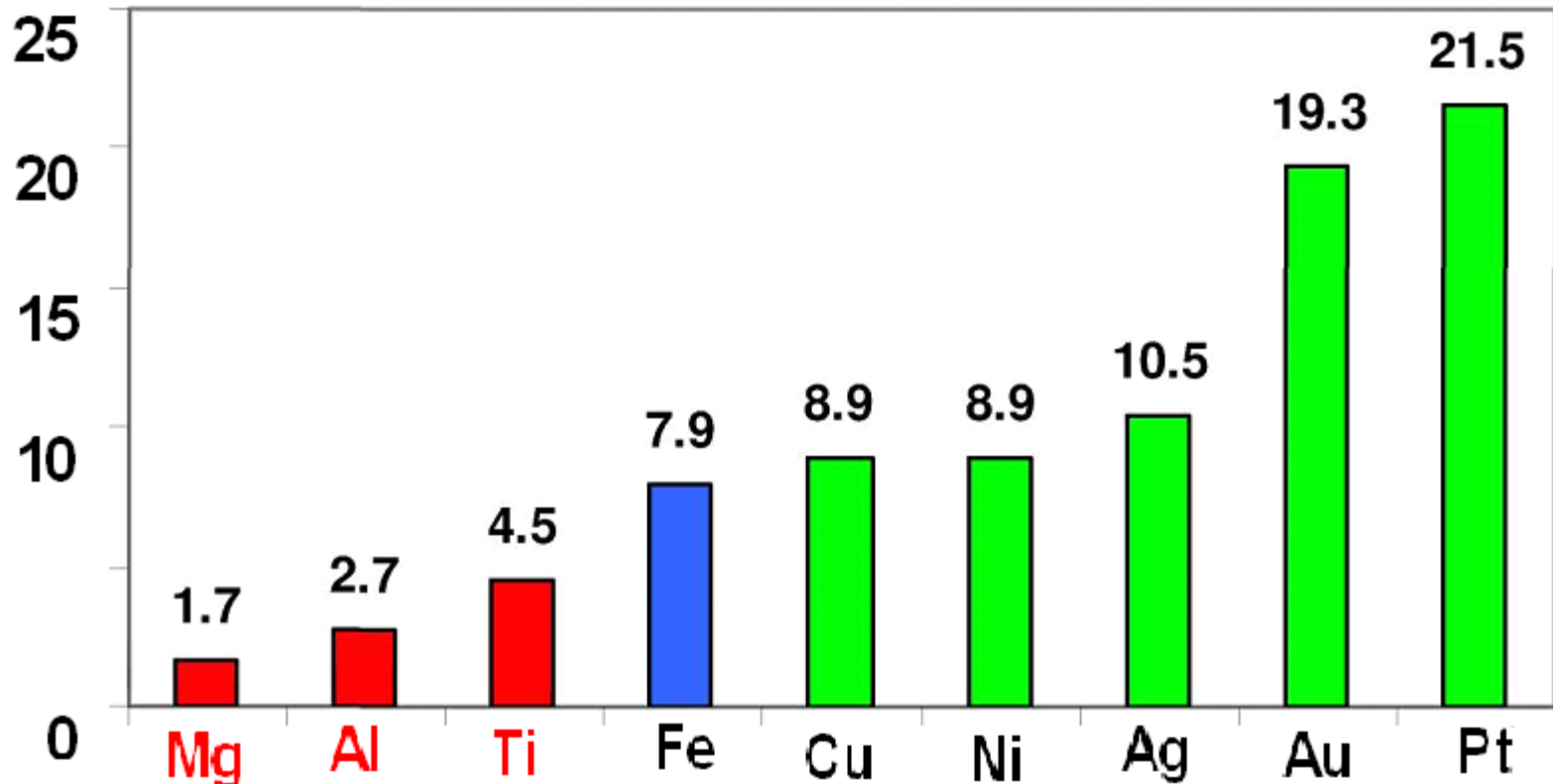
Co

Αντοχή σε
υψηλές θερμοκρασίες

high temperature
strength

ΕΛΑΦΡΑ ΜΕΤΑΛΛΑ: Mg, Ti, Al

Density (g/cm³)



Ερώτηση:

Χαμηλότερη πυκνότητα σημαίνει μικρότερη μάζα για ένα εξάρτημα με ίδια μηχανική συμπεριφορά?

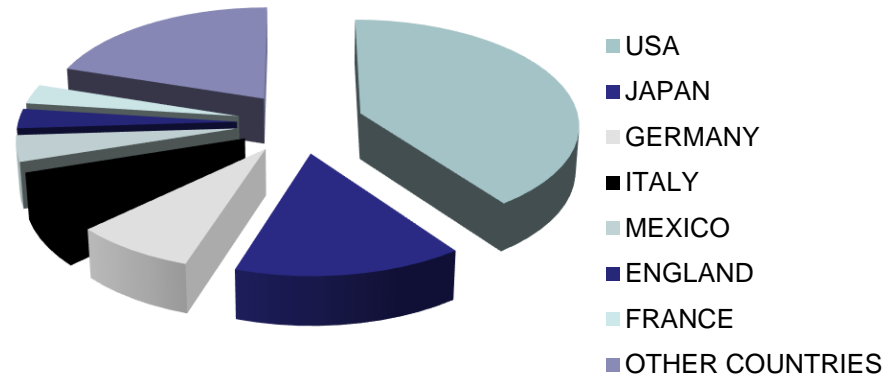
AL-Κράματα AL

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

- Χαμηλή πυκνότητα (2.7 g/cm³)
- Πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση
- οφείλεται στην παθητικότητα της επιφάνειας η οποία καλύπτεται με στρώμα οξειδίου, μπορεί να βελτιωθεί με ανοδείωση)
- Υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα
- Χαμηλό σημείο τήξεως: 660°C (του σιδήρου είναι 1535°C)
-> περιορίζει τη εφαρμογή του σε υψηλές θερμοκρασίες
- Κράματα:
έως 1.25% Mn ή 3.5% Mg για σκλήρυνση με σχηματισμός στερεού διαλύματος,
έως 4.5% Cu, 7% Zn or (3% Mg + 1 % Si) για σκλήρυνση με καθίζηση,
έως 0.5% Cr για ρύθμιση μεγέθους των κόκκων,
έως **17% Si**, 7% Cu, 10% Mg για χυτεύσιμα κράματα.

- Το μέτρο ελαστικότητας δεν είναι πολύ υψηλό ($E = 70 \text{ GPa}$)
- Όλκιμο (fcc κρυσταλλική δομή)
- Καλή μηχανική κατεργασιμότητα
- Τα κράματα είναι συγκολλησίμα (inert gas)
- Αντοχή κόπωσης χαμηλή, ιδιαίτερα τα κράματα που έχουν σκληρυνθεί με (κατακρήμνιση) καθίζηση
- Τα κράματα που έχουν σκληρυνθεί με (κατακρήμνιση) καθίζηση υποφέρουν από ρηγματώση τάσης διάβρωσης stress-corrosion cracking

% Παγκόσμια παραγωγή Αλουμινίου



Εφαρμογές:

- Αεροναυπηγική : Δομικά στοιχεία των αεροπλάνων, δεξαμενές καυσίμων κλπ
- Οικοδομικές εφαρμογές: Πανέλα, οροφές, παράθυρα ,πόρτες...κλπ
- Συσκευασία τροφίμων και ποτών: κουτιά αναψυκτικών, αλουμινόχαρτο...
- Μέσα μεταφοράς: μοτοποδήλατα ,μηχανές, εξαρτήματα αυτοκινήτων, σκελετός αυτοκινήτων...
- Ηλεκτρικές: e.g.καλώδια



- Το καθαρό αλουμίνιο έχει πολύ χαμηλή αντοχή παραμόρφωσης: 7-11 MPa ->Χρησιμοποιείται υπό μορφή κράματος σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές
- Κυριότερα κραματικά στοιχεία: Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Li...
- Τα κράματα διακρίνονται σε **κατεργάσιμα** και **χυτεύσιμα**
- Κατεργάσιμα :Χυτεύονται σε χελώνες και στη συνέχεια μορφοποιούνται με έλαση, διέλαση ,σφυρηλάτηση
- Χυτέσιμα : Χυτεύονται απευθείας στο τελικό τους σχήμα

Applications for aluminium alloys



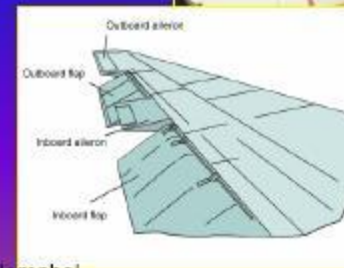
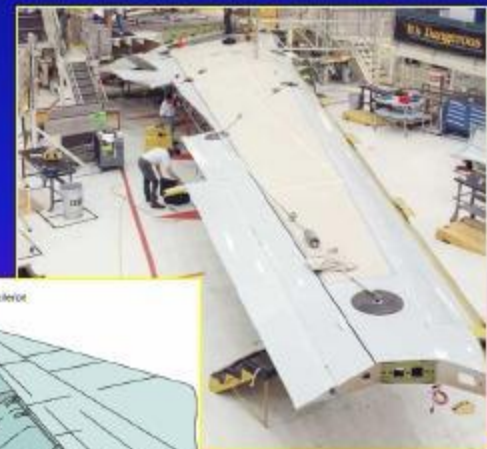
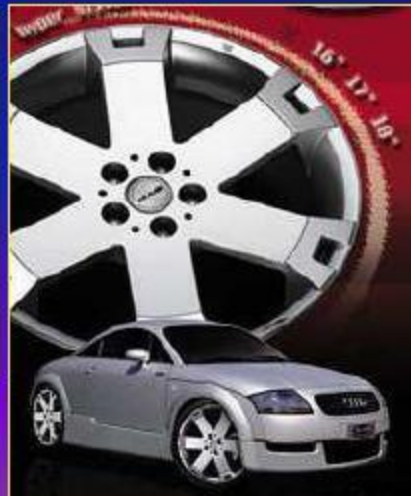
**Construction
& Equipment**



**Containers
& Packaging**



Automotives



Aerospace



Εφαρμογές στα αυτοκίνητα

Body Panels — 2009

	Steel	Plastic	Aluminum
Doors Πόρτες	80%	11%	10%
Front Fenders Φτερά εμπρός	70	15	10
Hood Καπό	60	15	19
Rear Deck Πίσω κατάστρωμα	65	10	15
Rear Quarter	80	10	10
Roof οροφή	80	10	10

Metal Matrix Composite



Adapted : from Columbia Basin college

Metal Matrix Composite Carbon Fiber



Adapted : from Columbia Basin college

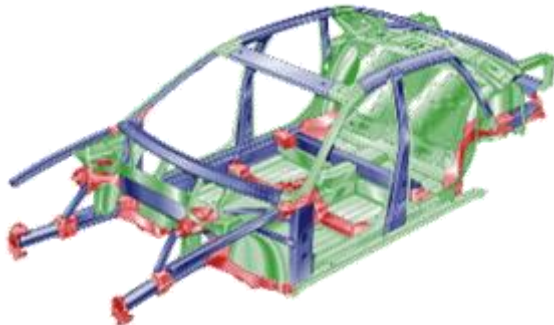
Audi A2



Adapted : from Columbia Basin college

Joining Technology Aluminium Car Body

Audi A8 (D2)



Joining Technology

1100 Selfpierce rivets
70 m MIG-Welding
500 Spot-Welding
178 Clinchpoints

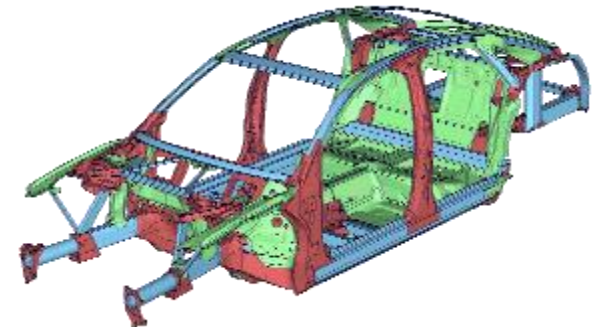
Audi A2 (W10)



Joining Technology

1800 Selfpierce rivets
20 m MIG-Welding
30 m Laser-Welding

Audi A8 (D3)

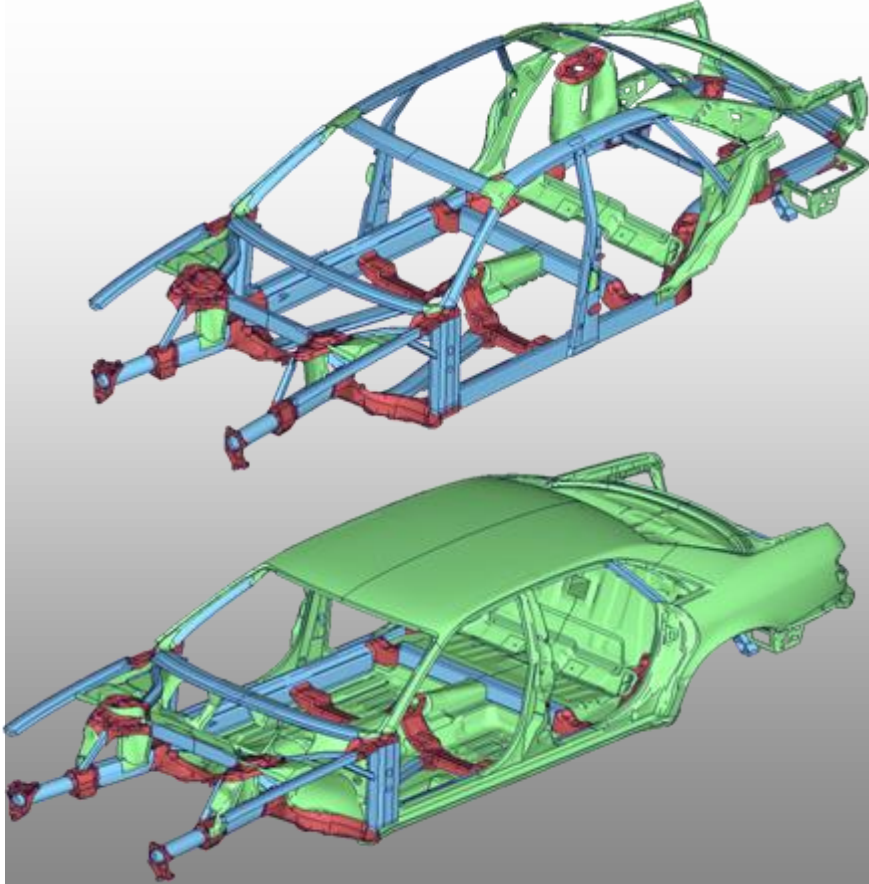


Joining Technology

2400 Selfpierce rivets
64 m MIG-Welding
20 m Laser-Welding
5 m Hybrid-Welding

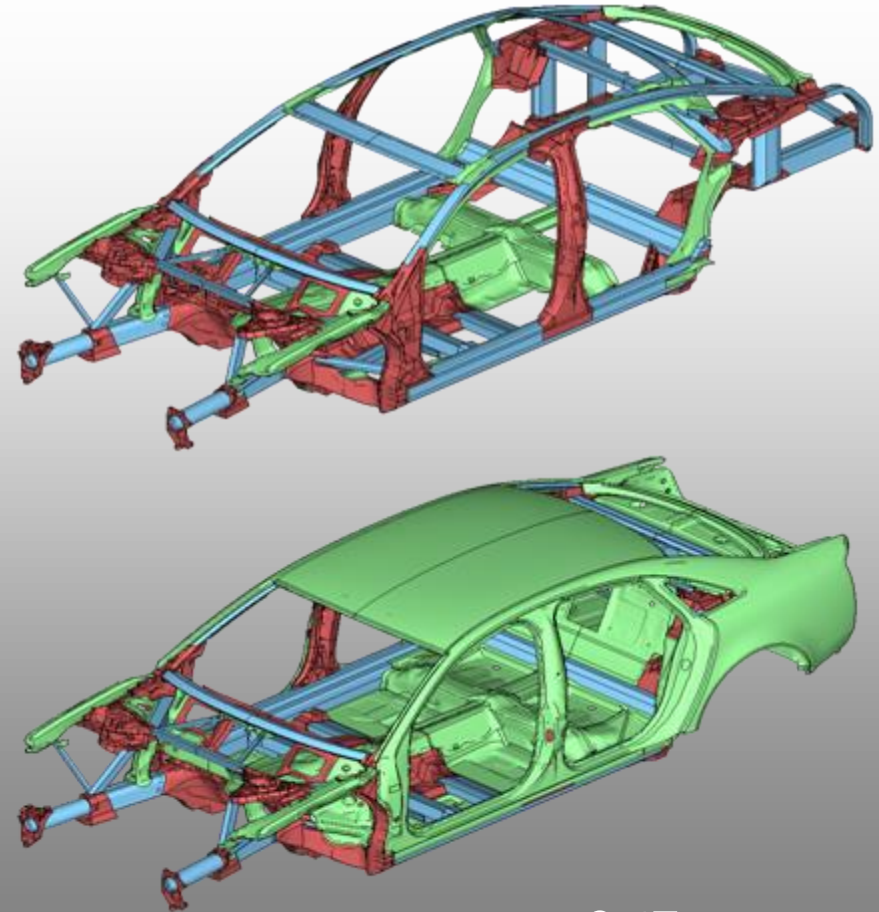


Audi A8 (D2, 1994)



334 parts

Audi A8 (D3, 2002)



267 parts

 Casting  Extrusion  Sheetmetal

Adapted : from Columbia Basin college

Audi A8 Front Rail



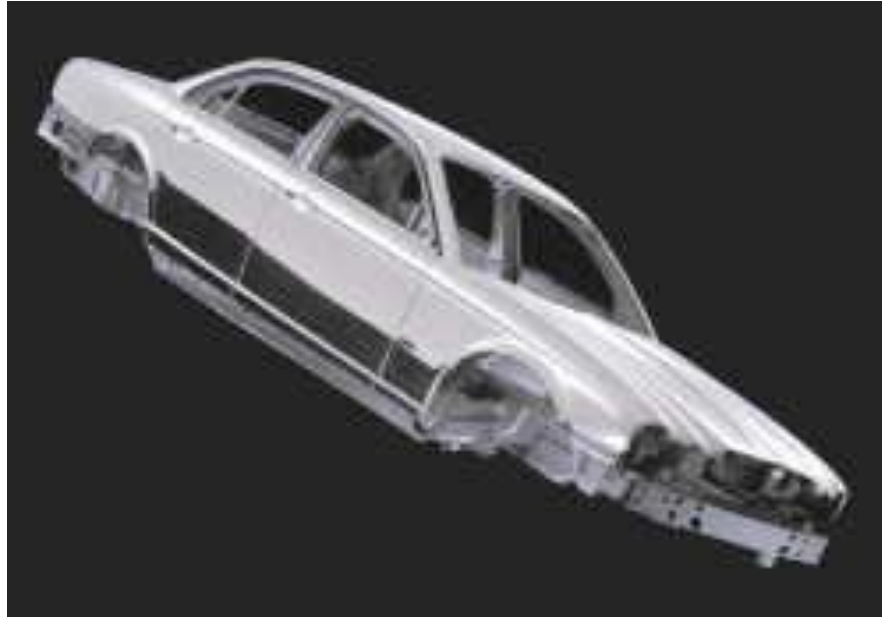
Adapted : from Columbia Basin college

Audi A8 Rear Rail



Adapted : from Columbia Basin college

XJ6 Aluminium Body



XJ6 Aluminium Chassis



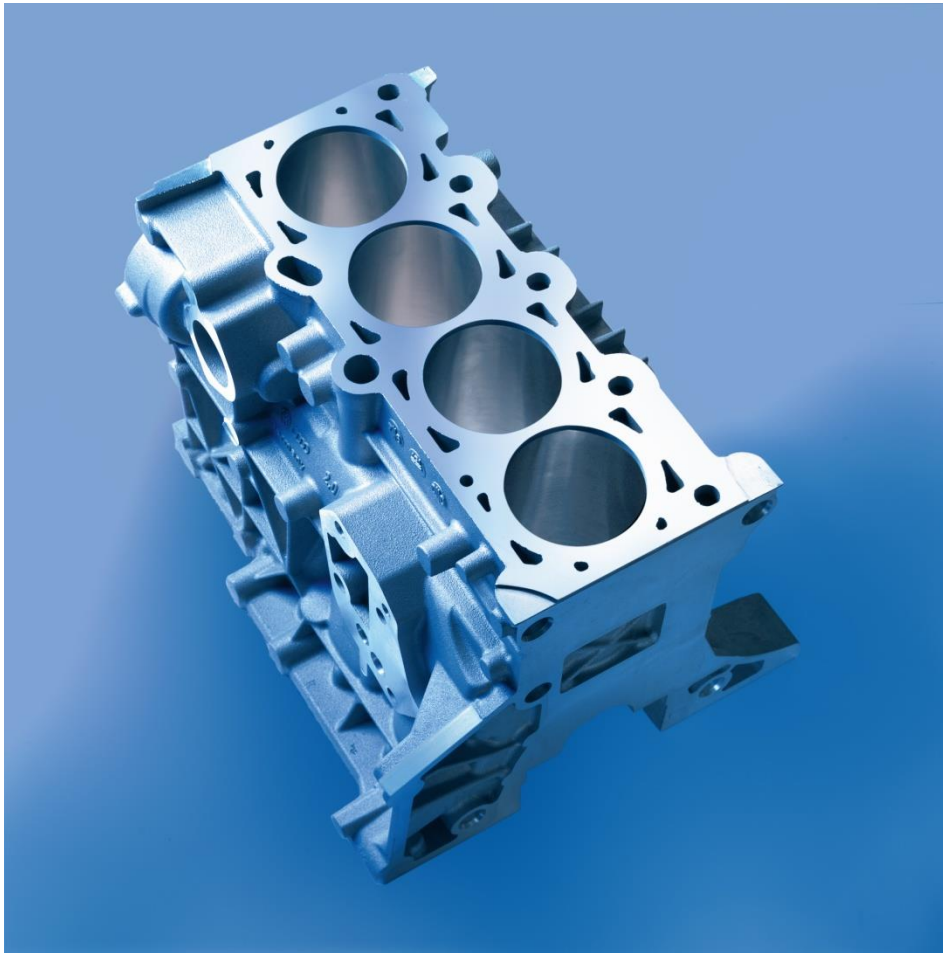
Aluminium Bumper Beams



Aluminium Engine Blocks (Lupo)



Audi A2 engine block



Aluminium Bottles



Forged Aluminium Wheels



AI heat transfer components



Aluminium Roofing



ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

"xxx" Κωδικός για ειδική σύνθεση

Κυριότερο κραματικό στοιχείο

1xxx	99%+ Al
2xxx	Cu
3xxx	Mn
4xxx	Si
5xxx	Mg
6xxx	Mg+Si
7xxx	Zn
8xxx	Li (etc.)

Μεταβολή
δείχνει διαφορετικό
κραμα

Μεταβολή
δείχνει μικρές
διαφορές

H Ψυχρή
κατεργασία

O
Έχουν υποστεί
ανόπτηση

F Χωρίς
κατεργασία

T Με θερμική
κατεργασία

- 1 Μόνο ψυχρή κατεργασία
- 2 Ψυχρή κατεργασία και μερική ανόπτηση
- 3 Ψυχρή κατεργασία και πλήρη ανόπτηση

- 2: ¼ hard
- 4: ½ hard
- 6: ¾ hard
- 8: Hard
- 9: Extra hard

ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Alloy series	Composition	σ_y (MPa)	UTS (MPa)	ϵ_F (%)	Notes
1000	"pure" Al.	30 - 100	100 - 135	up to 50	Foil, decoration, electrical conductors
2000	~4.5%Cu (+Mn,Si,Mg) age-hardened	up to 480	up to 520	5 – 20	General purpose forgings and extrusions, esp. airframes.
3000	~1%Mn, Mg. cold-worked	up to 215	up to 290	5	Ductile sheet for cladding trucks, trailers. Food containers. Drink cans.
4000	12%Si, (+ Mg,Ni,Cu) forgeable, age-hardened	~295	~325	0.5	IC engine pistons. (aka LM13, A332)
5000	~5%Mg (+Cr, Mn). cold-worked	up to 350	up to 415	15	Good formability & weldability. Excellent corrosion resistance. Structural applications, esp. marine.
6000	up to 1%Mg-Si. age-hardened	~275	~310	12	Hot extrusions. Window frames, etc.
7000	up to 8%Zn (+Mg,Cu,Cr). age-hardened	500	575	11	Highest strength alloys. Aircraft structures.
8000	"Other", e.g. up to 2.5%Li				Novel and specialist alloys
Cast	near Al-13%Si eutectic + 0.01%Na	up to 200	up to 300	2 - 5	Automotive castings. Can age-harden if Cu and Mg added.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΜΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ

➤ ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΜΑ ΚΡΑΜΑΤΑ

heat-treatable (Σκλήρυνση με
(κατακρήμνιση) καθίζηση) (2xxx, 7xxx)

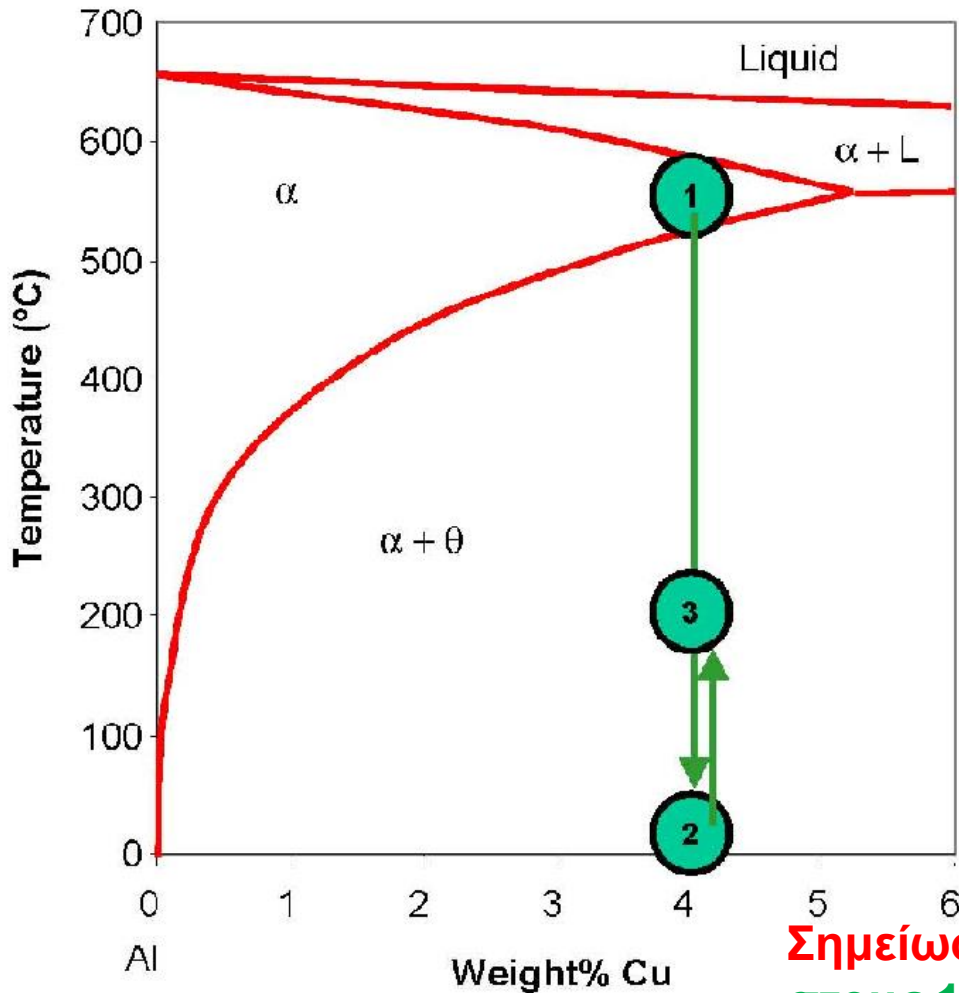
➤ ΜΗ ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΜΑ (*non-heat-treatable*)

• Υφίστανται σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση (*work-hardening*)

(1xxx, 3xxx and 5xxx σειρές)

• Και με σχηματισμό στερεού διαλύματος
(5xxx σειρά)

ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΜΕ ΚΑΘΙΖΗΣΗ ή κατακρήμνιση



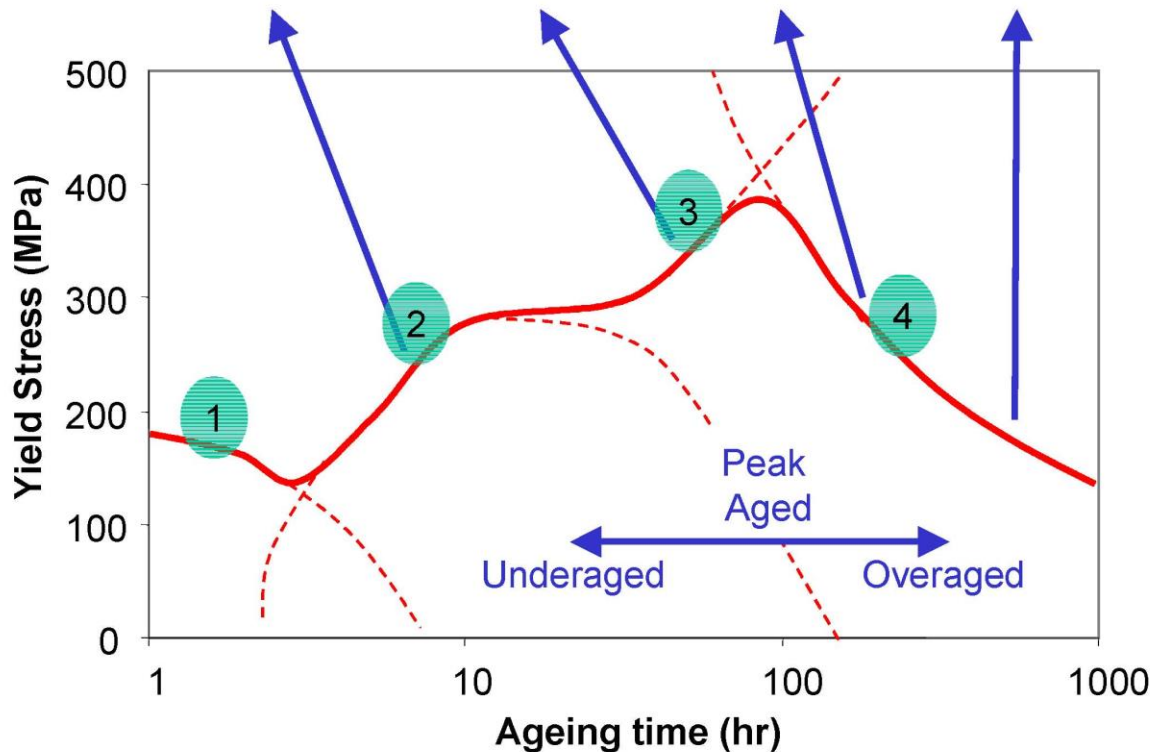
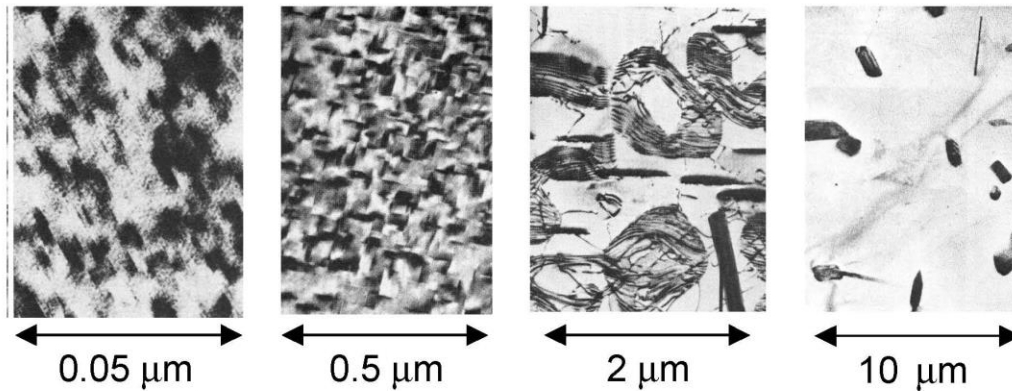
1. Θέρμανση και διατήρηση στους 550°C μέχρι σχηματισμού στερεού διαλύματος (φάση α)

2. Απότομη ψύξη στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο Cu σχηματίζει υπέρκορο στερεό διάλυμα

3. ΓΗΡΑΝΣΗ: Θέρμανση στους 180-200 °C. Ο Cu εξέρχεται από στερεό διάλυμα αντιδρά με το Al και σχηματίζει σωματίδια φάσης καθίζησης θ

Σημείωση: Αν το κράμα ψυχθεί απευθείας στους 180 °C Θα έχουμε μεγάλα σωματίδια της φάσης θ στα όρια των κόκκων. Μικρή σκλήρυνση

Θερμική κατεργασία – γήρανσης κραμάτων αλουμινίου



1. Ο Cu είναι στο διάλυμα (Σκλήρυνση στερεού διαλύματος)

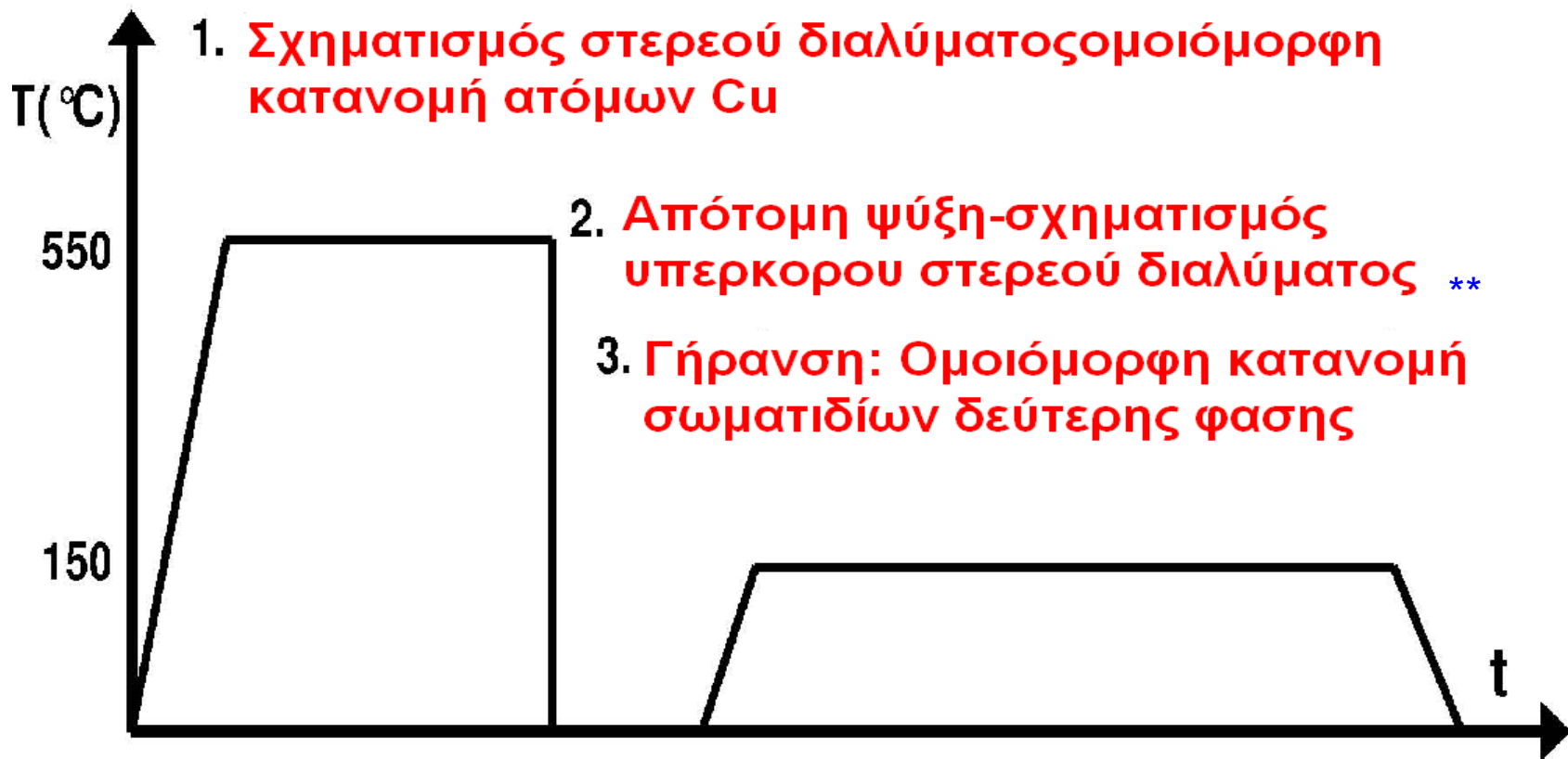
2. Ο Cu σχηματίζει συσσωματώματα ατόμων (G-P Ζώνες) κάθε ζώνη περιβάλλεται από ισχυρό πεδίο τάσης- παραμόρφωσης

3. Ο Cu αντιδρά με το Al και σχηματίζει λεπτόκοκκα σωματίδια φάση θ'' (Διμεταλλική ένωση) η οποία καθιζάνει στην κρυσταλλική δομή

4. Παραταμνη γήρανση : Παραπέρα αντίδραση με σχηματισμό χονδρόκοκα σωματιδίων θ' και στη συνέχεια πλέον χονδρόκοκα σωματιδίων θ(CuAl₂) τα οποία καθιζάνων στα όρια των κόκκων


Διαγραμματική παρασταση Θερμικής κατεργασίας

- Μεγιστη σκληρότητα και αντοχή επιτυγχανεται με την καλύτερη δυνατή διασπορά των λεπτοκκοκων σωματιδίων στη δομή του κραματος. Και αυτό επιτυγχανεται με τον optimum χρόνο γήρανσης




**Μετά την απότομη ψύξη στάδιο 2, ακολουθεί για πολλά κράματα ψυχηλασία (σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση) και στη συνέχεια το στάδιο 3. Ερώτηση: Η ψυχηλασία μπορεί να γίνει μετά το στάδιο 3, ποιο μειονέκτημα έχει η επιλογή αυτή;

2000 series alloys and applications

		σ_y (MPa)	UTS (MPa)	ϵ_F (%)	
"Duralumin"	3.5 Cu 0.5 Mg, 0.5 Mn	275	425	22	The original age hardening alloy. Now used for rivets, etc (2017).
2014 	4.4 Cu 0.5 Mg, 0.5 Mn 0.9 Si	320	425	13	The "standard" Al-Cu alloy. Aircraft structures, automotive, etc.
2219	6.3 Cu 0.3 Mn, 0.2 Si 0.1 Ti,Zn,V,Zr	290 - 390	415 - 475	10	Good creep strength: high temperature applications. Good cryogenic strength (liquid gas tanks for spacecraft)



2000 series alloys and applications

		σ_y (MPa)	UTS (MPa)	ϵ_F (%)	
"Duralumin"	3.5 Cu 0.5 Mg, 0.5 Mn	275	425	22	The original age hardening alloy. Now used for rivets, etc (2017).
2014 	4.4 Cu 0.5 Mg, 0.5 Mn 0.9 Si	320	425	13	The "standard" Al-Cu alloy. Aircraft structures, automotive, etc.
2219	6.3 Cu 0.3 Mn, 0.2 Si 0.1 Ti,Zn,V,Zr	290 - 390	415 - 475	10	Good creep strength: high temperature applications. Good cryogenic strength (liquid gas tanks for spacecraft)

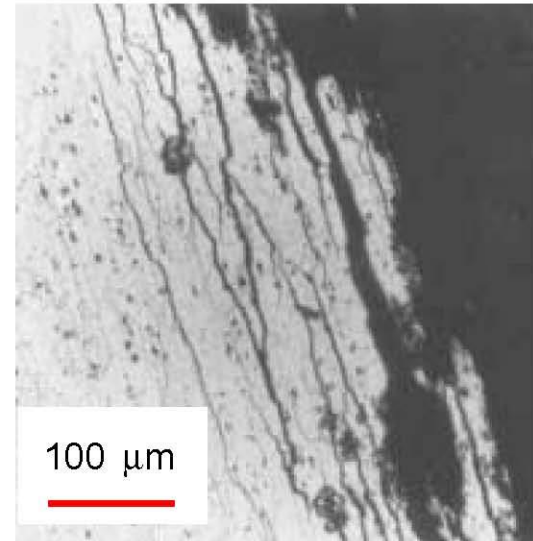



Al – Zn alloys – “7000” series

All 7000 series alloys are prone to stress corrosion cracking (so are most Al alloys!):

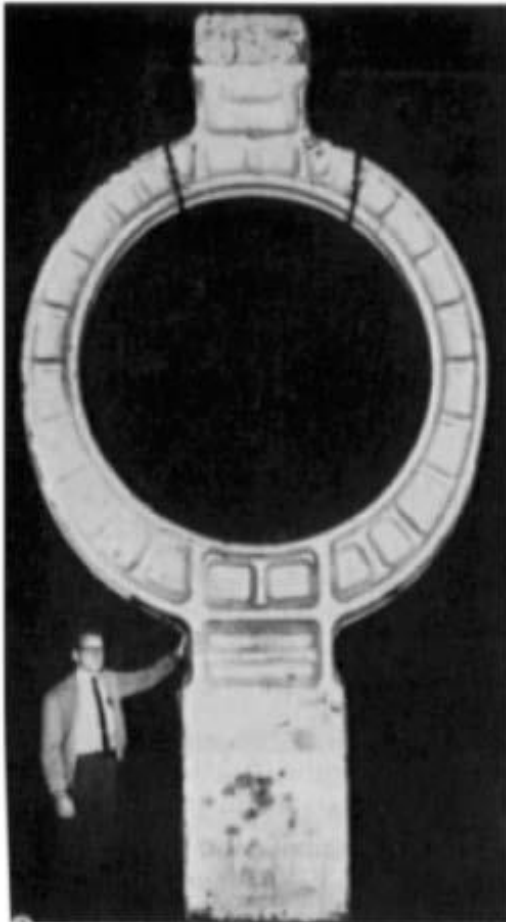
This is alleviated by

- Zn:Mg ratio of 3:1
- addition of Mg and Cu (etc.),
- control of Si, Fe and other impurities
- complex, multi-stage heat treatments



		σ_Y (MPa)	UTS (MPa)	ϵ_F (%)	
7075 	Zn 5.6 Mg 2.5 Cu 1.6 Cr 0.2	500	570	11	High strength alloy: aerospace structural parts. Various choices of heat treatments to “emphasise” weldability, SCC resistance, machinability. Typical (“T73 temper”): quench, age at: 120°C (form G.P. zones), then 170°C (form η' - MgZn ₂ ppts.) (7475 is high purity variant – better SCC)

7000 series alloys



Die-forged 7075-T73
Stabiliser and engine
support for Douglas
DC10

(4 in each aircraft!)



Manufactured for the
Military Aircraft Division
of Northrop Grumman
Corporation. Machined
from 7075-T7351
aluminum plate.



"Supercross started
producing the
"StrongArm"™ cranksets
back in 1989. The first
ones were made out of
tubular 4130 cro-mo. The
current models use the
same 6 spline spindle
assembly but are made
out of aircraft grade 7075
T-6 billet aluminum."



"EXPE Anti-Shock
Trekking Poles
7075-T6 Aircraft
aluminum"

LITHIUM ALUMINIUM ALLOYS –The New Generation Aerospace Alloys

- Με προσθήκη καθε 1 wt.% Li στο Al ελαττώνεται η πυκνότητα 3% και αυξάνεται το Μέτρο Ελαστικότητας (elastic modulus) 6 %
- Τα κράματα Al-Li χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αεροσκαφών.
- Η εξοικονόμηση βάρους που πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας αυτά τα κράματα χαμηλής πυκνότητας μειώνει σημαντικά το κόστος καυσίμου και αυξάνει την απόδοση. Σε σύγκριση με τα ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά, τα κράματα Al χαμηλής πυκνότητας δεν απαιτούν μεγάλες επενδύσεις κεφαλαίου από τον παραγωγό αεροσκαφών σε νέες εγκαταστάσεις κατασκευής.
- Αυτή η εξοικονόμηση κόστους μπορεί να αντισταθμίσει περισσότερο την αύξηση της απόδοσης, την οποία μπορούν να προσφέρουν τα σύνθετα υλικά, με αποτέλεσμα τα κράματα Al-Li να είναι ουσιαστικά πιο οικονομικά αποδοτικά από τα σύνθετα σε ορισμένες εφαρμογές.
- Η αντοχή στην ανάπτυξη ρωγμών σε κράματα Al-Li είναι γενικά πολύ υψηλή. Αυτό είναι σημαντικό για τις κάτω επιφάνειες των πτερυγίων που απαιτείται να είναι πολύ ανθεκτικές.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

- 7-10% Lower density.
- 10-15% Higher Modulus.
- Excellent fatigue and cryogenic toughness properties.
- Higher stiffness.
- Superior fatigue crack growth resistance.
- Reduced ductility
- Low fracture toughness

1) Μέρη αεροσκαφών, όπως τα μπροστινά και τα πίσω άκρα, τα καλύμματα πρόσβασης, τμήματα καθισμάτων και τα φτερά.

2) Στρατιωτικές εφαρμογές: - Ορισμένοι τύποι στρατιωτικών εξαρτημάτων αεροσκαφών όπως το κύριο κιβώτιο πτερυγίων, η κεντρική άτρακτο, οι επιφάνειες ελέγχου κατασκευάζονται από κράματα Al-Li

Τα κράματα Al-Li χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο των συμβατικών κραμάτων Al σε ελικόπτερα, πυραύλους και δορυφορικά συστήματα.

3) Διαστημικές εφαρμογές : - Από όλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται, από τη χρήση κραμάτων Al-Li, η εξοικονόμηση βάρους είναι η πιο κρίσιμη στις διαστημικές εφαρμογές . Το κράμα Al-Li χρησιμοποιούνται σε κρισσογενείς (cryogenic) εφαρμογές για παράδειγμα, δεξαμενές υγρού οξυγόνου και καυσίμου υδρογόνου για τα αεροδιαστημικά οχήματα.

Μορφοποίηση

Χύτευση

Ταχεία στερεοποίηση και γήρανση (aging)

Commercial Al-Li Alloys

1) Wieldalite 049

Composition (wt%)- 5.4Cu, 1.3Li, 0.4Ag, 0.4Mg, 0.14 Zr, bal. Al

2) Alloy 2090

Composition (wt%)- 2.7 Cu, 2.2 Li, 0.12 Zr, bal. Al

3) Alloy 2091

Composition (wt%)- 2.1 Cu, 2.0 Li, 0.10 Zr, bal Al

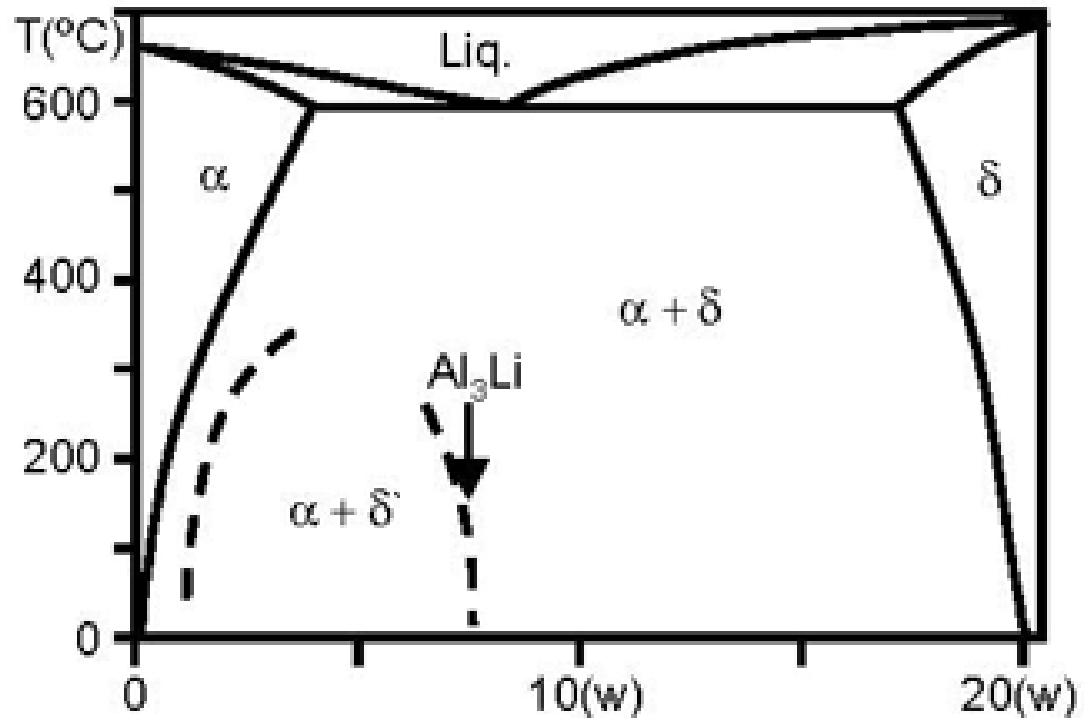
4) Alloy 8090

Composition (wt%)- 2.45 Li, 0.12 Zr, 1.3 Cu, 0.95 Mg, bal Al

Βασική αρχή σκλήρυνσης καθίζηση των καρμάτων AL-Li

Al – Li alloys – “8000” series

- ✓ Το Li είναι ελαφρύ .εχει πυκνότητα 540Kg/m³
- ✓ Διαλύεται μέχρι 14% το AL σε υψηλή θερμοκρασία και η διαλυτότητα ελαττώνεται σημαντικά σε χαμηλή θερμοκρασία
- ✓ Η σκλήρυνση γίνεται μέσω μια μετασταθούς φάσεως δ' AL₃Li η οποία καθιζάνει
- ✓ Έχει μεγάλη διαφορά στην ατομική ακτίνα και είναι ιδανικό για πρόκληση σκλήρυνσης



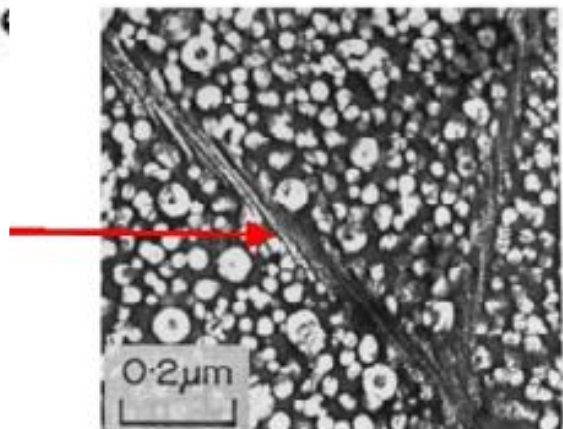
α (sss) GP zones..... δ' (Al³Li) δ
(AlLi)

Διαδικασία σκλήρυνσης με γήρανση ανάλογη με το κράμα Cu -Al

Problems ?

- Li oxidises rapidly – needs careful handling
- Severe gravity segregation during casting
- Na, K, present as impurities form low m.p. phases
 - grain boundary failures
- Simple Al-Li binary alloys have poor properties
 - cutting of δ' ppts \Rightarrow planar slip \Rightarrow low ductility
- Overaging gives precipitation of δ phase at grain boundaries
- High cost – about 2-3x conventional alloys

Engineering "C" – High Performance Alloys: HT 2000 S.G. Roberts



Al-Li-Zn

Al – Li alloys – development

Al-Li	δ' only. Planar slip: low toughness and ductility.
Al-Li-Cu	$\delta' + \theta'$. Good strength and creep properties, but still too low toughness.
Al-Li-Mg	$\delta' + \text{Al}_2\text{LiMg}$. Al_2LiMg tends to plate out of g.b.s – low toughness.
Al-Li-Mg-Cu	$\delta' + \text{Al}_2\text{CuMg}$ (“S-phase”). 2.6:1 Cu:Mg favours formation of S phase. S-phase not easily sheared, \therefore slip homogenised – toughness improved.
Al-Li-Mg-Cu-Zr	As above, but + fine ZrAl_3 – stabilises grain structure, further homogenises slip. Further strength and toughness improvement.

Typical alloy:

“8090”: 2.5%Li, 1.3%Cu, 1.0%Mg, 0.1%Zr.

Yield strength: 350-240 MPa (560)
 UTS: 420-450 MPa (590)
 ϵ_F : 10-12% (12)
 K_{Ic} : 35-65
 density: $\sim 2500 \text{ kg m}^{-3}$ (~ 2700)
 E: $\sim 80 \text{ GPa}$ (~ 70)

(number in brackets are for “competitor” alloy 7475)

	Struts		Beams		Panels	
	E/ ρ	σ_F/ρ	E ^{1/2} / ρ	$\sigma_F^{1/2}/\rho$	E ^{1/3} / ρ	$\sigma_F^{1/3}/\rho$
7475	26	220	3.1	9.0	1.5	3.1
8090	32	180	3.6	8.5	1.7	3.1

Al – Li alloy in use

The aluminium industry has spent about \$1bn developing these alloys to compete with carbon-fibre composites for airframe construction.

1989 Prediction:

"The purchase price of the lithium-containing alloys is expected to be two to three times that of the existing high-strength aluminium alloys.

However, the value of weight savings in a large passenger aircraft can be as high as \$400 / kg and lithium-containing alloys have been specified for many civil and military aircraft currently under development. It is expected that Al-Li alloys will make up 7% and 10% of the structural weights of civil and military aircraft in 1990 rising to approximately 35% and 25% by 1995.

These changes will be at the expense of the existing aluminium alloys. In 1986, demonstration components made from alloy 8090 were introduced into prototype models of military aircraft being test flown in the United States, Britain and France."

1996:

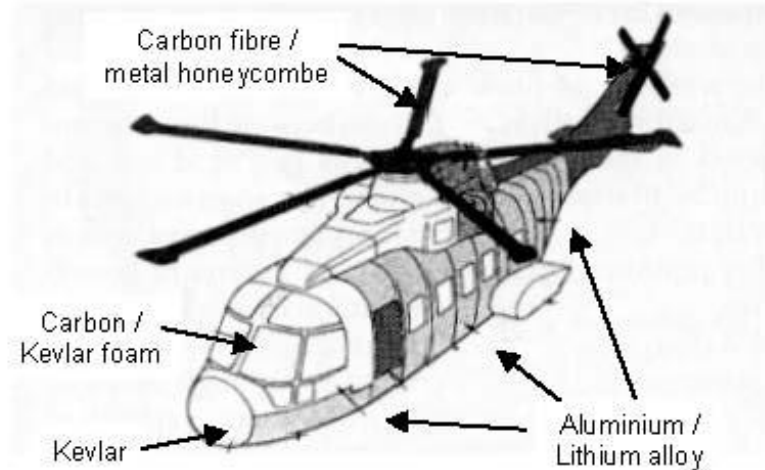
Al-Li alloys removed at last minute from specification for Boeing 777 – problems with microcracking around holes.

1998:

*Space shuttle fuel tanks made in Al-1%Li alloy: payload up 16%.
Extra cost - \$5m per shuttle (1km of welds!)*

1999:

EH101 in "pre production"



Westland / Agusta EH101 "Merlin"

Χυτεύσιμα Κράματα Αλουμινίου (Cast Aluminium Alloys)

Numerical Designation System according to ANSI and AA

Ο αριθμός αντιστοιχεί στο κυρίως κραματικό στοιχείο

Definition of Casting Alloy Groups	
Aluminium, 99.00 percent minimum and greater	1xx.x
Aluminium alloys grouped by major alloying elements	
Copper (Cu)	2xx.x
Silicon (Si), with added copper and/or magnesium	3xx.x
Silicon (Si)	4xx.x
Magnesium (Mg)	5xx.x
Zinc (Zn)	7xx.x
Tin (Sn)	8xx.x
Other elements	9xx.x
Unused series	6xx.x

Alloys are registered with Aluminium Association Registration Record (AA). The designation system is identical to the specification J452 and J453 of the SAE (Society of Automotive

- ✓ Το **Si 5-12%** είναι το πιο σημαντικό κραματικό στοιχείο για τα χυτεύσιμα κράματα(;
- ✓ Το **Mg** βελτιώνει την αντοχή με σκλήρυνση κατακρήμνισης με θερμική κατεργασία
- ✓ Ο **Cu** σε ποσότητες **1-4%** αυξάνει την αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
- ✓ Άλλα κραματικά στοιχεία όπως **Zn, Sn, Ti, Cr**, προστίθενται.

Οι τεχνικές χύτευσης που εφαρμόζονται είναι κυρίως: Χύτευση σε καλούπια με άμμο, χύτευση σε μόνιμα καλούπια με φυσική ροή, χύτευση υπό πίεση.

Η ταχύτητα ψύξης των χυτευμάτων καθορίζει τα στάδια θερμικής κατεργασίας

Άλλα μη σιδηρούχα μέταλλα

- Χαλκός (Copper)
- Κασσίτερος (Tin)
- Μόλυβδος (Lead)
- Ψευδάργυρος (Zinc)
- Τιτάνιο (Titanium)
- Λίθιο (Lithium)
- Νικέλιο (Nickel)
- Χρώμιο (Chromium)

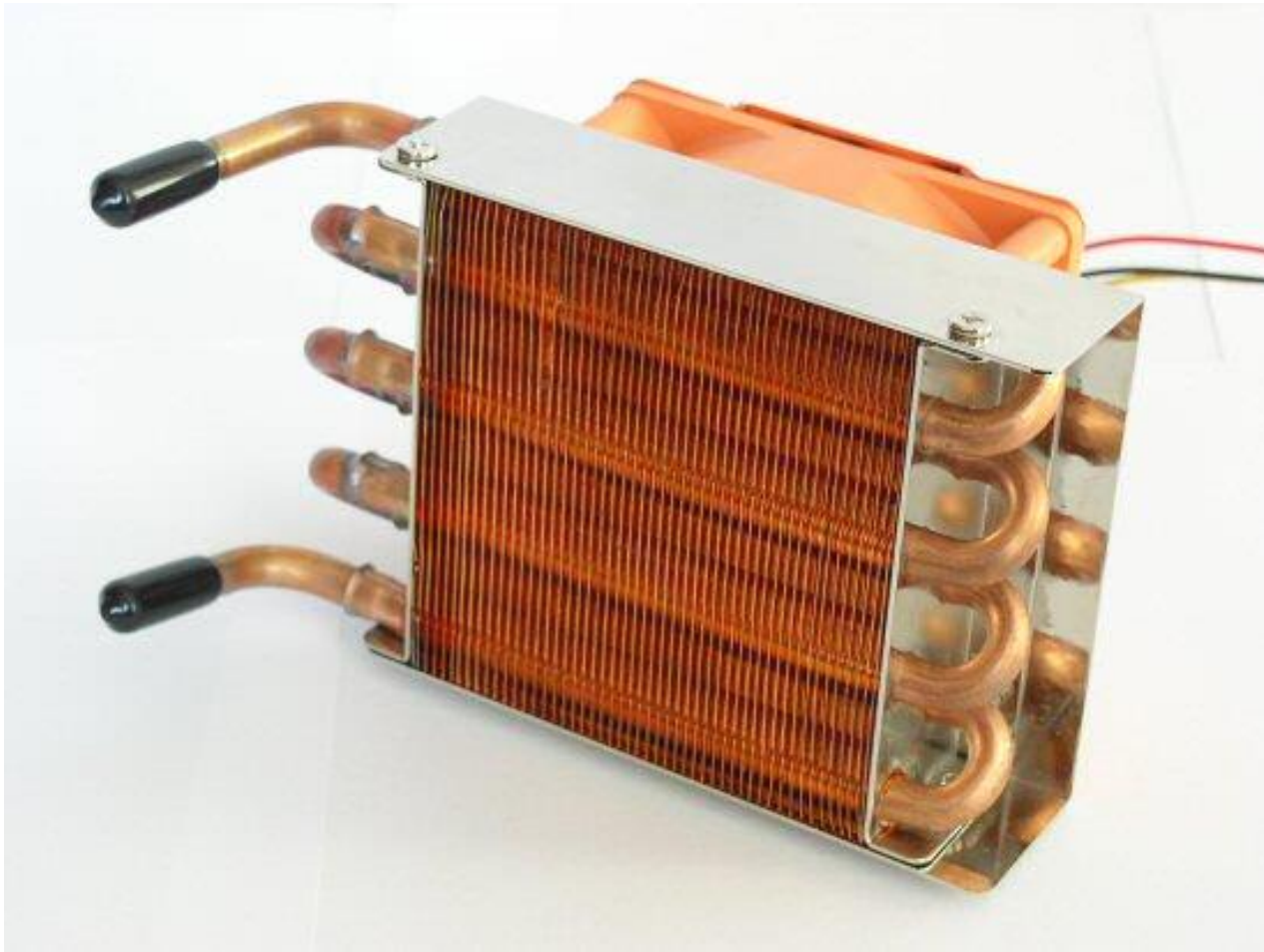
Χαλκός (Copper)

- Μέση αντοχή στη καθαρή κατάσταση.
- Ελατός και όλκιμος
- Πόλυ καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση
- Κράματα με Zn ως κύριο κραματικό στοιχείο ονομάζονται **ορείχαλκοι**.
- Κράματα με άλλο στοιχείο εκτός Zn πχ Sn, Al κλπ ονομάζονται **μπρούτζοι**

Copper Roofing



Copper as a Heat Exchanger



Κασσίτερος (Sn)

- ✓ Μαλακό και έχει αντίσταση στη διάβρωση
- ✓ Το κράμα του με Sn χρησιμοποιείται για μαλακή συγκόλληση
- ✓ Με το χαλκό σχηματίζει μπρούτζους bronzes, Πχ Μέταλλα για καμπάνες



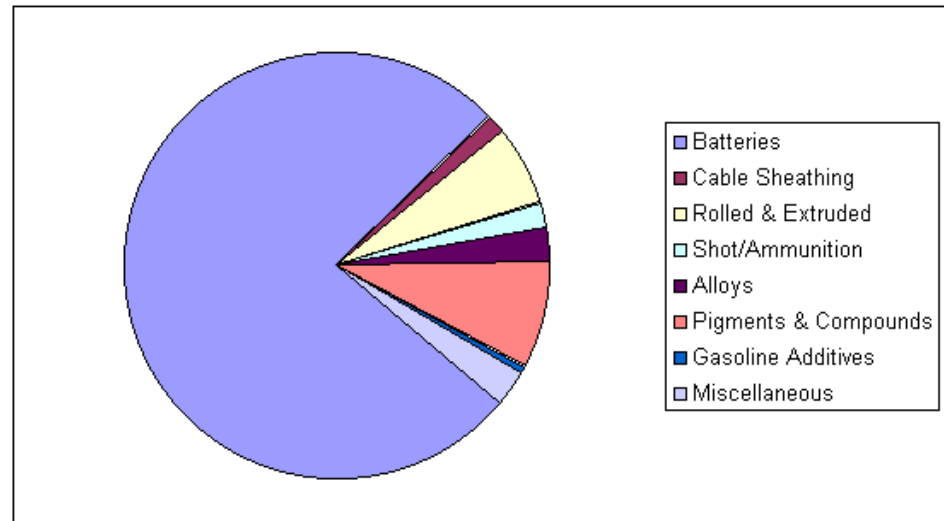
Μόλυβδος ,Pb (Lead)

- Υψηλή πυκνότητα
- Υψηλή αντίσταση στη διάβρωση
- Ελατό αλλά όχι όλκιμο
- Πολύ μαλακό και ασθενές
- Εφαρμογές



THE LEAD ROOFS OF 1829

In the centre of the picture is one of the plumber's plaques



Ψευδάργυρος Zn (Zinc)

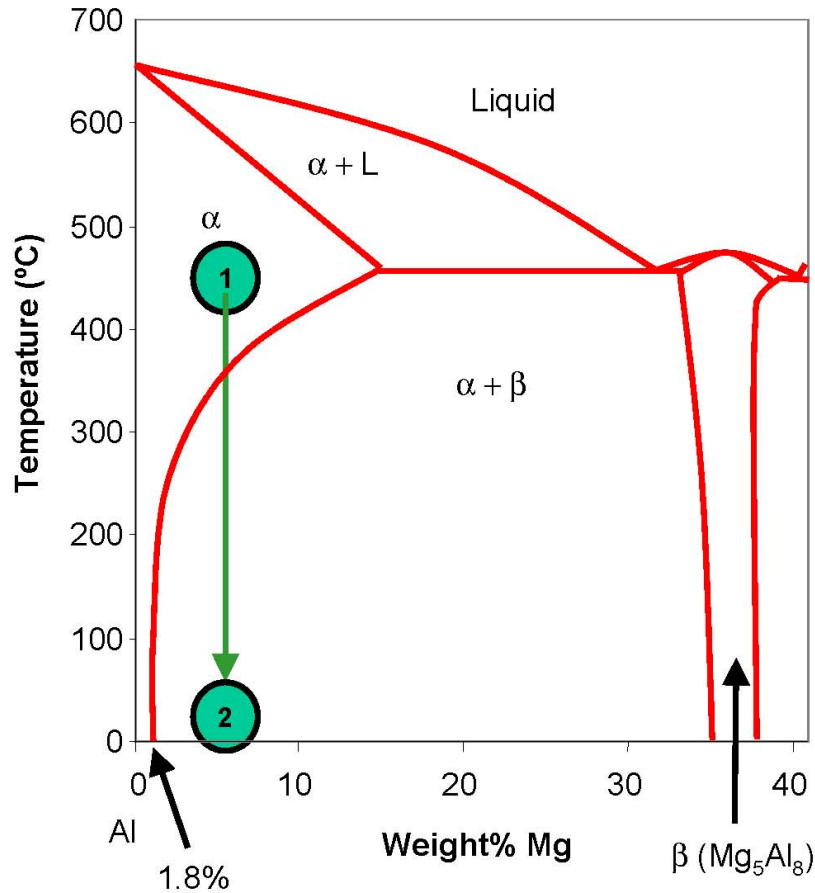
- Δεν χρησιμοποιείται σε καθαρή κατάσταση ως κατασκευαστικό μηχανολογικό υλικό.
- Χρησιμοποιείται ως θυσιαζόμενη άνοδος για την προστασία από τη διάβρωση του χάλυβα.
- Χρησιμοποιείται σε κράμα με χαλκό για τη παραγωγή ορείχαλκων(brass)
- Χρησιμοποιείται για την προστασία των χαλύβων με επικάλυψη:
 - ✓ Galvanising or
 - ✓ Plating

Μαγνήσιο ,Mg (Magnesium)



- Ελαφρύ– Ειδικό βάρος 1.7 g/cm³
- Καίγεται εύκολα υπό μορφή σκόνης ή όταν κατεργάζεται σε καθαρή μορφή
- Σχηματίζει με το Al και άλλα μέταλλα Mn, Zn, Si, ελαφρά κράματα κατεργάσιμα ή χυτά
- Πολλές εφαρμογές ,αντικατάσταση πλαστικών παρόμοιων ιδιοτήτων ,είναι άκαμπτα και εύκολα ανακυκλώσιμα.
- Καθοδική προστασία , σωληνώσεις, σε αεροσκάφη, χειρομεταφερόμενες συσκευές πχ αλυσοπρίονα, ηλεκτρικά εργαλεία, σε αυτοκίνητα πχ σε τιμόνια και τις κολώνες στήριξης, σκελετούς καθισμάτων , κιβώτια ταχυτήτων ζάντες,
- Φορητούς υπολογιστές, τηλεοράσεις, ασύρματα τηλέφωνα, κάμερες , κλπ

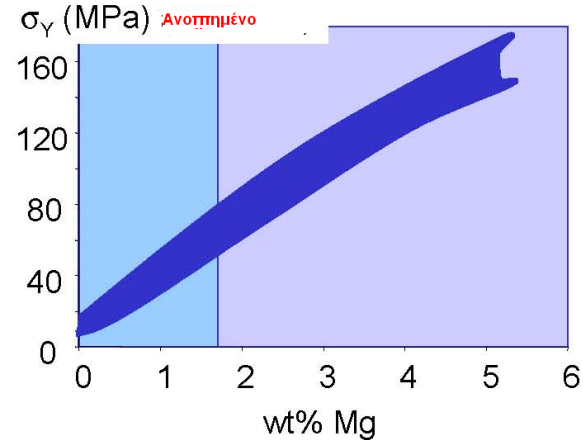
ΚΡΑΜΑΤΑ Al – Mg Alloys – “5000” series



1 - Θέρμανση και διατήρηση στους 550 C μέχρι όλο Mg να σχηματίσει στερεό διάλυμα (Φαση α)

2 - Απότομη ψύξη στη θερμοκρασία περιβάλλοντος
Το Mg σχηματίζει ένα υπέρκορο στερεό διάλυμα
ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΣΤΕΡΕΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ

Solid solution strengthening



3 - Επιδέχεται σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Λίθιο ,Li (Lithium)

- Πολύ ελαφρύ,πυκνότητα 0.5g/cm³
- Σχηματίζει με το Al κράματα **(Νέα γενιά κραμάτων)** με εφαρμογές στην αεροναυπηγική
- Χρησιμοποιείται στις μπαταρίες κινητών τηλεφώνων κλπ

Τιτάνιο ,Ti (Titanium)

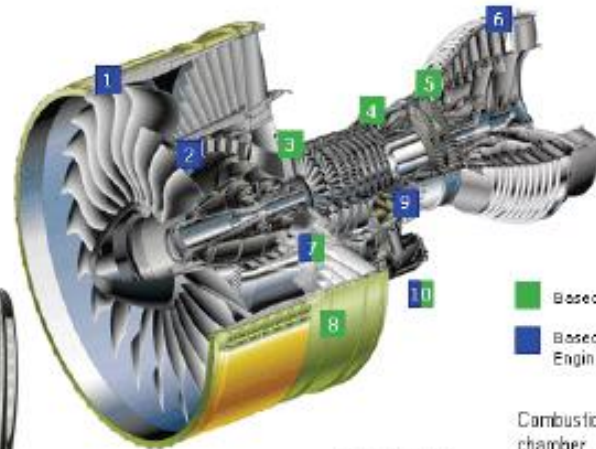
- Χαμηλή πυκνότητα 4.5 g/cm³,
- Παρόμοια αντοχή με το χάλυβα
- Υψηλή ειδική αντοχή (**Αντοχή/πυκνότητα**)
- Υψηλή αντίσταση στη διάβρωση (**παθητικότητα με δημιουργία επιφανειακού TiO₂**)
- Σημείο τήξεως **1670°C**
- Αντοχή σε ερπυσμό **~500 °C**
- Βιο-συμβατό
- Μεγάλη ποικιλία υλικών και εφαρμογών
- Δυνατότητα διαφοροποίησης των ιδιοτήτων με θερμική κατεργασία
- Βελτιστοποίηση **«Δυνατότητα μορφοποίησης/αντοχής»**

Τιτάνιο ,Ti (Titanium)

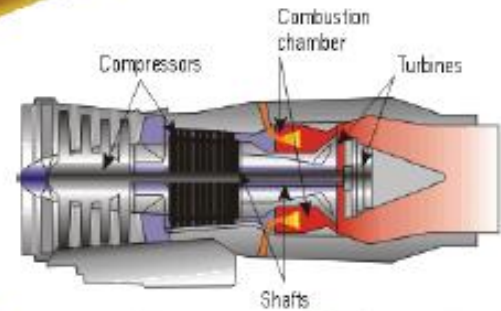
Εφαρμογές:

- Αεροναυπηγική-Ναυπηγική
- Ειδικά οχήματα(αγωνιστικά αυτοκίνητα, μηχανές κλπ)
- Χημική βιομηχανία και εγκαταστάσεις επεξεργασίας πετρελαίου.
- Βιο-ιατρική βιομηχανία
- Κατασκευαστική βιομηχανία
- Σπορ

Ti alloys – applications



- Based on GE Engine Platform
- Based on Pratt & Whitney Engine Platform



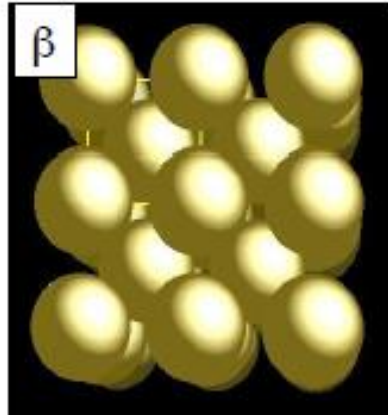
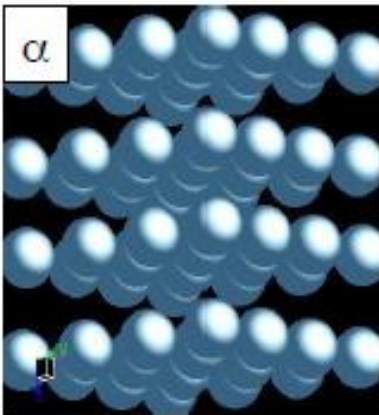
Titanium heat-exchangers



Μεταλλουργία Ti

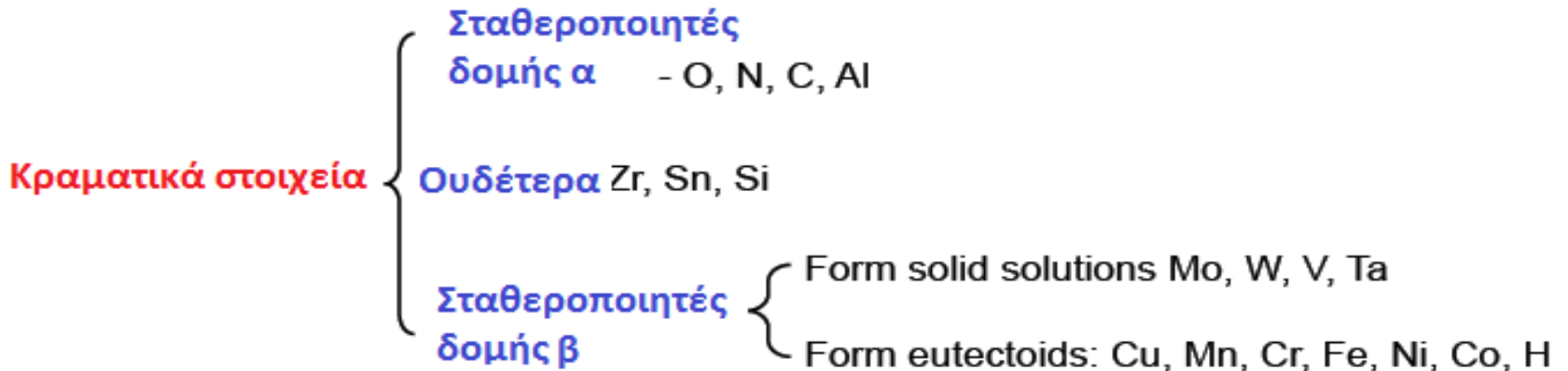
- ✓ Το Τι εμφανίζει δύο αλλοτροπικές μορφές: α-Ti (hcp) σταθερή μέχρι 882 °C και β-Ti (bcc) σταθερή >882 °C
- ✓ Σχηματίζει στερεά διαλύματα μεγάλης διαλυτότητα κυρίως με μεταβατικά μέταλλα
- ✓ Σχηματίζει σταθερές διμεταλλικές ενώσεις με πολλά μέταλλα
- ✓ Σχηματίζει ενώσεις παρεμβολής με C,N

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά με συνδυασμό μεταβολής χημικής σύστασης και θερμικής κατεργασίας δίνουν τη δυνατότητα σχηματισμού πολλών κραμάτων με ευρύτητα εφαρμογών.



- **Αλλοτροπία** Ti:
 - L → β (bcc) @ 1660 °C
 - β → α (hcp) @ 882 °C

Μεταλλουργία Ti



Κράματα Ti

- Κράματα α-Ti (α-Titanium alloys)
- Γειτνιάζοντα α-Ti (near α-titanium alloys)
- Κράματα α+β- Ti (α+β Titanium alloys)
- Κράματα β-Ti (β Titanium alloys)

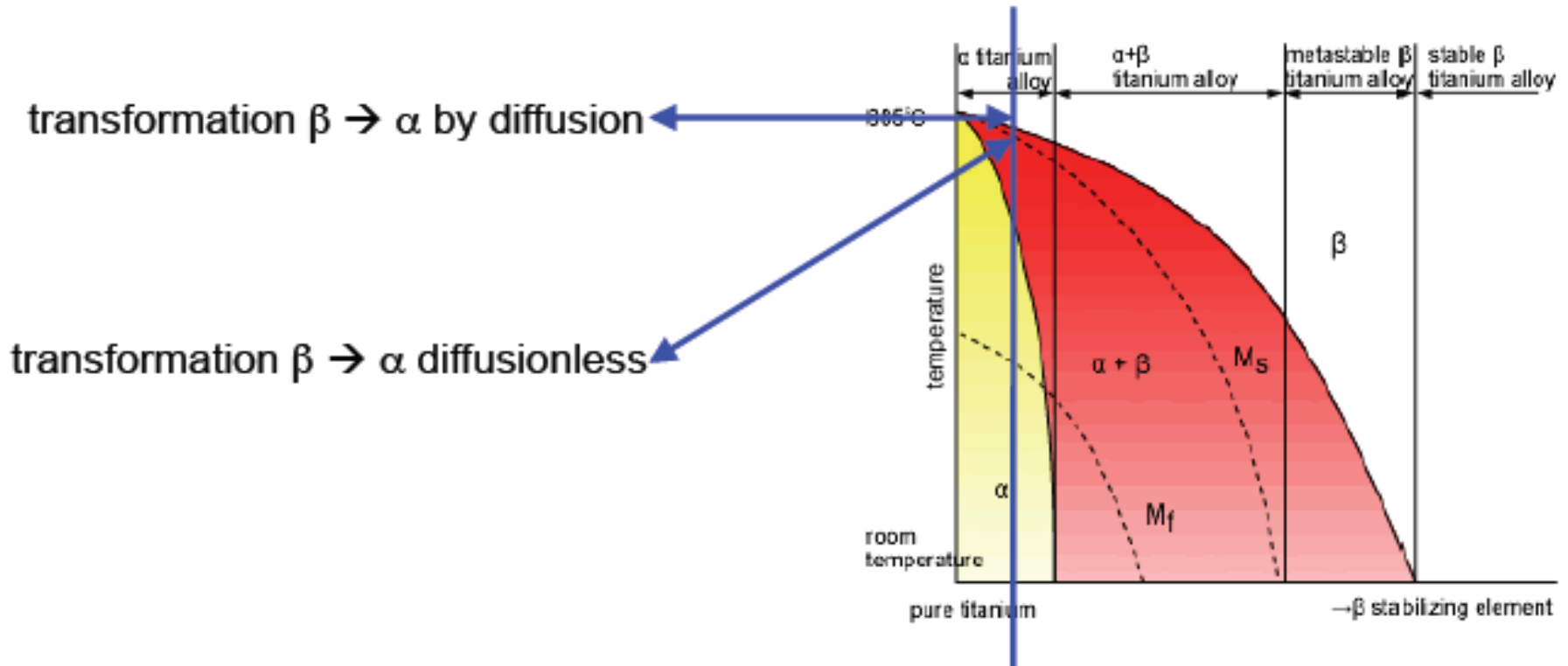
Κράματα α-Ti

- ✓ Εμπορικά καθαρό **Ti**, κράματα **Ti-O**, κράματα **Ti-5Al-2,5 Sn**
- ✓ Κράμα μια φάσης με δομή α
- ✓ Μέση αντοχή, όλκιμο και υψηλής δυσθραυστότητας, συγκολλησιμο
- ✓ Εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση
- ✓ Αν κραματικό στοιχείο υπερβεί τη διαλυτότητα τότε στη δομή hcp καθιζάνει διμεταλλική ένωση **TiX₃** X= Al, Sn, Zr κλπ οπότε το κράμα καθίσταται ψαθυρό.
- ✓ Για να μη συμβεί αυτό θα πρέπει η ισοδύναμη συγκέντρωση **Al < 9%**
- ✓ Ισοδύναμο% κ.β **Al = Al + (1/3)Sn + (1/6)Zr + 10(O + C + 2N)**
- ✓ **Εφαρμογές** : Χημική βιομηχανία, βιοϊατρική βιομηχανία εναλλάκτες θερμότητας, επιστρώσεις

Δομή κραμάτων α-Ti

Η δομή εξαρτάται από την ταχύτητα ψύξης:

- Με αργή ψύξη λαμβάνονται κόκκοι κανονικού σχεδόν συμμετρικού σχήματος (διεργασία διάχυσης)
- Με ενδιάμεση ψύξη (διάχυση) προκύπτει δομή widmanstätten
- Με ταχεία ψύξη προκύπτει δομή μαρτενσιτική



Κράματα β-Ti

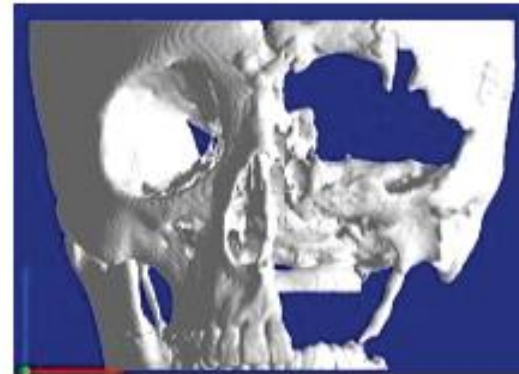
- Περιέχουν στοιχεία τα οποία σταθεροποιούν τη δομή β
- Η θερμοκρασία μαρτενιστικού μετασχηματισμού μπορεί να είναι χαμηλότερη της θερμοκρασίας περιβάλλοντος
- Με ενδιάμεσες περιεκτικότητες σταθεροποιητικών της φάσης β στοιχείων μπορούν με θερμική κατεργασία να διασπαστούν σε δομή α+β
- Με μεγάλες ποσότητες σταθεροποιητικών στοιχείων δεν υπόκεινται σε θερμική κατεργασία
- **Ιδιότητες:** υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, Υψηλή βιοσυμβατότητα, υψηλή αντοχή , μικρότερο μέτρο ελαστικότητας από τα άλλα κράματα Ti(πολύ κοντά με αυτό του οστού).
- **Εφαρμογές:** Χρησιμοποιούνται σε βιο-ιατρικές εφαρμογές παρά το γεγονός ότι το κράμα **Ti-6Al-4V** χρησιμοποιήθηκε στη αεροναυπηγική. Πρόσφατα νέα κράματα **Ti** με καλύτερη αντοχή στη διάβρωση σε βιολογικά υγρά και χαμηλότερη τοξικότητα χρησιμοποιούνται σε βιο-ιατρικές εφαρμογές

Biomedical applications of Ti and Ti alloys

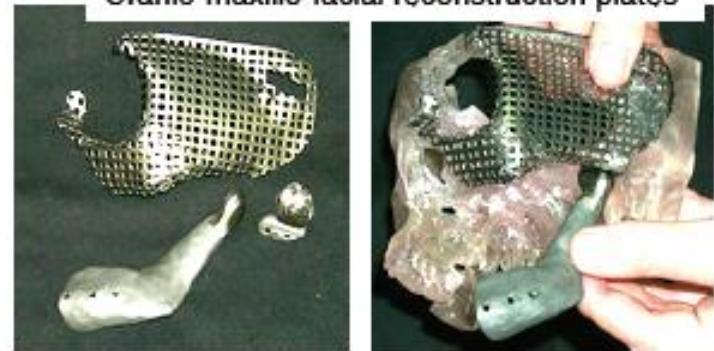


Knee and hip implants

Mandibular osteointegration plates



Cranio-maxillo-facial reconstruction plates



Biomedical applications of Ti and Ti alloys

Dental implants



Dental bridge (prosthesis over teeth)



Denture over implants



Metal-ceramic bridge



Νικέλιο (Nickel)

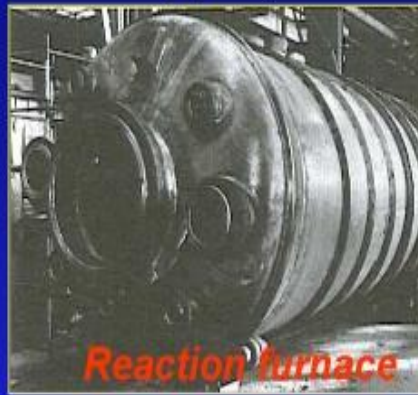
- Υψηλή αντίσταση στη διάβρωση– σχηματίζει ισχυρή επιφανειακή στοιβάδα οξειδίου.
- Ψαθυρό στην καθαρή κατάσταση
- Χρησιμοποιείται στους ανοξείδωτους χάλυβες
- Σχηματίζει κράματα με το χαλκό «**cupronickels**» για την παραγωγή νομισμάτων και των κραμάτων «**Monel**» με αντίσταση στη διάβρωση για την παραγωγή τμημάτων βαλβίδων
- Χρησιμοποιείται στα κράματα «**Nimonic**» και τα **υπερκράματα (superalloys)** για τμήματα μηχανών αεροπλάνων.

Εφαρμογές κραμάτων Ni

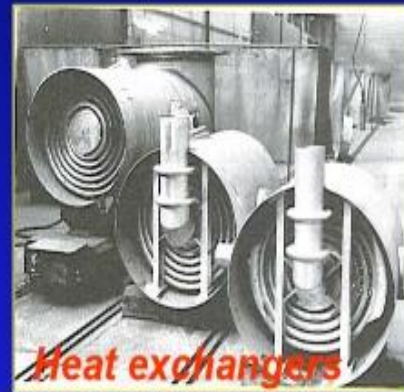


www.msm.cam.ac.uk

Turbine blades



Reaction furnace

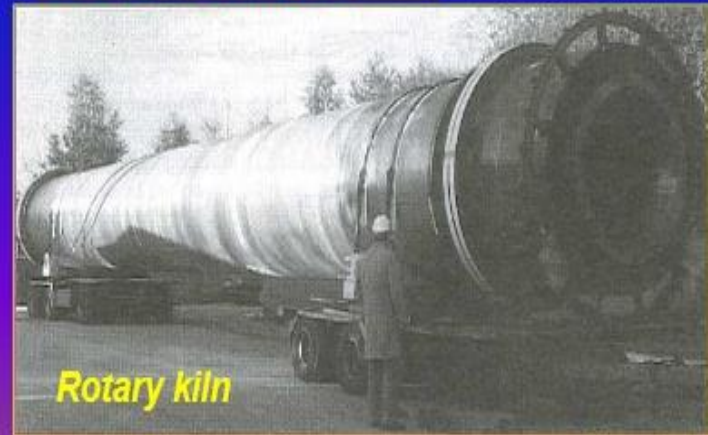


Heat exchangers



www.immnet.com

Aerospace flow bodies



Rotary kiln



Nickel-based superalloys



Single-crystal blades



Χρώμιο (Chromium)

- Αντίσταση στη διάβρωση– Σχηματίζει ισχυρό επιφανειακό οξείδιο
- Ψαθυρό στην καθαρή κατάσταση
- Χρησιμοποιείται στους ανοξείδωτους χάλυβες
- Χρησιμοποιείται με Ni & Mo για την παραγωγή ισχυρών χαλύβων

Υπερκράματα Super alloys

- ✓ Δυνατότητα να διατηρούν υψηλή αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία
 - ✓ Υψηλή αντοχή στην οξείδωση και τη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες
 - ✓ Καλή αντοχή στον ερπυσμός και την θραύση σε υψηλές θερμοκρασίες
- 3 κύριες κατηγορίες υπερκραμάτων (superalloys)**
- Βάση το Ni
 - Βάση Ni-Fe – φθηνότερα από αυτά με βάση το Ni)
 - Βάση το Co

Υπερκράματα με βάση το Ni

- ✓ Από το 1950 τα κράματα αυτά χρησιμοποιούνταν στους 750 -980°C
- ✓ Η αντοχή τους στην υψηλή θερμοκρασία οφείλεται στην σταθερή φάση γ' η οποία προκύπτει με κατακρήμνιση στη φάση FCC διμεταλλικής ένωσης Ni₃(Al,Ti)

Υπερκράματα με βάση το Co

- ✓ Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στη διάβρωση και υψηλή αντοχή στους 980-1100°C (θερμοκρασίες λειτουργίας τουρμπινών και θαλάμων καύσης)
- ✓ Συχνά χρησιμοποιούνται και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες αντί των Ni-superalloys
- ✓ Είναι φθηνότερα από τα Ni-superalloys γιατί χυτεύονται σε περιβάλλον αργού αντί του κενού που απαιτούν

Μηχανισμός σκλήρυνσης υπερκραμάτων

Ni-superalloys

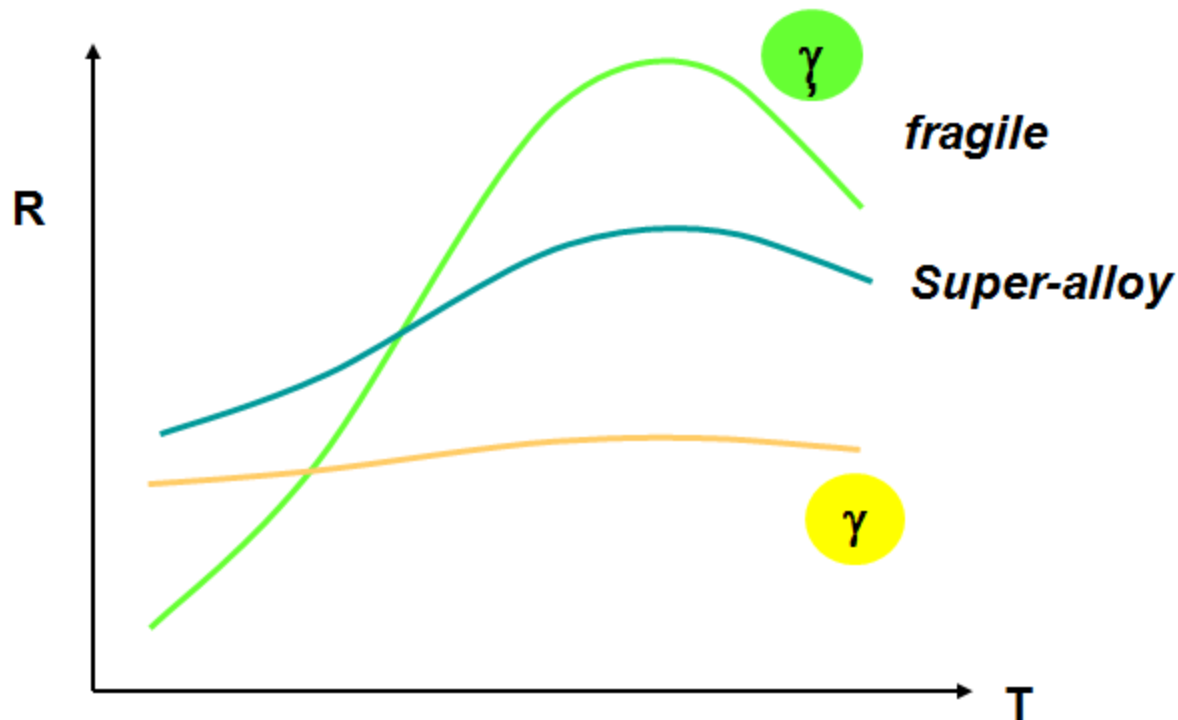
- ✓ Σκλήρυνση με σχηματισμό στερεού διαλύματος (Mo και W)
- ✓ Προσθήκη Co και άλλων στοιχείων τα οποία ελαττώνουν τη διαλυτότητα Al, Ti και ευνοούν το σχηματισμό διμεταλλικών ενώσεων Ni_3Ti, Ni_3Al με δομή FCC οι οποίες καθιζάνουν στην FCC δομή του στερεού διαλύματος Ni και δημιουργούν τη φάση γ'
- ✓ Τα καρβίδια που σχηματίζονται κατακρημνίζονται στα όρια των κόκκων και παρεμποδίζουν την ολίσθηση τους (pin boundaries and stop shear)

Fe-Ni-superalloys

- ✓ Μέρος του Ni αντικαθίσταται με Fe (φθηνότερα)
- ✓ 25-45% Ni, 15-60% Fe, 15-28% Cr, 1-6% Mo, και άλλα στοιχεία Al, Ti
- ✓ Μηχανισμός σκλήρυνσης παρόμοιος
- ✓ Περιοχή χρησιμοποίησης 650-815 οC

Μηχανική αντοχή Vs θερμοκρασία

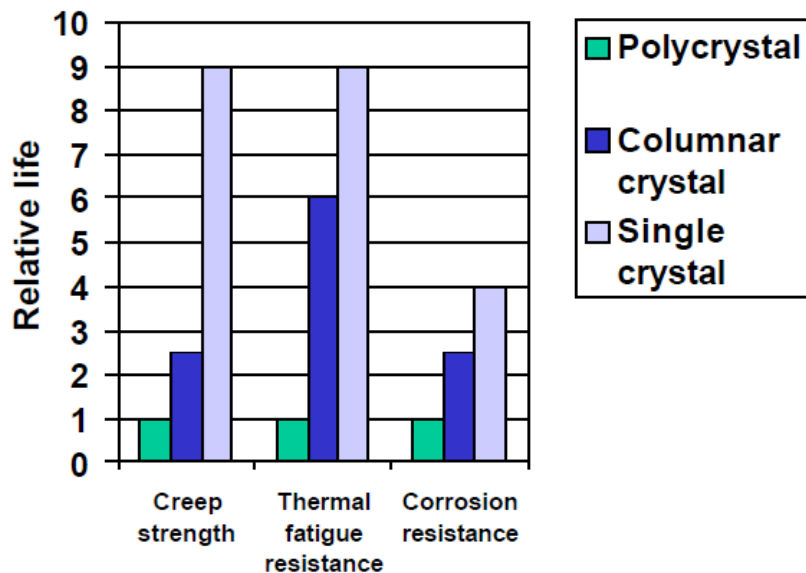
Mechanical Resistance vs. Temperature:



The composite structure of superalloys (ie. coexistence of “soft” disordered γ phase and “ordered” γ' phase brings new mechanical properties together with a light material

Μονοκρυσταλλικά υπερκράματα

Ni-base superalloys



Συζήτηση-ερμηνεία;

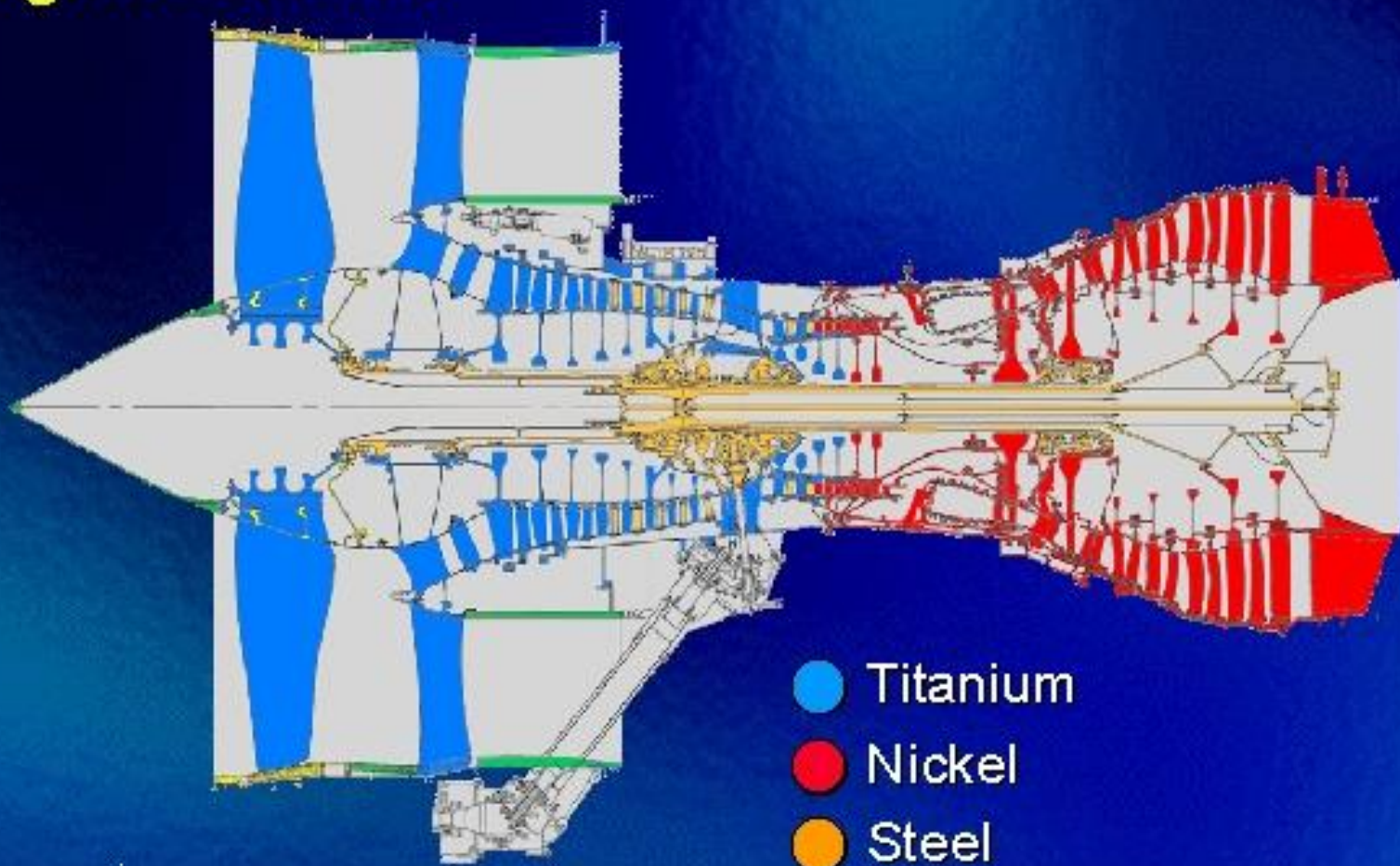
✓ Τη δεκαετία 1970 παρατηρήθηκε ότι δομή των υπερκραμάτων Ni με επιμήκεις κρυσταλλικούς κόκκους παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση αντοχής στη θερμοκρασία

✓ Τη δεκαετία 1980 η έρευνα έδειξε ότι οι μονοκρυσταλλικές δομές είναι περισσότερο ανθεκτικές σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τις πολυκρυσταλλικές.

Εφαρμογές υπερκραμάτων

- Η μεγαλύτερη χρήση των superalloys:
 - Τουρμπίνες αεροσκαφών και βιομηχανικές αεροτουρμπίνες
 - Άλλες εφαρμογές:
 - Διαστημόπλοια
 - Υποβρύχια
 - Συστήματα εκτόξευσης ρουκετών
 - Πυρηνικοί αντιδραστήρες

Engine Materials



- Titanium
- Nickel
- Steel
- Aluminium
- Composites



Rolls-Royce

Πυρίμαχα Μέταλλα

Μέταλλα με εξαιρετικά υψηλό σημείο τήξεως:
Νιόβιο (Nb)(2468 οC), Μολυβδαίνιο (Mo),
Ταντάλιο (Ta) Βολφράμιο (W), (3400 οC)

Major Uses of Refractory Metals*

Table II

Applications	W	Mo	Ta	Nb	Re
Electronics	X	X	X	X	X
Alloying	X	X	X	X	X
Nuclear Power	X	X		X	
Aerospace	X	X	X	X	
Chemicals/Catalysts	X	X	X		X
Metal Cutting & Forming	X	X	X		
Mechanical Parts	X	X			
Mining/Oil Drilling	X				

*Other examples are given throughout this book, particularly on the back cover.